



HAL
open science

Recherche et développement du Logiciel Intelligent de Cartographie Inversée, pour l'aide à la compréhension de texte par un public dyslexique

Mario Laurent

► **To cite this version:**

Mario Laurent. Recherche et développement du Logiciel Intelligent de Cartographie Inversée, pour l'aide à la compréhension de texte par un public dyslexique. Linguistique. Université Clermont Auvergne [2017-2020], 2017. Français. NNT : 2017CLFAL016 . tel-01989866

HAL Id: tel-01989866

<https://theses.hal.science/tel-01989866>

Submitted on 22 Jan 2019

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

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



Université Clermont Auvergne

Ecole Doctorale de Lettres, Sciences Humaines et Sociales (ED 370)

UFR Lettres Langues et Sciences Humaines

Laboratoire de Recherche sur le Langage (EA 999)

Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Clermont Auvergne

Discipline : Sciences du langage

Spécialité : Traitement automatique des langues

**Recherche et développement du Logiciel Intelligent de
Cartographie Inversée, pour l'aide à la compréhension de texte par
un public dyslexique.**

Thèse présentée et soutenue publiquement le 5 octobre 2017 par

Mario LAURENT

Sous la direction de Thierry CHANIER (2012/2016)

Puis de Damien CHABANAL (2016/2017)

Membres du jury :

Georges Antoniadis, Professeur, Université Grenoble Alpes (président du jury)

Maryse Bianco, Maître de Conférences, HDR, Université Grenoble Alpes (rapporteur)

Jean Écalte, Professeur, Université Lumière, Lyon 2 (rapporteur)

André Tricot, Professeur, Université Jean Jaurès, Toulouse

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu, pour leur aide précieuse, leurs conseils, leur soutien et surtout pour être à l'origine du partenariat entre laboratoire et entreprise sur lequel s'est construit l'ensemble de mon travail : Thierry Chanier, mon directeur de thèse pendant quatre ans, qui était alors Professeur à l'Université Blaise Pascal et directeur du Laboratoire de Recherche sur le Langage, et, Gilles Vessière, alors gérant de la société Médialexie.

Je remercie également chaleureusement Damien Chabanal, qui a pris la suite de la direction de ma thèse pour ma dernière année de doctorat et qui a su m'accompagner et m'épauler lorsque c'était nécessaire pour mener ce projet à terme.

Je tiens à remercier aussi Joël Bachelerie, qui a été mon référent technique au sein de l'entreprise Médialexie, avec qui j'ai pu échanger concernant la réalisation de mon logiciel, tout au long de son développement.

Je souhaite remercier ensuite Madame Maryse Bianco, Maître de Conférences, HDR, à l'Université Grenoble Alpes et Monsieur Jean Écalte, Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, qui ont accepté le rôle de rapporteur en plus de me faire l'honneur de faire partie de mon jury de thèse. Leur relecture pointue et critique a permis d'améliorer la qualité de ce manuscrit de thèse. Je remercie tout aussi sincèrement Monsieur Georges Antoniadis, Professeur à l'Université Grenoble Alpes, qui a tenu le rôle de président du jury et Monsieur André Tricot, Professeur à l'Université Jean Jaurès de Toulouse. Ils ont tous deux participé à une réunion de suivi de mes travaux après ma première année de doctorat et leurs conseils ont été précieux pour orienter la suite de ma thèse.

J'adresse des remerciements tout particuliers à Geoffrey Garcia, avec qui nous avons partagé le même bureau au sein de l'entreprise Médialexie et dont le soutien a été aussi important que nos nombreux échanges au sujet de la dyslexie, de sa remédiation et des solutions technologiques possibles pour la compenser.

Je dois remercier, sans pouvoir tous les citer, à la fois mes collègues du Laboratoire de Recherche sur le Langage, avec qui nous avons partagé des moments et échangé sur nos travaux pendant plusieurs années, et aussi, mes collègues de l'entreprise Médialexie.

Merci également à toutes les personnes qui ont permis de mener à bien mon expérimentation sur la compréhension de texte : les chefs et personnels d'établissements, les orthophonistes et bien sûr, les collégiens eux-mêmes.

Enfin, un grand merci à Aline, pour son important soutien depuis le Master, à Simon, toujours rassurant et bienveillant, ainsi qu'à mes parents, qui en plus de m'avoir toujours soutenu, ont tous deux relu l'ensemble de mon manuscrit. Merci !

Résumé

Les enfants souffrant de troubles de la lecture, comme la dyslexie, rencontrent de grandes difficultés dans son apprentissage et dans toute tâche de lecture, par la suite. Ces difficultés compromettent grandement l'accès au sens des textes auxquels ils sont confrontés durant leur scolarité, ce qui implique des difficultés d'apprentissage et les entraîne souvent vers une situation d'échec scolaire. Depuis une quinzaine d'années, des outils développés dans le domaine du Traitement Automatique des Langues sont détournés pour être utilisés comme stratégie d'aide et de compensation pour les élèves en difficultés. Parallèlement, l'usage de cartes conceptuelles ou de cartes heuristiques pour aider les enfants dyslexiques à formuler leurs pensées, ou à retenir certaines connaissances, s'est développé. Ce travail de thèse vise à répertorier et croiser, d'une part, les connaissances sur le public dyslexique, sa prise en charge et ses difficultés, d'autre part, les possibilités pédagogiques ouvertes par l'usage de cartes, et enfin, les technologies de résumé automatique et d'extraction de mots-clés. L'objectif est de réaliser un logiciel novateur capable de transformer automatiquement un texte donné en une carte, celle-ci doit faciliter la compréhension du texte tout en comprenant des fonctionnalités adaptées à un public d'adolescents dyslexiques. Ce projet a abouti, premièrement, à la réalisation d'une expérimentation exploratoire, sur l'aide à la compréhension de texte grâce aux cartes heuristiques, qui permet de définir de nouveaux axes de recherche ; deuxièmement, à la réalisation d'un prototype de logiciel de cartographie automatique qui est présenté en fin de thèse.

Mots-clés : Dyslexie ; Traitement Automatique des Langues ; Cartographie automatique ; Troubles du langage ; Psycholinguistique ; Cartes heuristiques ; Cartes conceptuelles ; Résumé automatique de texte ; Compréhension de texte ; Outils informatiques de compensation et de remédiation.

Abstract

Children with reading impairment, such as dyslexia, are often faced with important difficulties when learning to read and during any subsequent reading tasks. These difficulties tend to compromise the understanding of the texts they must read during their time at school. This implies learning difficulties and may lead to academic failure. Over the past fifteen years, general tools developed in the field of Natural Language Processing have been transformed into specific tools for that help with and compensate for language impaired students' difficulties. At the same time, the use of concept maps or heuristic maps to encourage dyslexic children express their thoughts, or retain certain knowledge, has become popular. This thesis aims to identify and explore knowledge about the dyslexic public, how society takes care of them and what difficulties they face; the pedagogical possibilities opened up by the use of maps; and the opportunities created by automatic summarization and Information Retrieval fields. The aim of this doctoral research project was to create an innovative piece of software that automatically transforms a given text into a map. It was important that this piece of software facilitate reading comprehension while including functionalities that are adapted to dyslexic teenagers. The project involved carrying out an exploratory experiment on reading comprehension aid, thanks to heuristic maps, that make the identification of new research topics possible, and implementing an automatic mapping software prototype that is presented at the end of this thesis.

Keywords : Dyslexia ; Natural Language Processing ; Automatic map generation ; Language impairment ; Psycholinguistics ; Mind maps ; Concept maps ; Automatic summarization ; Reading comprehension ; Assistive technology.

Sommaire

Résumé	3
Abstract.....	5
Sommaire	6
Abréviations et acronymes	8
Introduction.....	11
Partie 1. Contexte de recherche	16
Chapitre 1. La dyslexie	17
1.1. Dyslexie développementale.....	17
1.2. Types de dyslexies.....	26
1.3. Difficultés de diagnostic.....	36
1.4. Problématiques soulevées par la dyslexie	48
Chapitre 2. Le processus de lecture et de compréhension de texte	51
2.1. Mécanique de lecture	52
2.2. Apprentissage de la lecture	54
2.3. Compréhension de texte	58
2.4. Conséquences pour les dyslexiques	64
Chapitre 3. Les cartes heuristiques et conceptuelles	67
3.1. Terminologie	67
3.2. Un support d'apprentissage.....	72
3.3. La carte comme aide aux apprenants dyslexiques	80
3.4. Application au projet LICl et conclusion	91
Chapitre 4. La prise en charge, la reconnaissance et la remédiation.....	93
4.1. Prise en charge institutionnelle	93
4.2. Bilan et tests.....	101
4.3. Remédiation et compensation.....	104
Chapitre 5. Les logiciels d'aide et de compensation au service des dyslexiques	113
5.1. Des solutions pertinentes ?	113
5.2. Logiciels dédiés aux dyslexiques	114
5.3. Barre d'outils Médialexie	131
5.4. Remédiation par les jeux vidéo.....	136

Questions de recherche.....	141
Partie 2. Le projet LICI : expérimentation exploratoire et développement du logiciel ...	147
Chapitre 6. Les éléments de conception du LICI.....	148
6.1. Cahier des charges fonctionnel.....	148
6.2. Exemplier de textes.....	153
6.3. Réalisation technique du LICI.....	159
6.4. Intégration du LICI dans la barre d'outils.....	162
Chapitre 7. L'expérimentation exploratoire : compréhension de texte à l'aide d'une carte	166
7.1. Conception.....	166
7.2. Instanciation.....	177
7.3. Résultats.....	197
Chapitre 8. La cartographie automatique de texte.....	243
8.1. Terminologie.....	243
8.2. Résumé automatique et extraction de mots clés.....	245
8.3. Algorithme du LICI.....	266
Chapitre 9. La mise en application du LICI.....	283
9.1. Exemples d'utilisation et discussion.....	283
9.2. Variantes du programme.....	301
9.3. Évaluation de l'outil LICI.....	302
9.4. Perspectives de développement.....	312
Chapitre 10. Conclusion et perspectives.....	321
10.1. Bilan des problématiques de recherche.....	321
10.2. Contexte de travail et difficultés rencontrées.....	330
10.3. Perspectives.....	331
Références.....	338
Liste des tableaux.....	356
Liste des figures.....	358
Table des matières.....	362

Abréviations et acronymes

ACT : Assistive Computer Technology

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANAPEDYS : Association Nationale des Associations de Parents d'Enfants DYSlexiques

APEDYS : Association des Parents d'Enfants Dys

APTE : APplication aux Techniques d'Entreprise

AVS : Assistant de Vie Scolaire

BALE : Batterie Analytique du Langage Écrit

BSEDS : Bilan de Santé Evaluation du Développement pour la Scolarité

CDAPH : Commission des Droits et de l'Autonomie des Personnes Handicapées

CNED : Centre National d'Enseignement à Distance

CIFRE : Conventions Industrielles de Formation par la REcherche

CP : Cours Préparatoire

CVS : Concurrent Versions System

DRC : Dual Route Cascade

DNE : Direction du Numérique pour l'Éducation

DSM-IV : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders - IV

ENT : Environnement Numérique de Travail

EVA : Empan Visuo-Attentionnel

HAL : Hyperspace Analogue to Language

HTML : HyperText Markup Language

ICD-10 : International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

INSHEA : Institut National Supérieur de formation et de recherche pour l'éducation des jeunes Handicapés et les Enseignements Adaptés

IR : Information Retrieval

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

LEFFF : Lexique des Formes Fléchies du Français

LSA : Latent Semantic Analysis

MDPH : Maison Départementale des Personnes Handicapées

MOP : Memory Organization Packets

MTM : Multi-Trace Memory (model)

PMI : Pointwise Mutual information

PPS : Projet Personnalisé de Scolarisation

LICI : Logiciel Intelligent de Cartographie Inversé

LRL : Laboratoire de Recherche sur le Langage

NLTK : Natural Language ToolKit

OCR : Optical Character Recognition

QCM : Question à Choix Multiples

QI : Quotient Intellectuel

RASED : Réseau d'Aides Spécialisées aux Élèves en Difficulté

RI : Random Indexing

ROUGE : Recall-oriented Understudy for Gisting Evaluation

RRI : Reflexive Random Indexing

SDP : Syndrome de Déficience Posturale

SCORM : Sharable Content Object Reference Model

SMS : Short Message Service

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

SQL : Structured Query Language

TAL : Traitement Automatique des Langues

TDA/H : Trouble du Déficit de l'Attention avec Hyperactivité

TEI : Text Encoding Initiative

TF-IDF : Term Frequency - Inverse Document Frequency

TF-ISF : Term Frequency - Inverse Sentence Frequency

TIC : Technologie de l'Information et de la Communication

TICE : Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement

TSA : Trouble Spécifique de l'Apprentissage

UTF-8 : Universal Character Set Transformation Format - 8

XML : Extensible Markup Language

YAML : YAML Ain't Markup Language

Introduction

Ce travail de thèse, intitulé "Recherche et développement du Logiciel Intelligent de Cartographie Inversée, pour l'aide à la compréhension de texte par un public dyslexique", a été réalisé au sein du Laboratoire de Recherche sur le Langage et de l'entreprise Médialexie à l'occasion d'un partenariat entre ces deux institutions, toutes deux situées à Clermont-Ferrand. Le travail de recherche que j'ai réalisé s'inscrit dans la problématique de l'aide aux personnes souffrant de troubles spécifiques du langage écrit. L'objectif du travail est d'apporter une assistance logicielle à ces personnes, en s'appuyant sur la recherche dans différents domaines, principalement sur les méthodes développées par la communauté de Traitement Automatique du Langage naturel (TAL).

L'ensemble de mon travail de thèse a été guidé par l'objectif défini par le contrat CIFRE établi entre mon laboratoire, le LRL, et l'entreprise Médialexie. CIFRE, qui signifie Conventions Industrielles de Formation par la Recherche, est un dispositif mis en œuvre par l'ANRT (Association Nationale Recherche Technologie) et subventionné par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche. Ce dispositif prend la forme d'une subvention versée à une entreprise, qui lui permet de payer une partie du salaire d'un doctorant, embauché pour une durée de trois ans.

Dans le cadre du développement de ses activités et de l'extension de celles-ci vers des projets de recherche innovants, l'entreprise Médialexie souhaitait créer un nouvel outil logiciel venant s'intégrer aux outils déjà existants dans son catalogue. Pour le laboratoire, ce partenariat était également une nouvelle opportunité d'inscrire ses activités de recherche dans le secteur privé et de démontrer la possibilité de déboucher sur des applications concrètes en s'appuyant sur les connaissances en sciences du langage. En effet, le LRL n'avait précédemment jamais mené de thèse en contrat CIFRE. De mon côté, je bénéficiais d'une double formation, d'une part avec une licence en informatique et d'autre part un master recherche en linguistique et deux stages au sein du LRL, lors desquels j'ai été formé aux méthodes de travail de chercheur. Je désirais mettre mes compétences en informatique au service d'un projet de recherche en sciences humaines et j'ai été séduit par l'idée de monter un projet collaboratif entre le LRL et Médialexie.

Médialexie est une entreprise dont l'objectif est de concevoir, développer et commercialiser des logiciels, du matériel et des services pour la remédiation et la compensation des handicaps de la communication. Au cœur du public concerné par les outils et les services proposés par l'entreprise se trouve toutes les personnes dites "dys" dont notamment les enfants souffrant de dyslexie développementale. Pour concevoir ses outils logiciels Médialexie fait généralement appel à des méthodes algorithmiques développées par la recherche (principalement en TAL) ou à des technologies conçues pour d'autres domaines, à l'intention du grand public. Ensuite, les développeurs de l'équipe les adaptent au public cible

de Médialexie, en accordant un soin particulier à la facilité d'utilisation et à l'ergonomie. Lorsque j'ai rejoint l'équipe de l'entreprise en 2012 elle était composée d'une douzaine de membres, dont notamment des développeurs de logiciels, un développeur web, un autre doctorant en thèse d'informatique, des commerciaux, un formateur... Pour chaque logiciel ou matériel vendu, une session de prise en main avec le formateur était incluse. L'équipe de Médialexie était ainsi proche de ses clients et très à l'écoute de leurs besoins en termes de logiciels innovants.

Si l'objectif de mon projet était de réaliser un logiciel pour aider les dyslexiques dans leurs activités d'apprentissage, l'entreprise Médialexie avait déjà développé de nombreux outils d'aide. A l'époque où j'ai rencontré le dirigeant de l'entreprise pour monter notre projet CIFRE, le logiciel de construction de cartes de Médialexie, l'*Imagineur*, remportait un succès grandissant auprès de leur public et les méthodes d'apprentissage mettant en œuvre des cartes, heuristiques ou conceptuelles, suscitaient un grand engouement. Cet outil était principalement utilisé pour dessiner une carte à partir des connaissances de l'utilisateur afin de soutenir ensuite la rédaction d'un texte, à l'image d'un plan ou d'un brouillon précédant un exercice d'expression écrite. Cependant, certains clients souhaitaient voir arriver un logiciel plus "intelligent" capable, en plus de donner accès à des outils de création de cartes, de générer lui-même une carte à partir d'un texte en quelques clics, afin d'inverser complètement le processus de création décrit précédemment.

Le nom du projet CIFRE vient de cette demande : concevoir un *Logiciel Intelligent de Cartographie Inversée*. Si le projet a gardé ce nom durant tout le développement, le logiciel final a été commercialisé sous le nom de *Cartographe*. J'utiliserai cependant toujours le nom de "LICI" pour parler de l'ensemble du projet, des recherches et de l'expérimentation que j'ai menées, du logiciel que j'ai développé et de ses fonctionnalités.

L'objectif de cet outil devait être double. Tout d'abord, il devait permettre d'obtenir automatiquement, sous la forme d'une carte, un aperçu global et peu contraignant en termes d'efforts de lecture des supports d'apprentissage classiques : cours, extraits de textes littéraires ou encore articles sur internet. Ensuite, il devait permettre de manipuler et modifier la carte générée afin de bénéficier des avantages de cette représentation en termes d'apprentissage, tout comme le permettait déjà l'outil *Imagineur*.

Le développement de l'outil LICI impliquait l'étude préalable du public ciblé, plus précisément les adolescents en difficultés scolaires causées par leurs problèmes de lecture, ceux-ci étant majoritairement identifiés par l'étiquette "dyslexie". Dans un premier temps il a donc été nécessaire d'étudier la dyslexie, ses causes et ses conséquences. Or, un certain nombre d'obstacles émergent rapidement à l'étude de la dyslexie. Face au manque de critères précis et de caractérisations pour définir ce trouble de la lecture, face aussi à la multiplicité des profils des dyslexiques et aux taux très importants de troubles associés, l'objectif de l'outil LICI a été élargi à l'aide aux "mauvais lecteurs", quel que soit l'origine de

leurs difficultés. De plus, contrairement à d'autres outils déjà commercialisés par Médialexie, le LICl n'a pas pour but d'améliorer les capacités, la vitesse ou l'efficacité de lecture, mais doit améliorer la capacité de compréhension d'un texte afin, plus globalement, d'apporter de l'aide à l'apprentissage pour le public d'adolescents scolarisés. En effet, favoriser l'accès au sens des textes rencontrés dans le parcours scolaire a une influence directe sur l'apprentissage. Pour ce public, l'apprentissage dépend fortement des capacités de lecture et d'écriture qui sont des modalités utilisées en permanence, en cours et à la maison. Ces mêmes modalités prévalent également pour l'évaluation des élèves. La difficulté à aborder, comprendre, synthétiser des textes est donc un frein à l'apprentissage. En résumé, le LICl n'est pas une aide directe pour l'apprentissage, mais il va améliorer les conditions d'apprentissage en réduisant la difficulté à aborder un texte, déterminer son thème et identifier ses éléments clés.

Les problématiques de recherche de départ du projet étaient assez générales et ont été précisées ensuite grâce à mes lectures et aux directions prises par le projet en termes de développement de l'outil LICl. Ces problématiques de départ, qui ont orientées mes lectures, sont les suivantes :

- Quel est l'influence de la dyslexie sur les difficultés rencontrées lors du parcours scolaire ?
- Comment l'usage de cartes heuristiques peut soutenir l'apprentissage, compléter ou remplacer la lecture de texte ?
- Que permettent les outils de compensation et de remédiation pour les dyslexiques et comment les compléter ?
- Comment extraire automatiquement les informations essentielles contenues dans un texte ?
- Comment présenter ces informations pour faciliter leur lecture et l'accès au sens du texte ?

Pour répondre à toutes ces questions, je propose d'abord de parcourir la littérature de la recherche des différents domaines concernés, puis de présenter la conception et le développement de l'outil LICl. Mon manuscrit de thèse est donc structuré en deux parties principales. La première, davantage théorique, concerne le contexte de recherche. Dans un premier chapitre, j'aborderai la question de la dyslexie, de ses origines, de sa définition et de ses symptômes. Le deuxième chapitre sera focalisé d'abord sur la mécanique de lecture et l'accès au sens du texte, puis sur l'influence des troubles du langage sur la compréhension de texte. Le troisième chapitre me permettra de présenter les cartes, heuristiques et conceptuelles, leurs intérêts et leurs usages dans un contexte pédagogique. La maîtrise de la représentation sous forme de carte, et tout particulièrement les choix de contenu et de disposition des éléments, sont cruciaux pour prendre les bonnes décisions lors de la programmation de l'outil LICl. Le quatrième chapitre poussera plus en avant la question de la prise en charge des individus dyslexiques. Définir le trouble et connaître ses origines n'est en

effet pas suffisant pour prétendre aider efficacement les dyslexiques dans leurs tâches quotidiennes. Afin de mieux positionner mon travail dans le contexte réel d'aide aux personnes en situation de handicap, je discuterai des problèmes auxquels elles sont confrontées dans leur parcours de reconnaissance, les difficultés extérieures engendrées par leurs troubles et des solutions mises en place pour leur permettre d'accéder à des outils d'aide comme celui développé au cours du projet LICl. Le chapitre 5 sera quant à lui consacré aux outils d'aide, de compensation et de remédiation disponibles pour les personnes souffrant de troubles du langage. Ce chapitre couvrira autant les outils proposés par l'entreprise Médialexie que leurs équivalents proposés par d'autres entreprises ou par des chercheurs, en France comme dans d'autres pays. Cette revue des outils disponibles permettra de mieux cerner les particularités et les nouveautés du LICl, en le remettant en perspective. Enfin, cette première partie sera clôturée par un retour sur les problématiques de recherche, afin de mieux les formuler en regard des éléments théoriques présentés jusque-là. Le discours développé dans l'ensemble des chapitres de la première partie, sera appuyé par des références régulières aux travaux de recherches que j'ai pu lire sur les sujets discutés. Ces travaux sont à l'interface de nombreux domaines de recherche dont principalement la psychologie (chapitre 1), la psycholinguistique (chapitre 2 et 3), les sciences du langage (chapitre 2) et le traitement automatique des langues (chapitre 5); et de façon plus secondaire, la neurologie (chapitre 1), les sciences de l'éducation (chapitre 3 et 4) et la sociologie (chapitre 4). Si chacun de ces domaines cités n'est pas exploré de façon exhaustive dans mon projet de recherche, les éléments scientifiques et techniques que j'en ai tirés ont été assemblés au service de la réalisation d'un outil innovant et d'une réflexion inscrite dans le domaine pratique de l'aide à la personne.

La deuxième partie du manuscrit, plus ancrée dans les apports pratiques, est consacrée à l'expérimentation exploratoire que j'ai menée et au développement de l'outil LICl, depuis ses fondements algorithmiques jusqu'à des exemples d'usages sur quelques textes. Le chapitre 6 se concentre sur les contraintes du projet, le cahier des charges, établi à partir des exigences de l'entreprise, et les outils qui ont permis de programmer le LICl. Les éléments décrits sont de différents types : un exemplier de textes qui a permis de tester le programme, un langage informatique et des bibliothèques de fonctions pour écrire le code du programme et enfin, une structure adaptée pour permettre l'intégration aux autres outils de Médialexie. Le chapitre 7 est consacré à la description de l'expérimentation exploratoire réalisée pendant le projet LICl. Il comprend tout le processus de conception, la mise en place, le recueil des résultats et leur analyse. Cette expérimentation vise à répondre à certaines des problématiques de recherche et à apporter des arguments supplémentaires en faveur ou en défaveur de l'usage de cartes pour l'aide à la compréhension de texte. Le chapitre 8 constitue le cœur de la problématique de réalisation du logiciel. Il est composé de deux parties. La première partie fait état des méthodes existantes en TAL pour effectuer les tâches de résumé automatique et d'extraction de mots-clés que le LICl doit inclure. La deuxième partie est une explication de mes choix de méthode pour réaliser ces tâches. Le

chapitre 9 est une mise en application de l'outil dans sa version finale, qui permet d'illustrer ses capacités et ses différentes fonctionnalités sur quelques exemples. Je discute également de la pertinence de l'outil, des procédés d'évaluation à mettre en place à l'avenir pour connaître son efficacité et des pistes d'amélioration à lui apporter. Enfin, le chapitre 10 constitue la conclusion de l'ensemble de mon travail de thèse, le bilan du projet LICI avec les difficultés rencontrées au cours de celui-ci et les perspectives à venir pour poursuivre les recherches entreprises tout au long de ma thèse.



Partie 1. Contexte de recherche

Chapitre 1. La dyslexie

Ce premier chapitre, est centré sur la dyslexie elle-même. La définition et la compréhension de la dyslexie est l'un des points centraux de mon travail de recherche, puisque je devais à terme développer un nouvel outil d'aide à la lecture pour les adolescents dyslexiques. Je pose dans un premier temps les questions suivantes :

- Qu'est-ce que la dyslexie ?
- Comment est-elle définie de manière clinique ?

1.1. Dyslexie développementale

1.1.1. Définition

La dyslexie est un trouble spécifique de la lecture. Au niveau étymologique, le mot dyslexie est composé du préfixe *dys*, du grec *dus*, qui signifie difficulté ou mauvais état et de *lexie*, du grec *lexis*, qui signifie élocution, et fait référence à une unité lexicale. Ainsi, ce mot désigne littéralement une difficulté à utiliser les mots. Dans son usage courant il englobe tous les troubles spécifiques de la lecture, quels que soient leurs origines.

Ces troubles sont des troubles cognitifs et sont largement répandus dans la population à l'échelle mondiale. Le taux de la population touchée varie cependant selon les pays, en fonction de la structure de la langue notamment dans ses rapports entre forme orale et forme écrite. En France, 6 à 8% des représentants d'une classe d'âge seraient atteints de dyslexie d'après le rapport collectif de l'INSERM ((dir.), 2007). La dyslexie est caractérisée par des difficultés de lecture, celles-ci provoquant de grandes difficultés scolaires pour les enfants touchés. L'Organisation Mondiale de la Santé reconnaît d'ailleurs la dyslexie comme un trouble du développement des acquisitions scolaires, dans sa classification (World Health Organization, 2011).

Mes travaux de recherche portent uniquement sur la dyslexie développementale, qui désigne précisément un trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture. J'utiliserai ainsi simplement le terme dyslexie, et le terme de dyslexique, sans préciser à chaque fois qu'il s'agit d'une dyslexie développementale. Le terme dyslexie peut, en effet, aussi être utilisé pour désigner les troubles spécifiques de la lecture qui ont été acquis à la suite d'une lésion cérébrale. Ces troubles sont plus précisément appelés dyslexies acquises ou alexies (Ramus, 2012).

1.1.2. Caractérisation comportementale

La définition communément admise dans la littérature scientifique concerne le déficit comportemental, c'est à dire que le diagnostic de la dyslexie est établi uniquement à partir d'une observation des signes cliniques de l'individu. La dyslexie est généralement déterminée avant l'âge adulte. Un enfant est considéré dyslexique si :

- Il n'a pas de déficit intellectuel global (QI supérieur à 70) ;
- Il n'a pas de trouble sensoriel (visuel ou auditif) facilement repérable ;
- Ses difficultés ne peuvent pas être expliquées par son contexte social ou familial ;
- Sa scolarisation est adéquate ;
- Il obtient, malgré les points précédents, une note d'au moins 2 écarts-types en dessous du niveau attendu à son âge, à une épreuve standardisée de lecture.

Cette définition est dite définition "clinique". Elle est décrite de façon similaire dans le texte des deux classifications médicales de référence au niveau international. D'abord, dans la classification internationale ICD-10, la dyslexie est rangée sous la catégorie "F81.0 Trouble spécifique de la lecture" (World Health Organization, 2011). Ensuite, on retrouve cette définition dans la classification de référence américaine, le DSM-IV (American Psychological Association, 2000).

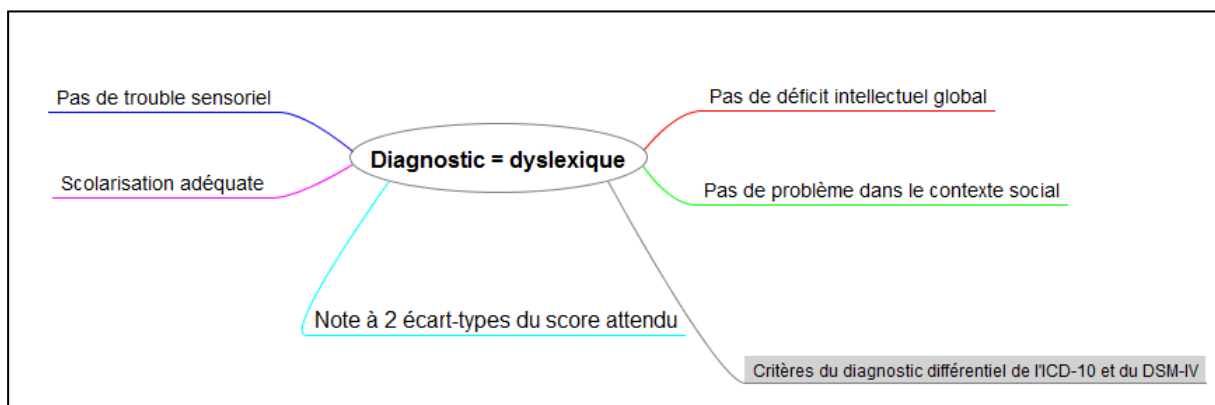


Figure 1.1 Carte heuristique illustrant le diagnostic de la dyslexie, réalisée avec *Freemind* (Müller, Polansky, Novak, Foltin, & Polivaev, 2004).

Les travaux de recherche sur la dyslexie se réfèrent également à une définition similaire décrivant ce trouble comme un déficit de lecture non imputable à des critères physiques ou sociaux :

"Developmental dyslexia is characterized by an unexpected difficulty in reading in children and adults who otherwise possess the intelligence and motivation considered necessary for accurate and fluent reading." (Shaywitz & Shaywitz, 2005,p.1301)

Cependant, ces définitions ont le défaut d'être trop ouvertes. En effet, le diagnostic est établi principalement par critères d'exclusion. Le terme de diagnostic différentiel peut être utilisé puisqu'il est nécessaire de constater toutes les conditions que le patient ne présente pas, avant de conclure à la dyslexie. Le seul critère "positif" concerne le niveau de lecture. En conséquence, des troubles assez hétérogènes sont associés à l'étiquette « dyslexie ». Ce diagnostic différentiel, voire d'exclusion, ne permet donc pas d'identifier précisément les causes du trouble alors que celles-ci sont diverses et multiples. Ainsi, les travaux de recherche sur la dyslexie souffrent souvent de ce problème. D'une part on retrouve des études de cas mettant en relief l'hétérogénéité du public dyslexique, et d'autre part des études de groupes qui ignorent la question (INSERM (dir.), 2007). Je reviendrai sur le déroulement pratique du dépistage et de l'accompagnement des dyslexiques dans le Chapitre 4. Les difficultés concernant l'imprécision du diagnostic et les moyens de l'améliorer ont quant à eux été étudiés en détail dans la thèse de Garcia (2016).

Si l'imprécision du diagnostic a une incidence sur le suivi et la remédiation des dyslexiques, il est aussi problématique pour les chercheurs qui mettent en œuvre des protocoles expérimentaux afin d'étudier la dyslexie. En effet, il est parfois considéré qu'une personne est dyslexique lorsqu'elle présente un retard de lecture de 1.5 écarts-types en dessous du seuil des normo-lecteurs alors que pour d'autres études c'est le chiffre de 2 écarts-types minimum qui est retenu (INSERM (dir.), 2007; Jacquier-Roux, Lequette, Pouget, Valdois, & Zorman, 2010). Ces différences découlent en partie de l'hétérogénéité des tests utilisés pour évaluer le niveau de lecture, comme le soulignent Jacquier-Roux et al. (2010). Je présenterai d'ailleurs des exemples de tests d'évaluation dans le Chapitre 4. Il résulte de ces variations dans la procédure d'évaluation que les résultats des études sur la dyslexie sont discutables, selon l'âge, le sexe, ou la langue des individus étudiés (Alm, 2004). De plus, la population de sujets atteints de trouble de la lecture étant difficile à rassembler, la taille des panels permettant l'étalonnage des tests de lecture est également inconstante et parfois insuffisante pour présenter des résultats significatifs au niveau statistique. Je reviendrai sur ce point dans le Chapitre 7 concernant l'expérimentation exploratoire que j'ai menée dans le cadre de cette thèse. Pour finir, il est important de signaler que le critère d'écart-type lors des tests linguistiques est parfois insuffisamment discriminant, ce qui peut entraîner soit des faux-positifs, soit des faux-négatifs (Asikainen, 2005).

Si l'on reprend un par un les critères considérés pour diagnostiquer la dyslexie :

- Le rôle du QI reste assez flou, certaines études montrent que les capacités en lecture ne sont pas dépendantes du QI, je reviendrai sur ce sujet dans le point 1.3.1 ;
- Concernant les troubles sensoriels, la notion de "facilement repérable(s)" est importante car certains cas de dyslexie sont attribués à des troubles visuo-attentionnels, qui pourraient être considérés comme tels. J'en discuterai dans le point 1.2.3 ;

- Le rôle joué par le milieu socioculturel est certainement trop imprécis, mais je n'aborderai pas cette question.

Le manque de précision du diagnostic rend également difficile l'évaluation du taux de population atteint. Le nombre de personnes touchées par la dyslexie développementale, en langue française, serait de 6 à 8% comme je l'ai indiqué en introduction de ce chapitre, mais les chiffres obtenus par différentes études varient selon les populations sondées et les méthodes utilisées (INSERM (dir.), 2007).

Tous ces éléments soulignent les difficultés dans l'étude et le diagnostic des troubles de la lecture. Il est de ce fait nécessaire d'interroger la classification actuelle et de définir des critères plus précis ainsi que des méthodes d'évaluation homogène, pour tous les acteurs travaillant sur la dyslexie, que ce soit les chercheurs, les médecins ou les professionnels de la santé, que sont les orthophonistes et les psychologues (Asikainen, 2005; G. Garcia, 2016; Habib & Joly-Pottuz, 2008). Certains travaux relativement récents ont pour objectif de réduire la disparité des méthodes d'évaluation de la dyslexie, c'est le cas de la Batterie Analytique du Langage Écrit, établie par Jacquier-Roux et al (2010). La BALE est un nouveau standard d'évaluation de la lecture pour le diagnostic et le suivi des enfants dyslexiques. Je reviendrai sur les dispositifs de diagnostic dans le Chapitre 4 et le point 4.2 sur l'orthophonie. Egalement dans l'objectif d'améliorer la précision du diagnostic et donc de proposer une prise en charge et une remédiation efficace, Snowling et Hulme (2011) proposent l'application d'un procédé systématique, qu'ils décrivent comme un cercle vertueux. Concrètement, cette démarche consiste à associer la détection d'un déficit précis, par exemple un déficit phonologique repéré par une tâche d'association de lettre et de son, à la construction d'une hypothèse expliquant son origine, suivi d'une proposition d'exercices de remédiations adaptés. Selon Snowling et Hulme (2011), ces exercices doivent être soumis à un groupe d'élèves en difficulté et leur progrès doivent être systématiquement évalué en comparaison à un groupe contrôle d'élèves souffrant des mêmes difficultés (*randomized controlled trials*), afin de confirmer ou non l'hypothèse émise, puis de recommencer un cycle similaire avec une autre hypothèse et d'autres exercices si nécessaire. L'objectif est ainsi de progresser en collectant des résultats concrets et en établissant une liste d'exercice de remédiation efficace, sur un public affecté par un déficit ciblé.

1.1.3. Caractérisation physiologique

Si l'on caractérise la dyslexie d'abord sur des bases comportementales, c'est à dire que le diagnostic s'appuie sur des constatations d'ordre symptomatique, elle pourrait bien trouver son origine au niveau physiologique. En effet, il a été montré que la dyslexie résulte d'un dysfonctionnement cérébral (Démonet, Taylor, & Chaix, 2004; Habib, 2000).

1.1.3.1. Aires du langage

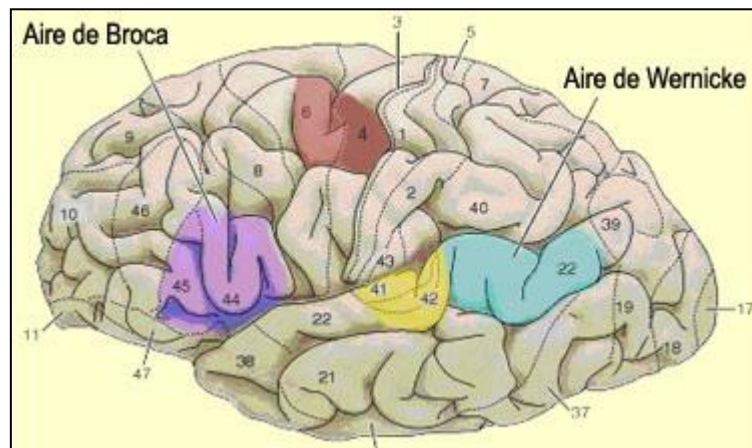


Figure 1.2 Schéma représentant l'hémisphère gauche du cerveau contenant les aires du langage, extrait du site *Le cerveau à tous les niveaux* (Dubuc, Robert, Paquet, & Daigen, 2002).

Avant de parler des dysfonctionnements cérébraux qui caractérisent la dyslexie, je souhaite placer ceux-ci en contexte grâce à une présentation rapide des aires cérébrales impliquées dans le traitement du langage.

Les premiers travaux de recherche concernant l'aire du langage sont dus au chirurgien Paul Broca (Broca, 1865). Dans son bulletin de 1865, après avoir discuté de l'existence possible de travaux antérieurs sur la question, dont il n'aurait pas eu connaissance, Broca expose deux théories très importantes déduites de ses recherches sur les lésions cérébrales, effectuées à partir d'autopsies. La première hypothèse de Broca, est que le cerveau humain est dissymétrique et qu'il existe donc des aires dédiées à des activités différentes dans l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche, alors que jusqu'à cette date, tous les organes paires du corps humain étaient supposés symétriques dans leurs attributions. La deuxième hypothèse de Broca, est que le langage articulé est dirigé depuis l'hémisphère gauche du cerveau. Broca (1865) précise tout de même, que tout comme il existe des gauchers et des droitiers, certains individus, en petit nombre, pourraient commander le langage articulé depuis l'hémisphère droit, selon des circonstances particulières. Cependant, grâce à l'étude des "aphémiques", terme utilisé par Broca mais qui est désormais remplacé par le terme "aphasiques", Broca a bien identifié une aire dédiée au langage, qu'il situe dans la troisième circonvolution frontale gauche et qui sera appelée Aire de Broca. L'Aire de Broca se situe à cheval sur les zones 44 et 45 de la Figure 1.2. Notons que comme Broca l'avait suggéré, certains cas d'individus, souffrant d'un dysfonctionnement au niveau de l'hémisphère gauche et produisant une activation compensatoire dans l'hémisphère droit pour effectuer des tâches de lecture, ont été décrits dans la littérature récente (Eden et al., 2004). Ce phénomène est possible grâce à la plasticité cérébrale.

A la suite des études de Broca, d'autres travaux majeurs sur le fonctionnement du langage au niveau cérébral seront menés par Wernicke, puis par Dejerine, dont la découverte

concerne plus particulièrement la lecture. En 1874 d'abord, Carl Wernicke, un neurologue allemand, en procédant de la même façon que Broca, par observation d'un patient aphasique, découvre une aire cérébrale dédiée au langage. Cependant, cette aire, baptisée Aire de Wernicke, est consacrée à la compréhension du langage. Sa taille peut varier d'un individu à l'autre et elle correspond aux zones 22 et 42 de la Figure 1.2. Cette aire servirait également de centre de stockage de la représentation phonologique des mots (Jucla, 2009).

Peu après, Dejerine (1891) étudie le premier les troubles spécifiques de la lecture acquis par lésion cérébrale, et en déduit les aires du cerveau impliquées dans la lecture, tout comme Broca l'avait fait pour les troubles du langage articulé. Plus tard, en 1896 c'est Pringle-Morgan qui va cette fois étudier le cas d'un adolescent qui présente un trouble spécifique de la lecture similaire, mais sans aucune lésion, il s'agit sans doute de la première description publiée d'un cas de dyslexie (Habib & Joly-Pottuz, 2008; Ramus, 2012).

De nombreux travaux plus récents, notamment depuis les années 1980, ont permis de définir beaucoup plus précisément les zones impliquées dans l'activité de lecture et dans l'acquisition de la lecture, au sein de l'hémisphère gauche du cerveau. Selon Démonet et al. (2004), trois zones principales sont concernées, il s'agit du gyrus frontal inférieur, qui inclut l'aire de Broca, de la jonction occipito-temporale et enfin de la jonction pariéto-temporale.

Ingvar et al. (2002) ont mené des expérimentations pour comparer l'activité cérébrale de sujets dyslexiques et de sujets normo-lecteurs lors d'une tâche de lecture. D'après cette étude, lorsque la tâche est complexe les sujets dyslexiques montrent une plus grande activité dans le gyrus frontal gauche mais aussi dans une partie du lobe occipital, appelée "BA 19", qui n'est pas utilisée par les normo-lecteurs.

Le modèle neurologique de la lecture actuel implique de nombreuses aires du cerveau et admet des interconnexions entre ces différentes régions. Les informations nécessaires à la lecture sont échangées par des allers et venues entre les aires, notamment entre aires visuelles et aires du langage. Le bas de la Figure 1.3 représente, de façon simplifiée, cette conception moderne : les zones jaunes, rouges et bleues permettent de traiter l'information visuelle et interagissent avec les zones vertes et orange, spécialisées en premier lieu pour le langage parlé et qui sont ici sollicitées pour la tâche de lecture. Cette représentation, bien plus complexe que l'interprétation proposée notamment par Déjerine, permet de mieux comprendre le procédé cognitif de lecture, mais surtout, elle permet de formuler des hypothèses sur les différentes explications possibles pour les troubles de la lecture. En effet, des dommages ou des dysfonctionnements des aires visuelles, des aires du langage ou encore de la transmission des informations, en amont, en aval ou entre les aires peuvent tous entraîner des troubles de la lecture, avec autant de particularités et de symptômes différents pour les personnes atteintes.

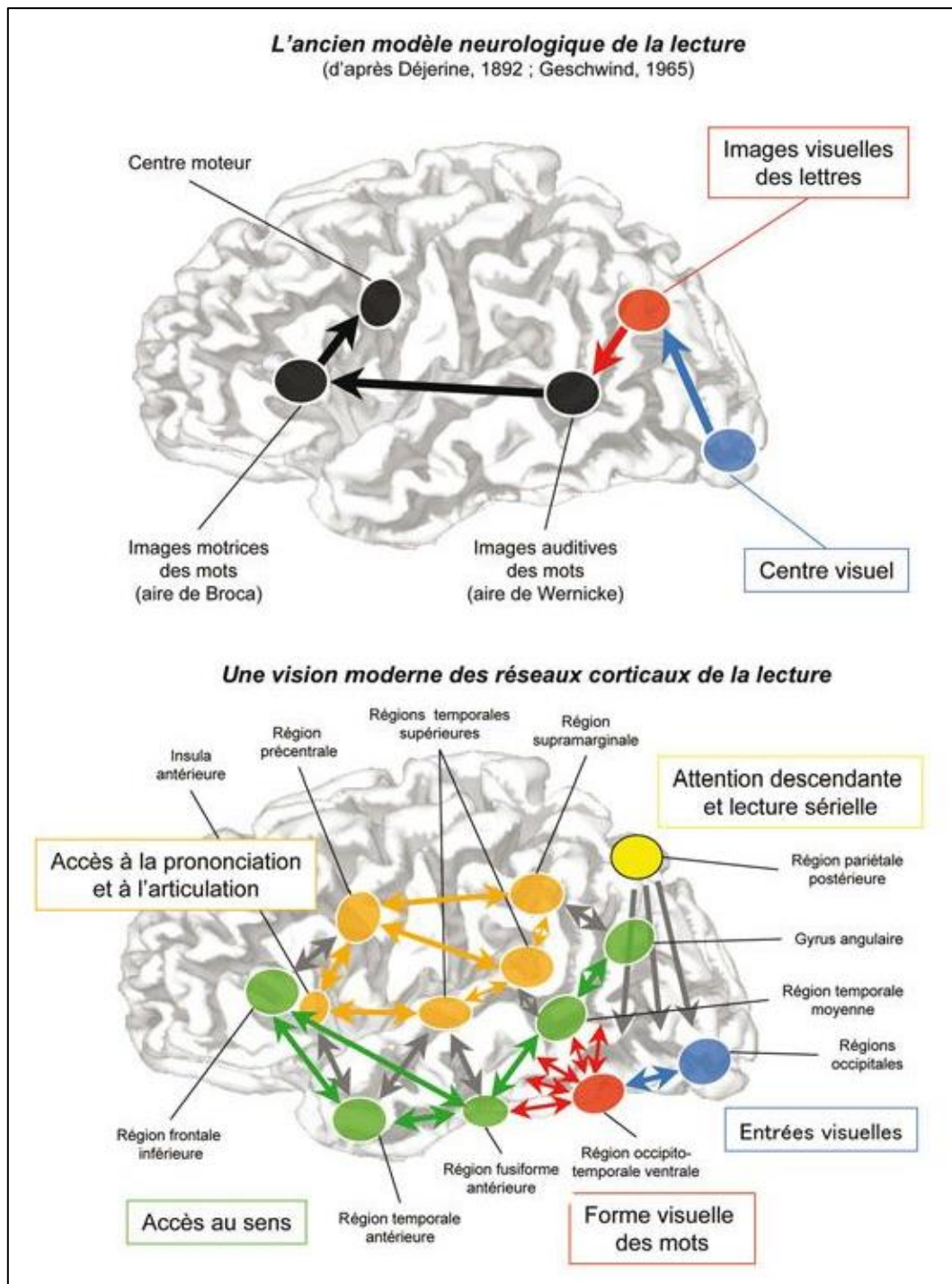


Figure 1.3 Modèle neurologique de la lecture : interprétation classique et interprétation moderne, figure extraite du livre *Les neurones de la lecture* (Dehaene, 2007, p.97).

1.1.3.2. Origine développementale

Le diagnostic de la dyslexie, au-delà de l'étude comportementale, peut maintenant être précisé grâce à de nouveaux indicateurs physiologiques. Il est notamment possible de constater les dysfonctionnements cérébraux grâce à l'IRM et la magnétoencéphalographie (INSERM (dir.), 2007). De plus, à partir des observations par IRM effectuées sur des sujets

présentant des troubles de la lecture, une nouvelle théorie a vu le jour sur l'origine de la dyslexie. Cette théorie se réfère aux travaux d'abord effectués par Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz et Geschwind (1985), qui, en pratiquant une dissection post-mortem sur des sujets dyslexiques, ont constaté une anomalie de migration des neurones dans une zone affectée à la tâche de lecture. Cette anomalie de développement des neurones est appelée ectopie. Un autre type d'anomalie semblable, appelée dysplasie, mentionnée par Habib et Joly-Pottuz (2008) ainsi que dans le rapport collectif de l'INSERM ((dir.), 2007) peut également être à l'origine du dysfonctionnement entraînant des troubles de la lecture. C'est donc en tenant compte de ces anciens travaux et de nouvelles observations, effectuées grâce à l'imagerie fonctionnelle cérébrale et les techniques électromagnétiques, que la théorie d'une origine neuro-développementale de la dyslexie a été confirmée (Habib & Joly-Pottuz, 2008; Ramus, 2012).

1.1.3.3. Facteur génétique

Le caractère génétique et donc héréditaire de la dyslexie a été soulevé par de nombreuses études. Ramus (2012) évoque deux études du début et du milieu du 20^{ème} siècle qui émettaient déjà des soupçons sur l'hérédité de la dyslexie. En effet, la grande probabilité d'avoir un de ses parents et un de ses frères et sœurs dyslexiques lorsqu'on est dyslexique avait été relevée. Plus tard, des études ont été menées sur des jumeaux, l'objectif étant de comparer le taux de concordance du trouble entre une paire de jumeaux monozygotes et une paire de jumeaux dizygotes. En effet, les deux jumeaux d'une même paire étant sensés subir une influence contextuelle (familiale, culturelle et éducative) similaire, un écart de concordance entre les différentes catégories de jumeaux permettrait de conclure la présence d'une influence purement génétique (Huc-chabrolle, Barthez, Tripi, & Barthélémy, 2010). Cette méthode a été appliquée par DeFries et Alarcón (1996), qui ont étudié 186 paires de jumeaux monozygotes et 138 paires de jumeaux dizygotes. Leurs résultats permettent d'estimer que l'influence génétique est significative, compte tenu du très grand nombre d'individus et de l'écart important de concordance des troubles de la lecture entre les deux types de jumeaux. En effet, la concordance pour les jumeaux monozygotes, qui partagent un patrimoine génétique plus proche, est estimée à 68%, alors qu'elle est de 38% seulement dans le cas des jumeaux dizygotes. Cependant, ces constatations ne permettent pas d'expliquer précisément le rôle des gènes et il a fallu attendre l'étude plus récente de certains d'entre eux pour en savoir davantage. L'article de Ramus (2010) est une revue détaillée de ces études sur les gènes associés à la dyslexie et quatre d'entre eux ont été identifiés comme facteur de transmission du trouble (DYX1C1, KIAA0319, DCDC2, ROBO1).

Habib et Joly-Pottuz (2008), notent aussi l'importance du caractère génétique de la dyslexie puisque son hérédité serait comprise entre 50 et 65% (et 50% pour les troubles mathématiques), alors même que la population globale de dyslexiques est estimée aux alentours de 5%. De plus, toujours selon Habib et Joly-Pottuz (2008), le lien entre certaines régions chromosomiques et la dyslexie a été établi par plusieurs études indépendantes et les

quatre gènes candidats identifiés par ces études sont justement impliqués dans la migration des neurones ! Cette information confirmerait donc à la fois le facteur génétique mais également les hypothèses sur l'origine de la dyslexie.

1.1.4. Les symptômes

"L'enfant dyslexique a le plus souvent de grosses difficultés à acquérir les correspondances graphèmes-phonèmes." (Ramus, 2012, p.35)

La dyslexie est, comme nous l'avons vu, un trouble de la lecture, elle se manifeste donc par des problèmes de déchiffrage (ou décodage).

Voici une liste des erreurs les plus courantes commises par les dyslexiques :

- Omissions (ex : arbre -> arbe) ;
- Inversions (ex : cro -> cor) ;
- Confusions phonétiques (ex : s/ch; u/ou) ;
- Confusions visuelles, problème de symétrie (ex : p/q; b/d) ;
- Contaminations (ex : palier -> papier) ;
- Substitutions (ex : chauffeur -> faucheur) ;
- Adjonctions (ex : parquet -> paquet).

J'ai repris cette liste d'exemples de la documentation générale de Médialexie sur la dyslexie et je l'ai retrouvée également sur diverses pages internet ou brochures (Habib, Livet, Mancini, & Pech, 2003; Médialexie, 2012).

De ces erreurs, il résulte une lecture lente et saccadée, mais aussi pénible pour le lecteur. De plus, ces erreurs parasitent sa compréhension du texte. Ce phénomène est amplifié lorsque la longueur et la complexité augmentent et, finalement, l'extraction du sens du texte ne se fait que partiellement. Je développerai ceci dans le Chapitre 2.

Plutôt que de parler de la dyslexie, il semble plus exact d'utiliser l'expression les dyslexies. Comme souligné précédemment, ces troubles de la lecture n'ont pas une origine unique, ainsi on retrouve différentes caractéristiques pour chaque groupe d'individus (voire pour chaque individu) d'un point de vue comportemental (INSERM (dir.), 2007) comme d'un point de vue physiologique (Ramus, 2012). Afin de mieux comprendre quelles mécaniques cognitives sollicitent la tâche de lecture, nous allons maintenant nous pencher sur les modèles de la lecture communément mis en avant dans la littérature. Ceux-ci permettent de mieux comprendre les différents types de dyslexie.

1.2. Types de dyslexies

Les dyslexies sont classées par type. Ces types correspondent au dysfonctionnement de l'une, l'autre ou les deux voies de lecture décrites plus bas. On retrouve cette notion de type de dyslexie dans diverses publications présentant les grandes lignes de la dyslexie, mémoires d'orthophonie, thèses ou articles scientifiques collectifs (Castel, 2008; Delamare, 2012; Démonet et al., 2004; INSERM (dir.), 2007; Jucla, 2009; Valdois et al., 2003).

1.2.1. Voies de lecture

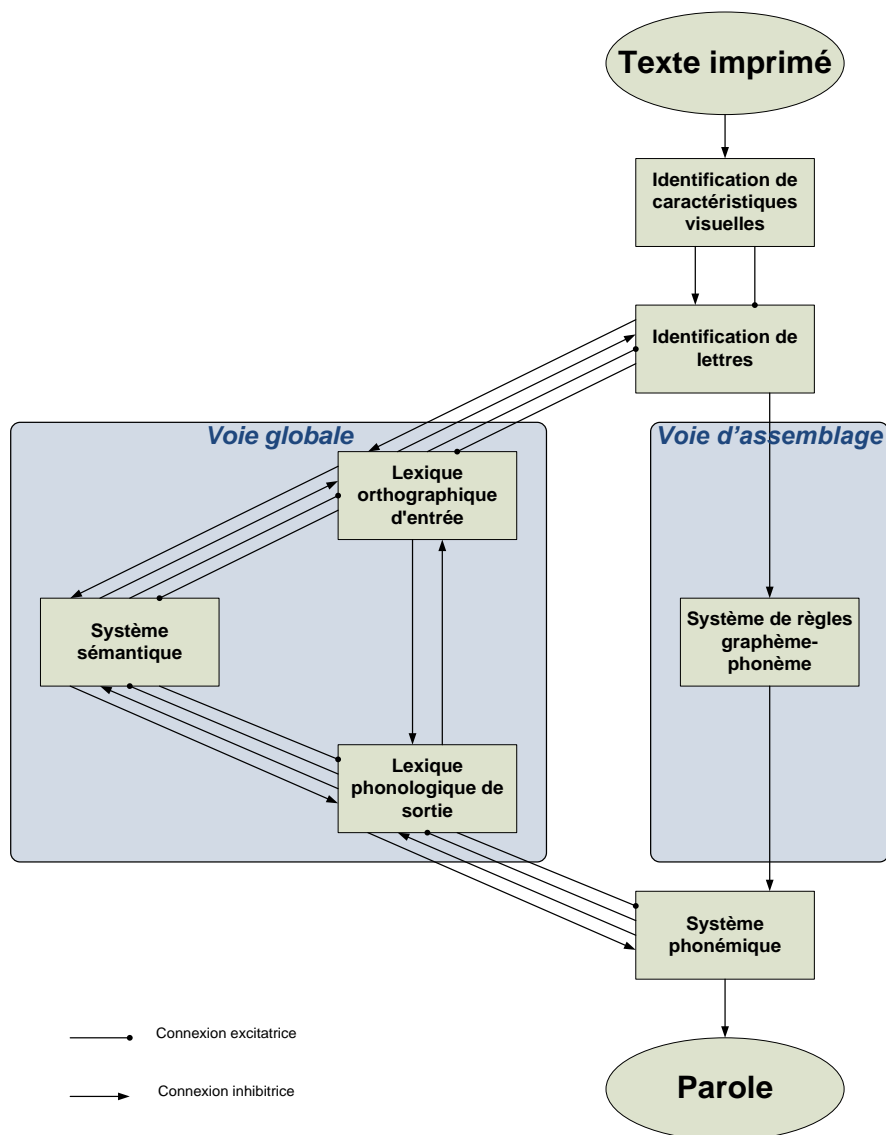


Figure 1.4 Schéma de modélisation des voies de lecture, le DRC (figure reprise de la thèse de Garcia (2016) d'après le modèle de Coltheart et al. (2001))

Pendant l'activité de lecture, différents processus cognitifs peuvent être mis en œuvre afin de traiter l'information. Deux chemins de lecture ont notamment été identifiés, ils sont appelés « voies de lecture ». Les voies de lecture sont donc une modélisation proposée par des chercheurs afin d'expliquer le processus ayant cours dans le cerveau humain lors de l'activité de lecture. La Figure 1.4, inspirée d'un article de Coltheart, Rastle, Perry, Langdon et Ziegler (2001), représente le modèle à deux voies de lecture appelé DRC (Dual Route Cascade).

Pour une personne non sujette à des troubles du langage, ces deux voies seraient activées de façon concurrente, la préférence étant donnée à la voie qui permet le traitement de l'information le plus rapide (Ziegler, Perry, & Coltheart, 2003). Il est à noter que ce modèle de lecture est toujours utilisé et mis à jour, en prenant en compte les autres modèles développés (Perry, Ziegler, & Zorzi, 2010).

La voie globale (aussi appelée lexicale ou reconnaissance par adressage) fait appel au lexique orthographique enregistré en mémoire par le lecteur. Lorsque cette voie est utilisée, les mots sont identifiés comme un tout et récupérés dans le lexique mental, associés à leur valeur sémantique et leur phonétique.

La voie d'assemblage est aussi nommée dans la littérature : phonologique, analytique ou encore sous-lexicale. Lorsque celle-ci est en œuvre, les mots sont décodés, segmentés en syllabes et convertis mentalement de la forme écrite à la forme phonétique *via* le système de correspondances graphèmes/ phonèmes.

Chez les personnes dyslexiques, l'utilisation d'une de ces voies, voire des deux, peut être affectée physiologiquement. Dans ce cas, leur utilisation devient difficile et peut entraîner des imprécisions, des ralentissements dans le processus ou des erreurs. Celles-ci dépendent de la voie touchée et de la gravité du trouble. Dans tous les cas, ces difficultés affectent fortement les performances des dyslexiques dans les tâches de lecture. Plus précisément, le déficit de l'une des deux voies respectives correspond à l'un des deux principaux types de dyslexie que je décrirai plus en détail dans le point suivant.

Cependant, je tiens à rappeler que, comme nous l'avons vu avec le diagnostic effectué par critères d'exclusion, toute personne ayant des difficultés spécifiques à l'activité de lecture est qualifiée de "dyslexique". Des problèmes indépendants du fonctionnement des voies de lecture peuvent donc donner lieu à ce diagnostic. Par exemple, un défaut de reconnaissance des caractères qui ne serait pas lié à un problème de vue, un défaut de mémorisation des unités lexicales ou encore d'accès à ces mêmes unités, pourraient tous aussi bien amener au diagnostic de dyslexie. Il existe aussi d'autres modèles complétant ou concurrençant le modèle classique des voies de lecture. Je reviendrai sur ces différents aspects dans les points 1.2.2.1 puis 1.2.3.2.

1.2.2. Dyslexie phonologique

La voie de lecture la plus souvent défectueuse est la voie d'assemblage, il en résulte un type de dyslexie appelé "dyslexie phonologique". Cette forme de dyslexie serait due à un déficit de mémorisation des représentations phonologiques. Elle est parfois appelée dyslexie profonde.

Au niveau comportemental, cela se traduit par une difficulté à décoder les mots en utilisant le système de conversion entre graphèmes et phonèmes. C'est à dire que les dyslexiques phonologiques ont des difficultés à associer à une syllabe, ou groupe de lettres, le son attendu dans la langue parlée correspondante. Ainsi, les pseudo-mots -des mots imaginaires créés pour les tests de lecture, semblables à de vrais mots au niveau morphosyntaxique- sont très difficiles à lire pour eux. Ces dyslexiques ont également des difficultés à lire les mots nouveaux. Par contre, ils peuvent tout à fait reconnaître des mots de façon globale et ainsi ont peu de problèmes avec les mots courants, dont l'accès en mémoire est facile, qu'ils soient réguliers ou irréguliers.

Les erreurs les plus courantes pour les dyslexiques phonologiques sont la lexicalisation (production d'un mot de la langue à la place d'un pseudo-mot), la déformation par omission, addition ou substitution, ainsi que d'autres erreurs morphologiques (INSERM (dir.), 2007). C'est donc ce type de dyslexie qui est parfois décrit comme une difficulté à percevoir l'ordre des lettres dans les mots. Widell (2016), un développeur en informatique s'est prêté à une expérience intéressante pour sensibiliser les normo-lecteurs aux problèmes rencontrés par certains dyslexiques souffrant de dyslexie phonologique. Il s'est appuyé sur l'expérience de l'un de ses amis, dyslexique, pour créer un simulateur de dyslexie, qui permet d'afficher un texte dont les lettres de chaque mot se déplacent régulièrement à l'intérieur de ceux-ci (voir Figure 1.5).

La sensibilisation aux problèmes des dyslexiques est importante dans la mesure où ce trouble de la lecture est non seulement mal défini, mais aussi mal compris et mal accepté par le grand public. Je reviendrai sur ces difficultés en détails dans le Chapitre 4.

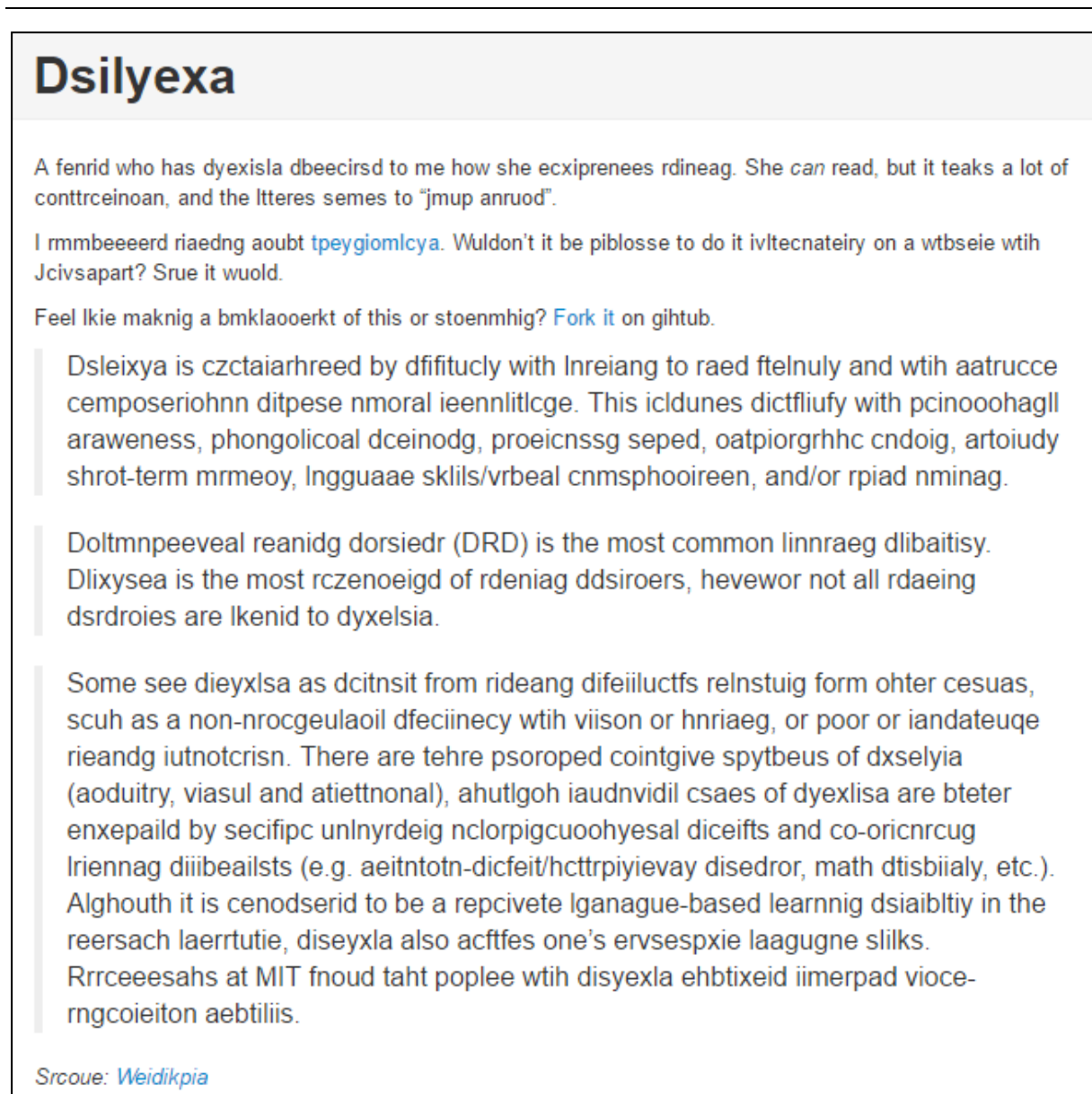


Figure 1.5 Capture d'écran de la page affichée par le simulateur de dyslexie de Widell (2016).

1.2.2.1. Déficit phonologique : représentation ou accès

De récents travaux de recherche remettent en cause l'origine de la dyslexie phonologique en suggérant qu'elle serait la conséquence non pas d'un déficit dans les représentations phonologiques en mémoire mais plutôt d'une dégradation de l'accès à ces représentations.

De façon générale, les informations en mémoire à long terme doivent être encodées puis stockées pour ensuite pouvoir être récupérées lorsqu'elles sont nécessaires. Comme l'explique Malard (2013) :

"L'encodage traite l'information sensorielle et la transforme en une représentation mnésique, puis le stockage consolide l'information en la gravant dans les circuits

neuronaux et enfin la récupération par une reconnaissance ou un rappel permet à l'information d'être extraite de la mémoire à long terme et ramenée à la conscience." (Malard, 2013, p.19)

Ainsi, une représentation dégradée peut aussi bien avoir pour origine :

- un problème dans l'encodage, c'est à dire le bon fonctionnement des capteurs sensoriels et la transmission de leurs données jusqu'aux zones de traitement du langage ;
- un problème dans le stockage, c'est à dire un dysfonctionnement de la structure neuronale permettant de conserver les unités de langage en mémoire ;
- un problème dans la récupération/ l'accès au donnée, donc encore une fois une mauvaise transmission de l'information, mais en sortie.

Selon Maïonchi-Pino (2012), il était d'abord admis d'attribuer les déficits phonologiques des dyslexiques concernés à trois raisons possibles : une mémoire phonologique à court terme limitée, des représentations phonologiques dégradées, ou un trouble de la perception de la parole. Concernant les troubles de perception de la parole, une difficulté constatée des dyslexiques est l'inaptitude à discriminer deux phonèmes appartenant à deux catégories différentes (comme /b/ et /p/) tout en maintenant l'aptitude à différencier deux variantes d'un même phonème dont l'une n'existe même pas dans leur langage natif (comme /p/ et /p^h/) (Maïonchi-Pino, 2012).

Toujours d'après Maïonchi-Pino (2012), il a ensuite été suggéré que les déficits phonologiques provenaient d'un problème de stockage, d'accès, ou de récupération des représentations phonologiques. Puis, que les déficits phonologiques résultaient d'une combinaison de ces problèmes et d'une difficulté d'apprentissage et de manipulation des unités phonologiques. Finalement, la question est encore discutée.

Tout d'abord, Ramus et Szenkovits (2008) ont, pour répondre à cette question, réalisé un état de l'art sur les expérimentations visant à comprendre la nature du déficit phonologique dans la dyslexie développementale. Ils ont alors suggéré la possibilité que le déficit soit en réalité dû à un problème d'accès, en constatant que les résultats des individus dyslexiques indiquaient des signes de lenteur ou des problèmes de mémoire à court terme, plutôt qu'un défaut propre à la phonologie.

Ensuite, Boets et al. (2013) ont montré que les représentations phonologiques sont intactes chez les dyslexiques adultes qu'ils ont observés. Ils ont pour cela réalisé une analyse par IRM ciblée sur les zones du cerveau impliquées dans la construction de ces représentations et ce sur une population de 22 adultes dyslexiques et groupe contrôle de 23 normo-lecteurs. Les résultats indiquent une différence significative dans l'activité des dyslexiques, correspondant bien à une capacité réduite à manipuler les phonèmes. Cependant, d'après l'analyse de Boets et al. (2013), cette capacité réduite est la conséquence d'un dysfonctionnement de la

connexion entre les zones de l'aire frontale et de l'aire temporale affectées au langage. Il s'agirait donc d'un déficit dans la transmission de l'information.

Il n'est également pas à exclure que des transmissions dégradées puissent engendrer des représentations dégradées en mémoire. En effet, il est imaginable que des déficits d'encodage voire de récupération puissent entraîner un stockage erroné de représentations, au départ intactes, à force de les solliciter.

1.2.2.2. Lien entre déficit visuel et déficit phonologique ?

Différentes hypothèses s'affrontent pour tenter de mieux comprendre l'origine de la dyslexie et le rôle possible d'un déficit visuel. Le problème des représentations phonologiques dégradées pourrait-il être provoqué par un trouble visuel ou est-il directement la cause d'un déficit cérébral développemental ?

Cette interrogation découle du fait que le déficit cérébral constaté par IRM, dans les études de cas menées sur les personnes dyslexiques, ne permet pas de conclure qu'il soit la cause, innée, du trouble de la lecture, ou qu'il soit lui-même la conséquence d'un trouble physique précédent, qui aurait empêché ou ralenti le développement cérébral. En effet, la conscience phonologique et les capacités visuo-attentionnelles sont toutes deux reconnues comme des composants cruciaux dans la lecture (Bosse & Valdois, 2009), cependant l'influence de ces composants l'un sur l'autre n'est pas évidente (ceci rejoint également les remarques que j'ai faites sur la Figure 1.3).

- La première hypothèse, purement axée sur un déficit phonologique, repose sur le fait que les dyslexiques ne posséderaient pas la structure neuronale de base pour stocker les représentations phonologiques. Celle-ci ne serait pas créée lors de la phase de développement du cerveau, ce qui entrainerait l'incapacité de créer par la suite les associations graphèmes/phonèmes voire plus largement les associations unités visuelles/phonèmes.
- La deuxième hypothèse est que la dyslexie aurait pour origine un trouble visuel. Puisque les structures de correspondance graphèmes/phonèmes se développent au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données par l'œil, le déficit visuel entrainerait le déficit cérébral, c'est-à-dire l'absence de structures ou le mauvais fonctionnement de celles-ci.

Si ces deux hypothèses sont intéressantes, il a été montré que certains sujets dyslexiques ne présentent aucun déficit phonologique (Bosse & Valdois, 2009; Valdois et al., 2003). Des théories ont été construites à partir de cette constatation, je les détaille dans les points suivants concernant la dyslexie dite "de surface".

1.2.3. Dyslexie de surface

Un peu moins répandue que la dyslexie phonologique, le terme de dyslexie de surface s'applique aux personnes ayant des difficultés à faire appel à la reconnaissance globale des mots. Elle est parfois aussi appelée dyslexie dyséidétique. Cela entraîne plusieurs problèmes, différents de ceux évoqués précédemment. On peut notamment relever un défaut de prononciation des mots irréguliers en lecture à voix haute, en effet, les personnes touchées de dyslexie de surface vont souvent les prononcer comme ils s'écrivent, c'est-à-dire en suivant la règle standard de conversion graphème/phonème. Plus généralement, ils ont une tendance à la régularisation des mots. Les pseudo-mots et les mots réguliers ne leur posent aucun problème. Une étude de cas a été menée par Valdois et al. (2003), sur deux individus touchés par la dyslexie développementale, l'un dyslexique phonologique et l'autre dyslexique de surface. Des tâches de lecture spécifiques ont permis de montrer des différences dans leurs performances et leurs difficultés et a ainsi conforté l'absence de déficit phonologique dans certains cas de dyslexie. Des études de cas précédentes avaient déjà permis de constater que le déficit phonologique n'est pas systématique (Hanley, Hastie, & Kay, 1992).

La lecture chez un dyslexique de surface est lente car la voie d'assemblage est systématiquement utilisée (Ziegler, Perry, & Coltheart, 2003), chaque mot est donc décodé comme s'il s'agissait d'un mot nouveau. Ce type de dyslexie est fortement associé à la dysorthographe. En effet, lors de la rédaction d'un texte, les personnes atteintes de dyslexie de surface vont éprouver de grandes difficultés à orthographier correctement des mots dont il maîtrise le sens et l'usage mais dont la conversion phonème/graphème est irrégulière. Par exemple, lorsque le son ne permet pas seul de déterminer les lettres à utiliser, ces personnes n'ayant pas de représentation globale en mémoire, elles vont choisir aléatoirement une séquence de lettres parmi celles possibles ("c", "k" ou "qu" pour le son [k], par exemple). Cela va notamment provoquer des erreurs sur les accords, sur les mots possédant des lettres muettes, et des confusions entre mots homophones.

A la différence de la dyslexie phonologique, les personnes identifiées comme dyslexiques de surface présentent des difficultés semblables à celles d'un retard d'apprentissage. En effet, ils obtiennent des résultats aux tests de lecture similaires à ceux des normo-lecteurs plus jeunes qu'eux, tandis que, les dyslexiques phonologiques ont des profils atypiques ne correspondant à aucun stade d'évolution des normo-lecteurs (INSERM (dir.), 2007).

Les erreurs des dyslexiques de surface apparaissent le plus souvent dans les tâches de décision lexicale, le lecteur devant choisir si un mot présenté est un mot correct de la langue ou non. Les dyslexiques de surface vont rejeter des mots irréguliers pourtant corrects et accepter des pseudo-mots homophones de mots corrects, tels que « farmassi » ou « jardin » (INSERM (dir.), 2007). Cette difficulté va aussi créer des problèmes de compréhension lorsque les textes présentent des mots homophones, qui seront donc confondus.

1.2.3.1. Modèle multi-traces de lecture

J'ai introduit précédemment le modèle de lecture à double voie, parce qu'il est plus ancien et qu'il permet de bien comprendre et surtout de visualiser le concept derrière les différents types de dyslexie. Cependant, une autre proposition importante de modélisation de l'activité de lecture existe, il s'agit du modèle multi-traces de lecture (modèle MTM) (Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998). Ce modèle considère également l'existence de deux procédures de lecture, l'une globale et l'autre analytique, mais contrairement au modèle DRC, il ne fait pas appel pour le traitement de pseudo-mots à un composant spécifique de conversion graphème/phonème.

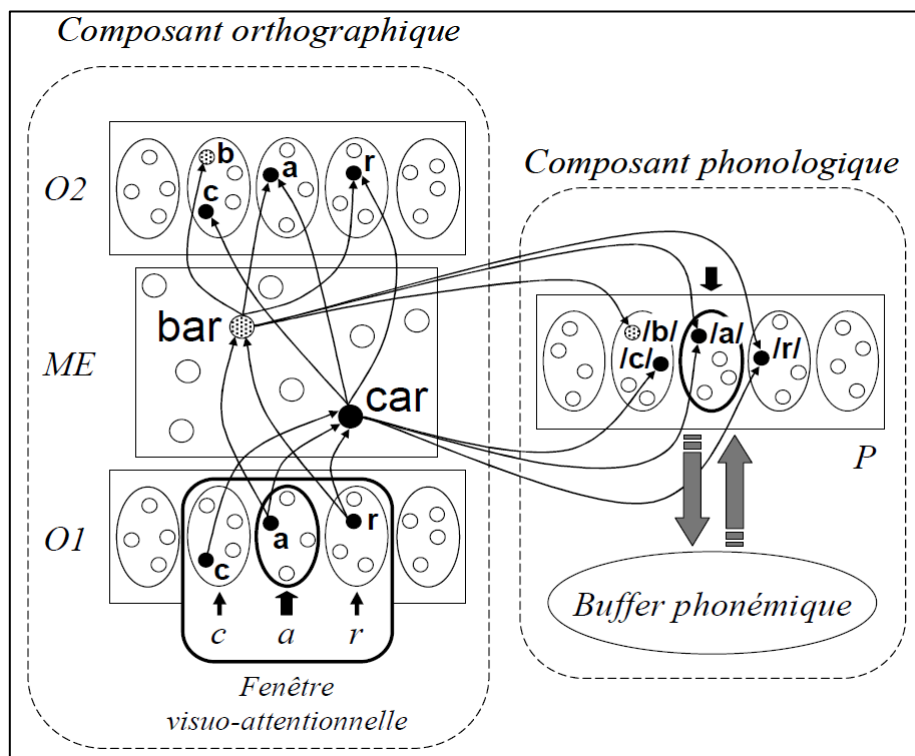


Figure 1.6 Schéma illustrant le traitement de mots avec le modèle multi-traces de lecture, extrait de l'article de Valdois (2010).

La Figure 1.6, issu d'un article de Valdois (2010), représente de façon schématique le modèle MTM de Ans, Carbonnel et Valdois. Le MTM attribue un rôle très important à la fenêtre visuo-attentionnelle, un facteur qui n'est pas pris en compte par le DRC. Cette fenêtre correspond à la délimitation de l'information orthographique traitée. Dans le MTM, deux composants, orthographique (O2) et phonologique (P) agissent simultanément en concurrence à partir de la séquence de lettres contenue dans la fenêtre visuo-attentionnelle (O1). Ces composants sont activés à partir des connaissances contenues dans la mémoire épisodique (ME), c'est à dire les mots contenus dans la mémoire à long terme. Cela crée une concurrence entre plusieurs mots proches, "bar" et "car" dans l'exemple et une seule proposition sera ensuite retenue et stockée dans la mémoire à court terme (MCT), jusqu'à ce qu'elle soit prononcée ou produite (Valdois, 2010).

Dans le cadre du modèle MTM un mot rencontré lors de la lecture sera d'abord traité de façon globale et c'est seulement s'il n'est pas reconnu (comme dans le cas d'un pseudo-mot) ou que la fenêtre visuo-attentionnelle n'est pas assez large pour son traitement, que la fenêtre va se réduire, par exemple à l'échelle des syllabes, et que le mot sera traité de manière analytique. Il en résulte qu'un déficit de la fenêtre visuo-attentionnelle aura une répercussion importante sur la qualité et la vitesse de la lecture à plus grande échelle. C'est ce phénomène qui expliquerait la dyslexie de surface et qui est à la base de la théorie de l'Empan visuo-attentionnel, que je vais aborder maintenant.

1.2.3.2. Empan visuo-attentionnel

La notion d'empan visuo-attentionnel (appelé EVA) a été introduite par Bosse, Tainturier et Valdois (2007).

"L'EVA correspond au nombre d'éléments visuels distincts pouvant être traités en parallèle dans une configuration." (Valdois, 2008, p.2)

Cette notion d'EVA et le modèle MTM ont inspiré la théorie de l'Empan Visuo-Attentionnel, exposée par Sylviane Valdois (2008), dont les travaux de recherche s'articulent autour de la neurologie et psychologie. Cette théorie propose une explication alternative à l'origine de la dyslexie, différente du déficit phonologique.

Pour éclairer la citation ci-dessus, l'EVA correspond dans l'activité de lecture au nombre de signes distincts, de graphèmes, qui peuvent être perçus par le lecteur en une seule fixation. L'EVA représente donc la capacité de prise d'information, à l'amont du processus de reconnaissance des mots. Pour un normo-lecteur, le nombre de lettres perçues en une seule fixation du regard est d'environ 4 lettres à gauche du point de fixation et 7 à 8 lettres à droite (Dehaene, 2007). Certains dyslexiques montrent des troubles visuo-attentionnels importants (Marendaz, Valdois, & Walch, 1996). Un EVA réduit peut être fortement problématique : certains mots longs n'étant plus accessibles en une seule fixation, cela peut provoquer un ralentissement important de la lecture et impliquer des problèmes de compréhension, je reviendrai sur ce problème de vitesse de lecture dans le point 2.4.

Valdois (2008) rappelle que les troubles de l'apprentissage de la lecture ont été historiquement d'abord attribués à des problèmes dans le traitement visuel au cours de la tâche de lecture (fin XIXème, début XXème siècle), ce n'est que plus tard que l'accent a été mis sur le déficit phonologique. Ses travaux pour modéliser d'une nouvelle façon la tâche de lecture ont notamment pour origine l'absence de proposition pour décrire le dysfonctionnement cognitif propre aux dyslexies de surface. La théorie de l'EVA permet d'expliquer le faible niveau de lecture des dyslexiques dit "de surface" alors que leurs performances phonologiques sont intactes. L'EVA joue en effet un rôle majeur dans la lecture en particulier lorsqu'on utilise la procédure globale (Valdois, 2010), puisque par définition l'application de cette procédure est conditionnée par le nombre de caractères que le lecteur est capable de récupérer, et donc traiter, en une seule fixation.

Une des expérimentations décrites dans l'article de Bosse et al. (2007), impliquait 68 enfants dyslexiques, français et anglais, dont la majorité (60%) présentait un seul déficit : soit un trouble phonologique, soit un trouble de l'EVA. Les deux troubles étant à peu près autant représentés. De plus, d'autres enfants présentaient les deux déficits. Enfin, une dernière part des dyslexiques n'était atteinte d'aucun de ces déficits, leur trouble étant sûrement imputable à une autre raison. Cette étude a permis de montrer que les capacités d'EVA jouent un grand rôle dans les performances de lecture, indépendamment des aptitudes phonologiques. L'importance de l'EVA dans la précision de la lecture se vérifie pour les mots comme pour les pseudo-mots. L'autre expérimentation menée par Bosse et al. (2007) démontre que la contribution de l'EVA dans l'activité de lecture reste aussi importante lorsqu'on fait varier d'autres facteurs tels que le QI, âge, le niveau de vocabulaire, les capacités d'indentification des lettres et les capacités sémantiques des lecteurs.

Une autre étude, menée par Bosse et Valdois (2009) a permis de montrer la contribution de l'EVA sur les performances de lecture pour les élèves d'école primaire et ce indépendamment de leurs aptitudes phonologiques. De plus, cette même étude démontre que l'EVA contribue grandement à la construction des relations graphèmes/phonèmes par son implication dans la segmentation et l'identification des unités sub-lexicales.

D'autres études ont été menées sur l'attention des dyslexiques, notamment sur la combinaison entre attention visuelle et auditive, celles-ci étant les deux composantes impliquées dans l'exercice de conversion graphème-phonème. Harrar et al. (2014) ont ainsi étudié, avec un groupe de dyslexiques et un groupe contrôle, le temps de réaction à des stimuli visuels, puis auditifs et enfin à une succession de ces deux types de stimuli. Leur premier constat, attendu, est la difficulté des dyslexiques sur ces exercices, qui se montrent moins rapides que les normo-lecteurs. Deuxième constat, le stimulus visuel apparaît comme prioritaire sur le stimulus auditif. Selon cette étude, lorsqu'il est placé en premier, le stimulus visuel perturberait l'attention des participants dyslexiques qui perdraient alors une part de leurs capacités de perception auditive.

1.2.4. Dyslexie mixte

Enfin, le troisième type de dyslexie reconnue est appelé dyslexie mixte. Dans le cas de la dyslexie mixte, les deux voies de lecture sont touchées. Les symptômes de la dyslexie phonologique et de la dyslexie de surface sont donc réunis. La plupart des dyslexiques phonologiques ne sont pas des dyslexiques phonologiques purs (INSERM (dir.), 2007), cependant ils souffrent d'un déficit plus important de l'une des deux voies de lecture. Les cas de fort déficit des deux voies de lecture sont rares et résultent en une quasi incapacité à la tâche de lecture.

Quel que soit le type de dyslexie, il existe plusieurs niveaux de déficit et les symptômes sont donc plus ou moins prononcés, allant d'une simple gêne sans grandes conséquences qui

n'est parfois pas repérée par la personne atteinte ou son entourage, jusqu'à la quasi-impossibilité de communiquer par écrit.

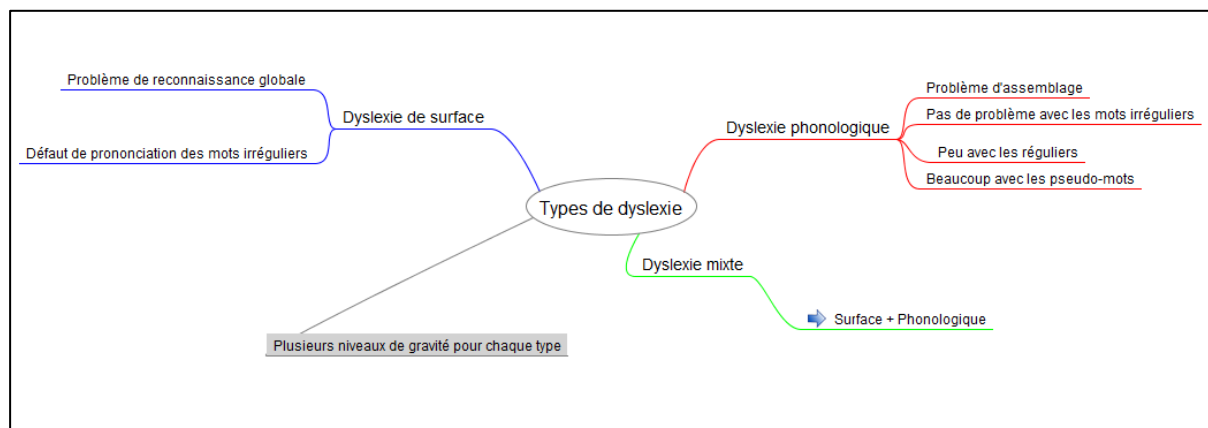


Figure 1.7 Carte heuristique illustrant les types de dyslexie et leurs symptômes, réalisée avec Freemind (Müller et al., 2004).

1.3. Difficultés de diagnostic

1.3.1. Dyslexie et Quotient Intellectuel

L'intervention du quotient intellectuel comme critère dans la définition classique de la dyslexie a certainement pour but de la différencier d'autres pathologies faisant apparaître un retard développemental global qui expliquerait le retard en lecture. Cependant, ce critère est trompeur puisqu'il implique qu'un sujet doit avoir un quotient intellectuel dans la norme pour qu'il puisse être diagnostiqué dyslexique. En réalité, il serait plus juste de dire que les déficits physiologiques entraînant la dyslexie et la mesure du quotient intellectuel sont indépendants.

Tanaka et al. (2011) ont étudié, grâce à l'IRM, l'activité cérébrale de normo-lecteurs et de personnes présentant des troubles spécifiques du langage, séparé en plusieurs groupes en fonction de leur QI. Le test de QI qui a été utilisé est le *Peabody Picture Vocabulary Test*. Ce test est en corrélation significative avec les autres tests de mesure du QI ($r = 0.9$) selon Tanaka et al. (2011), qui citent Dunn et Dunn (1997). Afin de tester le niveau de lecture des participants, le test WID (il s'agit précisément du *Word Identification of the Woodcock Reading Mastery Tests – Revised*) a été préalablement utilisé. Pour l'expérimentation, les participants ont été séparés en trois groupes : normo-lecteurs, en difficulté de lecture avec un QI moyen et en difficulté de lecture avec un QI faible. Les sujets souffrant de trouble de l'attention et d'hyperactivité ont été mis de côté. Les résultats montrent que le groupe de dyslexiques à faible QI présente une activité cérébrale réduite dans les zones pariéto-temporales et occipito-temporales de l'hémisphère gauche, durant une tâche de lecture,

similaire à l'activité cérébrale chez le groupe à QI moyen. Tous ont donc les mêmes difficultés de lecture en relation avec le processus phonologique, indépendamment de leurs QI. Comme le souligne Tanaka et al. (2011), même s'ils demandent d'autres études pour être confirmés et affinés, leurs résultats pourraient amener à considérer les difficultés de lecture de sujets à faible QI sous un nouvel angle et une remédiation spécifique à la dyslexie pourrait leur être profitable. De plus, ne plus exclure les sujets présentant des troubles du langage et un faible QI dans les recherches sur les bases physiologiques de la dyslexie développementale pourrait apporter de nouveaux résultats. Cette exclusion systématique présente, en effet, un risque de perdre des informations afin de mieux comprendre la dyslexie.

J'ajoute, même si j'y reviendrai, que dans le cadre du projet LICI, faire la distinction entre dyslexiques et mauvais lecteurs, y compris des individus avec un retard développemental global, n'est pas prioritaire. L'objectif de l'outil LICI étant de faciliter la compréhension de textes, celui-ci peut être profitable pour tous cas de retard dans les apprentissages liés aux difficultés de lecture. Toutefois, selon l'origine de ces difficultés, l'outil sera plus ou moins pertinent.

Un autre aspect plus étonnant de la relation entre QI et dyslexie est abordé par Elbeheri et Everatt (2012), il s'agit des considérations qu'ils qualifient de politiques et émotionnelles. D'après ces auteurs, le terme dyslexie a été tellement popularisé qu'il a perdu son sens scientifique et a été utilisé pour désigner toutes sortes de difficultés de lecture. Ceci aurait conduit à l'obligation de préciser dans le discours populaire qu'une personne dyslexique n'est pas "stupide". Or, prouver que le QI et la dyslexie sont indépendants, c'est plutôt montrer qu'il y a autant de personnes dites "stupides" atteintes de dyslexie que dans le reste de la population, ce qui serait dérangeant à accepter pour les communautés dyslexiques. Elbeheri et Everatt (2012) en concluent que si le critère de QI n'a pas été supprimé de la définition de la dyslexie, c'est en partie pour des raisons affectives et politiques.

J'ai constaté un phénomène lié à cette discussion au cours du projet LICI. Les personnes accompagnant les dyslexiques, comme par exemple l'équipe de l'entreprise Médialexie, ou encore les associations de dyslexiques, font souvent appel à l'image d'un QI supérieur chez les dyslexiques en prenant des exemples de personnalités célèbres reconnues pour leur génie et réputées dyslexiques. Einstein, Picasso, John Lennon ou encore Thomas Edison sont souvent cités (cf. Figure 1.8). Ce phénomène est probablement dû, d'une part, à la volonté d'apporter de la motivation, des encouragements et des exemples aux enfants dyslexiques ; et d'autre part, au potentiel dévoilé par certains individus dyslexiques. Ceux-ci ont développé de nouveaux moyens d'expression afin de contourner ou d'augmenter la modalité textuelle qui ne leur convenait pas. Je reviendrai sur les différentes modalités d'expression et les types d'intelligences dans le Chapitre 3.

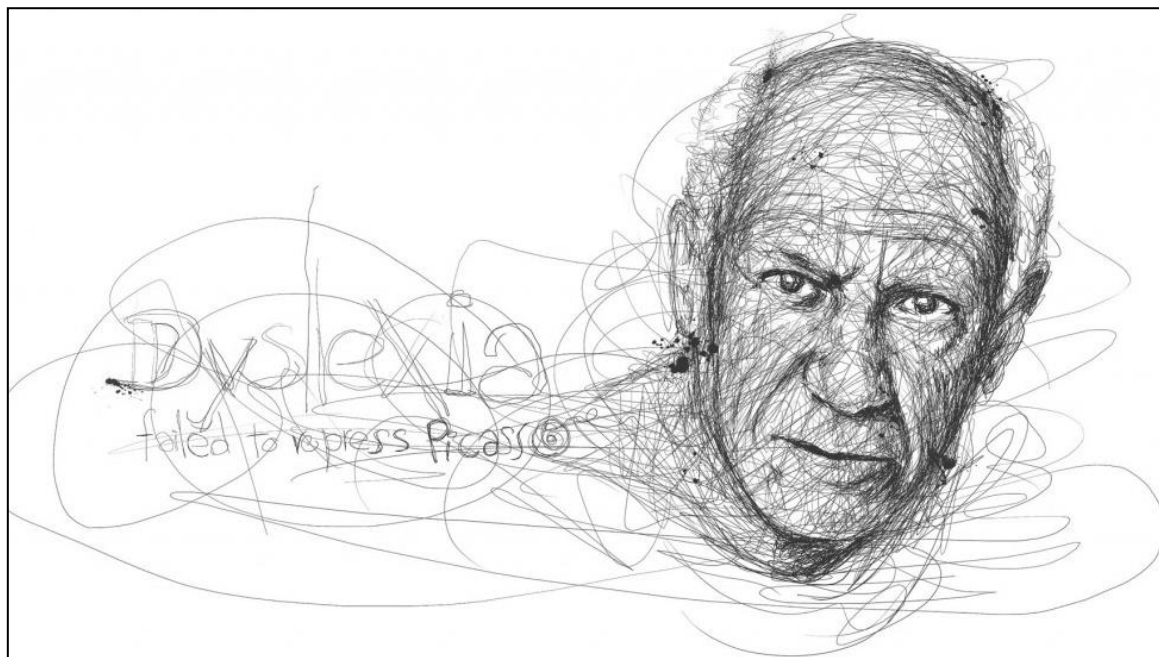


Figure 1.8 "Dyslexia failed to repress Picasso" dessin de Vince Low, réalisé pour l'International Dyslexia Association.

Elbeheri et Everatt (2012) soulignent, dans leur revue de la littérature sur le rôle du QI dans la dyslexie, le grand nombre de chercheurs favorables à l'abandon du critère de QI pour le diagnostic de la dyslexie. Cependant, beaucoup considèrent que les indicateurs positifs de diagnostic ne sont pas encore suffisamment nombreux et précis pour abandonner le diagnostic d'exclusion actuel, et cela implique de conserver le critère concernant le QI. Une autre étude intéressante a été menée sur le rapport entre QI et dyslexie par Ferrer et al. (2010). Elle concerne plus particulièrement le lien entre le développement des performances de lecture et le développement du QI. Ferrer et al. (2010) ont utilisé les données d'une étude longitudinale commencée en 1983 sur une cohorte de 232 enfants âgés de 6 ans dont on a testé les aptitudes de lecture et de QI annuellement jusqu'à l'âge de 18 ans. Pour les normo-lecteurs étudiés, le développement du QI et l'acquisition de la lecture sont liés dynamiquement, ce qui n'est pas le cas pour les sujets dyslexiques. Ferrer et al. (2010) propose une hypothèse pour expliquer cette différence, les dyslexiques liraient moins et acquéraient moins de vocabulaire et de connaissances lexicales, et ainsi, leur développement intellectuel reposerait davantage sur d'autres intrants environnementaux que sur les textes. Cependant, pour les auteurs de cette étude, ces résultats intéressants renforcent l'idée selon laquelle la dyslexie est bien une difficulté inattendue dans la tâche de lecture chez des sujets suffisamment "intelligents" pour accomplir cette tâche, ce qui conforte la définition actuelle. En effet, voici leur conclusion:

"Our findings of an uncoupling between IQ and reading, and the influence of this uncoupling on the developmental trajectory of reading, provide evidence to support the conceptual basis of dyslexia as an unexpected difficulty in reading in children who otherwise have the intelligence to learn to read. To our knowledge, this is the first

empirical demonstration of the developmental uncoupling of reading and cognition that was the focus of the initial description of dyslexia and remains the focus of the current definitional model of this learning disability" (Ferrer et al., 2010, p.100)

Je note toutefois que les mêmes résultats permettraient aussi de conclure que les performances de lectures sont indépendantes du QI, au sens où l'entendent Tanaka et al. (2011). Quoiqu'il en soit, le lien entre dyslexie et QI est contesté, discuté et vu parfois comme une faiblesse de définition, parfois comme une force ou encore comme un argument pour mettre en avant la différence dans la façon d'apprendre et le potentiel alternatif des dyslexiques.

1.3.2. Dyslexie, Langues et Cultures

Au niveau international, on voit apparaître de grandes disparités sur le nombre d'enfants sujets à la dyslexie selon les pays. Il y aurait, par exemple, de 5 à 10% de dyslexiques aux Etats Unis selon Tanaka et al. (2011). Une étude de Stevenson et al. (1982) menée dans trois pays sur des populations importantes (453, 956 et 775 enfants respectivement) montre une prévalence de troubles de la lecture de 6,3% pour les États-Uniens, 7,5% pour les Taïwanais et enfin de 5,4% pour les Japonais. D'autres chiffres sont cités par le rapport de l'INSERM ((dir.), 2007) qui propose une revue de la littérature sur la question, avec un tableau présentant le pourcentage de sujets dyslexiques selon les pays. Parmi les résultats évoqués, il est dit notamment que :

"La prévalence de la dyslexie dans d'autres pays et langues varie de 3% en Égypte (Farrag, 1988) à 8,2% en Inde (Bhakta, 2002)." (INSERM (dir.), 2007, p.176)

Dans une étude plus récente, effectuée auprès de 1134 enfants de 8 à 11 ans, dans différentes école du sud de l'Inde, Mogasale, Patil, Patil et Mogasale (2012) ont constaté un taux global de 15% d'enfants sujets à des troubles spécifiques des apprentissages, dont 11,21% de dyslexiques, 12,48% de dysorthographiques et 10,48% de dyscalculiques. Cependant, les taux d'incidences pour une langue donnée varient aussi selon les méthodes d'évaluation utilisées (INSERM (dir.), 2007).

Ces différences constatées entre les langues peuvent être dues, d'une part aux méthodes d'enseignement, et d'autre part à la nature et à la structure de la langue. Qu'entend-t-on par nature et structure de la langue ? Dans un premier temps le mode de représentation de la langue peut varier selon les cultures, je l'illustrerai en prenant l'exemple de la langue chinoise. Deuxièmement, une langue peut adopter des règles plus ou moins systématiques pour passer de la représentation écrite à la représentation phonologique des mots. Or dans le cas de la dyslexie dite phonologique, la difficulté à passer de graphèmes à phonèmes peut être amplifiée par les irrégularités de conversion des langues.

1.3.2.1. Variabilité dans la zone de traitement suivant les langues

Nous avons vu précédemment que le déficit physiologique à l'origine de la dyslexie a pu être identifié dans une zone précise du cerveau. Il est toutefois important de signaler que cet emplacement d'origine du trouble n'est pas universel mais dépend du système alphabétique utilisé. Ou plutôt, de façon logique, un même déficit cérébral n'aura pas les mêmes répercussions selon la structure de la langue pratiquée.

Siok, Perfetti, Jin et Tan (2004) ont étudié les origines de la dyslexie chez les locuteurs chinois qui, plutôt que de lire en associant des graphèmes à des phonèmes, utilisent le système logographique. Ce système de lecture consiste à associer directement des graphies (ou mots) à des morphèmes (unités de sens). Selon Siok et al. (2004), les caractères chinois sont des blocs monosyllabiques qui ne peuvent être découpés en phonèmes ou même en sous parties phonétiques distinctes. En effet, bien que certains caractères soient composés de plusieurs sous parties graphiques distinctes, ce n'est pas l'addition des sons de ces parties qui permet de lire le caractère, comme dans un système syllabique. Plus précisément, certains caractères sont des idéophonogrammes, qui réunissent deux caractères, l'un permettant de donner le sens et l'autre indiquant le son, mais il n'y a pas d'assemblage phonétique nécessaire pour les lire. Cette caractéristique fondamentale explique la différence de traitement par le cerveau lors de l'activité de lecture. La tâche de lecture ne dépend plus uniquement d'une relation entre orthographe et phonétique mais d'une relation orthographe-sémantique-phonétique. Les zones cérébrales sollicitées sont donc différentes, et les locuteurs chinois font appel au gyrus frontal moyen gauche alors que la lecture en anglais (ou en français) ne le nécessite pas. Ainsi, un dysfonctionnement de cette aire cérébrale pourra entraîner une dyslexie pour un chinois, tandis qu'il n'y aurait aucune corrélation entre ce déficit et les troubles de la lecture chez un lecteur français. Je note toutefois que d'après Siok et al. (2004), le déficit particulier observé chez les lecteurs dyslexiques chinois cohabite généralement avec le déficit phonologique observé chez les dyslexiques anglophones.

Une autre étude plus récente du même groupe de travail (Siok, Spinks, Jin, & Tan, 2009), montre que les dyslexiques chinois seraient atteints d'un déficit visuo-spatial qui coexisterait avec leur déficit phonologique. Cela implique que de par la différence de représentation graphique entre les langues, les dyslexiques chinois souffriraient également de difficultés dans toutes les tâches de reconnaissance d'images, liées ou non à la lecture. Stevenson et al. (1982) ont, quant à eux, étudié les aptitudes de lecture d'États-Uniens, de Taïwanais et de Japonais afin d'observer trois systèmes de codage des mots totalement différents : un système alphabétique (l'anglais), un système logographique (le taïwanais) et un système combiné dans lequel chaque signe correspond à une syllabe phonétique, plutôt qu'à un phonème (les kanas japonais). Ils ont montré que, contrairement aux croyances répandues jusque-là, les systèmes logographiques ou combinés donnent également lieu à des difficultés

d'apprentissage de la lecture, et qu'un nombre significatif d'enfants présente les signes de la dyslexie. Nakamura, Dehaene, Jobert, Le Bihan et Kouider (2005) sont allés plus loin dans l'étude de la langue japonaise. Tout comme Siok et ses collaborateurs, ils ont utilisé la technologie d'IRM fonctionnelle pour déterminer les zones cérébrales suscitées par le traitement du langage écrit. Leur expérimentation avait pour objectif de comparer le traitement de deux systèmes d'écriture qui cohabitent dans la culture japonaise, les kanji, plutôt logographique, et les kana, qui sont composés de syllabes dont la phonétique est transparente. Nakamura et al. (2005) ont pu observer que malgré les différences des deux systèmes, la région occipito-temporale ventrale gauche est sollicitée systématiquement, comme chez les lecteurs français. De plus, la lecture des kanji fait aussi appel aux régions visuelles ventrales des deux hémisphères; ce qui veut dire que, comme pour la lecture en chinois, il existe à la fois une zone de traitement qui est universellement sollicitée, quel que soit le système d'écriture, et d'autres zones qui sont plus ou moins actives selon les particularités propres à la langue cible.

Ces premières constatations participent à expliquer les disparités existantes quant au pourcentage de personnes atteintes de dyslexie dans une population donnée, selon sa langue maternelle. En effet, les zones cérébrales atteintes étant différentes, on peut penser que la probabilité d'être dyslexique pour une personne donnée sera également différente.

1.3.2.2. Régularité des langues

Un autre argument fort pour expliquer ces disparités est la complexité orthographique des langues et notamment la régularité des conversions de graphème à phonème. Cette caractéristique de la langue est appelée profondeur orthographique (*orthographic depth*). Il est aussi fait parfois référence au "système biunivoque", c'est à dire selon la définition de cette notion mathématique : un ensemble de règles de correspondance qui permettent d'associer un à un, les éléments de deux ensembles, ici les graphèmes et les phonèmes.

Le système biunivoque d'une langue, ou sa profondeur orthographique, est qualifié de transparent ou d'opaque. Plus précisément, une langue dont la profondeur orthographique est faible est dite transparente alors qu'une langue dont la conversion graphème/phonème est complexe est dite opaque. Il en découle, par principe, que plus le système est opaque, plus l'apprentissage est long, plus les apprenants en retard sont nombreux et plus ces retards sont importants. Le terme de consistance est aussi utilisé pour exprimer la distance entre le système d'une langue donnée et le système biunivoque parfait. Cette distance peut être différente que l'on étudie la conversion de graphème à phonème ou la conversion de phonème à graphème. Ainsi, le français est relativement consistant pour la prononciation des graphèmes et très inconsistant concernant l'écriture des phonèmes; autrement dit, il est très difficile de déduire les bonnes lettres d'un mot français en connaissant seulement sa phonétique, pour des raisons morphologiques comme grammaticales.

L'anglais, au contraire, serait la langue européenne la plus opaque, dans le sens lettres écrites -> sons prononcés. Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, Ladner, & Schulte-Körne (2003) ont mené une expérimentation afin de vérifier cette hypothèse en comparant la lecture en allemand et en anglais avec des groupes de dyslexiques et de normo-lecteurs natifs des deux langues. Ils illustrent dans leur article la difficulté de conversion graphème/phonème en anglais par cet exemple :

"compare the pronunciation of -ough in cough bough tough through and dough"
(Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, et al., 2003, p 171)

Les prononciations respectives du graphème *ough* pour les exemples donnés sont transcrites en alphabet phonétique international de la manière suivante : /ɔf/ ou /ɒf/, /aʊ/, /ʌf/, /u/ et /oʊ/. Avec cet exemple, l'opacité est frappante. En effet, on constate qu'un même graphème est converti en 5, voire 6 phonèmes distincts selon le mot dans lequel il se trouve, alors qu'aucun n'indice, aucune régularité, dans la forme écrite ne permet de le prévoir.

Les résultats de Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, et al. (2003), sur un test de reconnaissances de mots, montrent que les lecteurs allemands sont plus rapides et plus précis pour reconnaître le mot attendu, en général, c'est-à-dire normo-lecteurs compris, que les lecteurs anglais. De plus, au-delà de la différence significative de vitesse de lecture entre les groupes de dyslexiques et les groupes contrôles, les dyslexiques anglais ont commis significativement plus d'erreurs que les dyslexiques allemands, vis-à-vis de leur groupe contrôle respectif. L'ensemble des sujets dyslexiques a également montré de grandes difficultés en termes de rapidité de lecture des non-mots. Ces résultats confirment le principe de l'influence négative de l'opacité de la langue sur l'ampleur des retards contractés par les dyslexiques.

La taille de la population atteinte par la dyslexie et l'importance des difficultés de cette population semblent donc fortement reliées à la profondeur orthographique de chaque langue. Sur le plan européen, Seymour, Aro et Erskine (2003) proposent une échelle de classification de différentes langues selon leur complexité syllabique et leur niveau de transparence dans la conversion de graphème à phonème (voir Tableau 1.1).


Profondeur orthographique des langues					
	Transparente 			Opaque	
Structure syllabique simple	Finnois	Grec Italien Espagnol	Portugais	Français	
Structure syllabique complexe		Allemand Norvégien Islandais	Néerlandais Suédois	Danois	Anglais

Tableau 1.1 Ordonnancement de 13 langues européennes selon leur profondeur orthographique, basé sur le tableau de Seymour, Aro et Erskine (2003)

Seymour, Aro et Erskine (2003) ont mis en place une expérimentation pour évaluer le niveau de lecture des enfants issus de 13 pays européens, à la fin de la première année d'apprentissage de la lecture, soit environ l'âge de 7 ans. La population d'enfants allait de 25 élèves pour les Suédois, jusqu'à 105 élèves pour les Danois. Chaque élève a été soumis à trois tests de lecture : la lecture de lettres isolées, la lecture de mots et enfin l'appréciation de la validité et la lecture d'une liste contenant des non-mots. Les résultats du test de lecture de mots sont présentés, suivant les pays, en pourcentage moyen d'erreurs obtenues, sur la Figure 1.9. Il a été établi que l'apprentissage de la lecture est en retard à cet âge en portugais, en français et en danois, et que, ce retard est plus grand encore pour l'anglais. Seymour, Aro et Erskine (2003) indiquent que l'âge de commencement de l'apprentissage (plus jeune pour les anglais) et les méthodes d'apprentissage, pourraient être des facteurs de ce retard, mais n'expliquent pas une différence aussi significative. Le retard serait donc directement lié à un facteur structurel de la langue, soit sa complexité syllabique, soit sa profondeur orthographique. La complexité syllabique a eu un impact négatif sur les résultats de la tâche de lecture de non-mots, ce qui explique une partie du retard. La profondeur orthographique a eu un impact à la fois sur les résultats dans la tâche de lecture de non-mots et de mots. L'hypothèse de Seymour, Aro et Erskine (2003) pour expliquer cet effet négatif est que la tâche de reconnaissance des mots et la tâche de décodage font appel à un même processus pour les langues transparentes et à deux processus distincts pour les langues opaques. Dans le cas des langues opaques, la reconnaissance puis le décodage d'un mot ferait appel successivement à une reconnaissance logographique puis alphabétique et c'est ce phénomène qui causerait un retard incompressible dans l'apprentissage de la lecture.

Enfin, un parallèle peut être établi entre la variabilité de la profondeur orthographique et le point précédent sur les zones cérébrales impliquées dans le traitement de la langue écrite. Nakamura et al. (2005) remarquent que leur conclusion, selon laquelle il existe bien une zone de traitement universelle mais qu'elle coexiste avec des degrés d'activation plus ou moins importants des zones de traitement phonologique et lexico-sémantique, est similaire aux résultats de l'étude de Paulesu et al. (2000). Or, plutôt que de comparer un système alphabétique à un système logographique, Paulesu et al. (2000) avaient comparé l'activité cérébrale lors de l'activité de lecture pour deux langues possédant un système alphabétique, l'une transparente et l'autre opaque : l'italien et l'anglais.

Après avoir présenté les variations de prévalence de la dyslexie suivant les langues et donné quelques-unes des raisons de ces variations, je traiterai dans les points suivants la question des autres troubles associés aux troubles de la lecture.

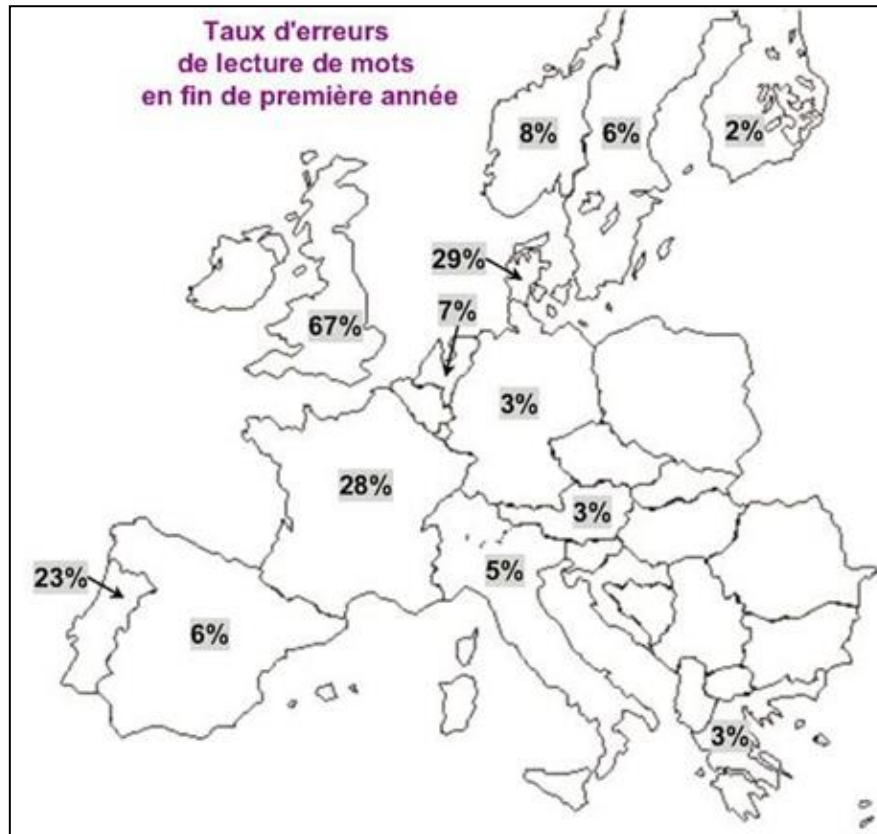


Figure 1.9 Représentation géographique des résultats de l'étude de Seymour et al. (2003), extraite du livre de Dehaene (2007).

1.3.3. Troubles associés

La plupart des individus dyslexiques souffre de plusieurs troubles du langage, voire d'autres troubles comme des troubles de l'attention, des troubles moteurs et les autres "dys", dont je donnerai une définition et une brève description par la suite. Ces troubles associés ont souvent pour conséquence l'impossibilité d'émettre un seul diagnostic pour un patient donné. Le terme de comorbidité est alors utilisé (Habib & Joly-Pottuz, 2008; INSERM (dir.), 2007; Ramus, 2012). Cette situation de comorbidité est fréquemment observée chez les dyslexiques, comme le constate Habib et Joly-pottuz (2008) à l'étude des troubles présentés par leurs patients. La Figure 1.10 illustre ce phénomène sur un panel de 177 patients dyslexiques. Ceux-ci présentent de forts taux de troubles associés. Le diagnostic par critères d'exclusion de la dyslexie est une cause de ce constat puisqu'il engendre le regroupement d'un public atteint de troubles hétérogènes derrière une unique étiquette de "dyslexie". Par extension, l'appellation de troubles spécifiques du langage (ou des apprentissages) peut être remise en cause lorsqu'on constate le nombre important de cas mêlant ces troubles à des troubles de l'attention, par exemple. Kaplan, Wilson, Dewey et Crawford (1998) considèrent d'ailleurs que les catégories usuelles pour classer ces troubles ne sont pas pertinentes et ils proposent une étiquette unique Atypical Brain Development (développement atypique du cerveau). Nicolson et Fawcett (2007) proposent quant à eux de changer les critères de

diagnostic et de redéfinir les catégories de troubles des apprentissages en se référant à l'observation des systèmes neuronaux.

Les troubles le plus souvent associés à la dyslexie sont : dyscalculie, dysorthographe, dyschronie, dysgraphie et TDA (Troubles et Déficit de l'Attention). Puisque la comorbidité est si fréquente chez les individus dyslexiques, je vais présenter rapidement ces autres troubles couramment associés, afin de mieux cerner l'ensemble des difficultés éprouvées par le public dyslexique.

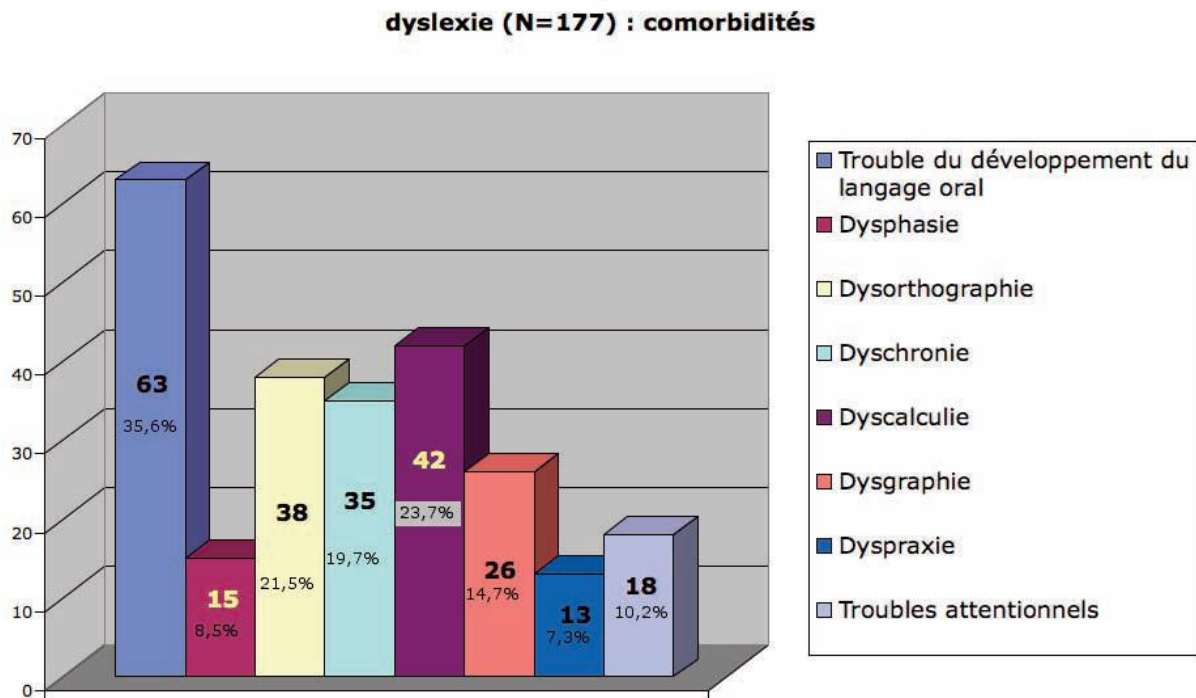


Figure 1.10 Troubles diagnostiqués en concomitance de la dyslexie, graphique tiré de l'article de Habib et Joly-pottuz (2008).

1.3.3.1. Dyscalculie

À l'instar de la dyslexie, la dyscalculie regroupe des troubles variés concernant la manipulation des chiffres. Ce terme est plus imprécis encore car il n'y a de consensus ni pour son utilisation ni pour sa définition :

"Il n'existe pas de définition et encore moins de critères diagnostiques unanimement acceptés de la dyscalculie. Le terme même de dyscalculie n'est pas universellement utilisé pour désigner le trouble." (INSERM (dir.), 2007, p.292)

Toujours d'après le rapport collectif de l'INSERM ((dir.), 2007,p.333), la dyscalculie est parfois même considérée "comme une conséquence d'un trouble plus général des fonctions cognitives".

Il peut s'agir d'une difficulté à assimiler les faits arithmétiques ou encore d'un problème de transcodage :

- l'alexie est la difficulté à passer de la représentation en toutes lettres à la représentation en chiffres ;
- l'agraphie désigne la difficulté inverse.

La dyscalculie procédurale est la difficulté à exécuter les opérations. Comme dans l'exemple de soustraction (1) ci-dessous pour laquelle certains dyscalculiques vont toujours soustraire le plus petit chiffre au plus grand quel que soit le sens de l'opération :

$$(1) 1442 - 2106 = 1344$$

Au niveau physiologique, ces types de dyscalculie résulteraient de lésions ou d'atteintes à certaines zones de l'hémisphère gauche du cerveau (INSERM (dir.), 2007).

Enfin, la dyscalculie visuo-spatiale concerne la difficulté à ordonner les chiffres. Contrairement aux autres types de dyscalculie, les problèmes d'organisation spatiale des nombres auraient pour origine l'atteinte d'une partie postérieure de l'hémisphère droit du cerveau, toujours selon le rapport collectif de l'INSERM (2007).

La dyscalculie toucherait 5 à 7% des enfants si l'on considère des études résidant sur un écart de deux ans de retard à un test standardisé de calcul, par analogie avec la dyslexie. Cependant, le rapport de l'INSERM (2007) souligne également la grande disparité entre les études de prévalence de la dyscalculie, les chiffres varieraient selon les populations et les méthodes de 3,6 à 7,7%. Selon Habib et Joly-pottuz (2008), la dyscalculie et la dyslexie ont une fréquence de comorbidité élevée qui est souvent sous-estimée. Ils citent notamment une étude de 1994, menée par Lewis et ses collaborateurs, dans laquelle une population d'enfants de 9 à 10 ans est étudiée : parmi ceux qui présentent un trouble de l'arithmétique, 64 % sont également dyslexiques.

1.3.3.2. Dysorthographe

La dysorthographe est fortement associée à la dyslexie dans la mesure où elle est définie par des troubles dans l'encodage des mots. On notera qu'une personne atteinte de troubles de la lecture aura des difficultés à se relire et plus généralement à associer graphème et phonème, ce qui est un facteur commun aux erreurs de décodage et d'encodage. Les erreurs les plus courantes pour un dysorthographe sont les omissions lors de la recopie de mots, l'économie de syllabes et les fautes de grammaire et de conjugaison.

D'après l'article de Habib et Joly-pottuz (2008), dysorthographe et dyslexie sont étroitement liées, l'acquisition de l'orthographe dépendant fortement de celle de la lecture. Dans certaines études, ces deux troubles sont considérés comme un unique trouble appelé dyslexie-dysorthographe (Delamare, 2012; INSERM (dir.), 2007). Toujours selon Habib et Joly-pottuz (2008) il n'y aurait pas de dysorthographe isolée, ce diagnostic serait en réalité

lié à l'insuffisance d'outils de mesure adéquats. Ils soulignent également l'absence d'une batterie de tests standardisée permettant de couvrir tous les troubles du langage pour toutes les tranches d'âge. Cette remarque faisant écho aux constats que j'ai faits dans la section 1.1.2. Enfin, le manque d'étude concernant la dysorthographe seule permet d'expliquer l'intrication dyslexie/dysorthographe.

1.3.3.3. Dysgraphie

La dysgraphie est un trouble du langage écrit purement comportemental puisqu'il s'agit de la difficulté à accomplir les gestes graphiques, ce qui inclut une grande difficulté à écrire. Les sources de ce trouble sont variées. La dysgraphie est très courante chez les personnes souffrant de dyspraxie. La dysgraphie peut également être un facteur de dysorthographe (Habib & Joly-pottuz, 2008; INSERM (dir.), 2007). En effet, les difficultés à accomplir les gestes graphiques peuvent impliquer des difficultés à écrire et à orthographier les mots dans les tâches manuscrites d'apprentissage de l'écriture, ce qui peut provoquer, par suite, des retards dans l'acquisition de l'orthographe. Cependant, je note également que le terme *dysgraphia*, en anglais, est presque équivalent au concept de dysorthographe dans certaines études (Hanley et al., 1992; Mogasale et al., 2012; Rapcsak et al., 2009). En effet, *dysgraphia* est défini, par exemple par *Wikipédia*, comme un trouble de l'écriture des mots en général et pas seulement du geste graphique, ce qui inclut un déficit dans la capacité à épeler un mot.

1.3.3.4. TDA/H

TDA ou TDA/H signifie Trouble et Déficit de l'Attention, avec ou sans Hyperactivité, selon les cas. Dans le DSM-IV, ce trouble est rangé dans la rubrique « déficit de l'attention et comportements perturbateurs », tout comme le trouble de la conduite sociale et le trouble oppositionnel avec provocation. Ces troubles entretiennent des liens forts qui sont encore mal connus d'après le rapport collectif de l'INSERM ((dir.),2007a).

On retrouve une corrélation importante entre les TDA/H et la dyslexie, d'autres dys ou d'autres troubles du langage. Le rapport de l'INSERM ((dir.), 2007a) référence différentes études montrant cette corrélation, par exemple une étude de 1992, réalisée par Semrud-Clikeman et ses collaborateurs, qui relève une comorbidité de l'ordre de 25 % entre TDA/H et trouble de la lecture. Les TDA seraient les troubles les plus souvent associés à la dyslexie, avec 25 à 40% d'enfants hyperactifs présentant un trouble de la lecture et 15 à 40% de dyslexiques souffrant de TDA (Huc-chabrolle et al., 2010; INSERM (dir.), 2007). Nicolson et Fawcett (2007) ont également entrepris une revue des études sur la comorbidité entre TDA et dyslexie, qui varierait de 11 à 40%. De plus, dans 50% des cas, des troubles moteurs précoces sont repérés chez les futurs dyslexiques. Un lien d'ordre génétique entre les deux troubles reste hypothétique (INSERM (dir.), 2007). De nombreuses études visent à comprendre le lien entre les deux troubles, le déficit de l'attention pouvant tout à fait être responsable d'un trouble de la lecture à lui seul, même si les résultats des participants à

certaines études comme celle de Raberger et Wimmer (2003) sur des tâches expérimentales ciblées permettent de bien séparer en groupes : dyslexie pure, TDA pure et trouble mixte.

Tout comme je l'ai souligné précédemment concernant les mauvais lecteurs, les enfants souffrant de troubles de l'attention, liés ou non à l'hyperactivité sont susceptibles de tirer bénéfice de l'utilisation de cartes pour l'aide à la lecture, d'abord car la quantité d'informations à lire est moindre mais aussi parce qu'une carte ne nécessite pas de suivre une direction et un sens de lecture strict. Ainsi, une personne qui perd régulièrement son point de focalisation sera moins pénalisée que lors de la lecture d'un texte.

1.3.3.5. Dyspraxie

La dyspraxie est un trouble développemental qui affecte les capacités motrices. Chez les personnes atteintes, certaines zones du cerveau impliquées dans l'apprentissage sont non-fonctionnelles (Habib & Joly-pottuz, 2008). La dyspraxie altère la capacité à apprendre et à pouvoir répéter des mouvements de manière automatique. Cela peut se traduire par un comportement qui semble maladroit, une difficulté à tenir des objets, à faire ses lacets et enfin, la dyspraxie entraîne souvent une dysgraphie. Selon Huc-chabrolle et al. (2010) au moins 50% des dyslexiques montrent des anomalies précoces dans le développement de leur motricité.

1.3.3.6. Dysphasie

Il s'agit d'un trouble structurel du langage caractérisé par un déficit significatif et permanent des performances verbales, en l'absence de trouble sensori-moteur ou intellectuel (Rousseau-Giral, Strohl, Bizot, Ravary, & Gossot, 2002; Thomas, 2008). La dysphasie est un trouble du langage oral qui peut aussi bien concerner la réception que l'émission des chaînes de phonèmes. D'après Huc-chabrolle et al. (2010), environ 30% des enfants souffrant d'un trouble du langage oral seront ensuite dyslexiques. Cette implication semble logique au vu de l'atteinte des capacités phonologiques dont souffrent certains dysphasiques et de ce que l'on sait de la dyslexie, mais elle n'est évidemment pas vraie dans l'autre sens. Selon Ringard (2000), les dysphasies les plus courantes sont les dysphasies de réception qui peuvent concerner la recherche et la récupération de lexique en mémoire, la capacité d'opérer correctement la syntaxe des phrases, ou encore, la réalisation physique des sons nécessaires à la production de l'énoncé. Les dysphasies de réception seraient à la fois plus rares et plus graves puisqu'elles peuvent totalement compromettre la compréhension des énoncés oraux.

1.4. Problématiques soulevées par la dyslexie

Tout d'abord, il existe plusieurs points de discussions impliqués par la méthode de diagnostic et son imprécision. La relation entre les troubles spécifiques de la lecture et le résultat à un test de QI pose question, puisque d'un côté dyslexie et QI semblent indépendants selon plusieurs études évoquées plus haut et, d'un autre côté, la définition "clinique" actuelle

inclut le niveau de QI comme un critère pour déterminer si un patient est dyslexique. Il faut souligner également le fait que, présenter un trouble dans les conversions graphème/phonème est parfois considéré comme équivalent à être dyslexique, alors que la définition de la dyslexie est beaucoup plus générale et vague à la fois. Une des questions importante à laquelle j'ai été confronté en étudiant la dyslexie est d'ailleurs de savoir si sa définition est suffisamment précise pour entreprendre un travail sur la dyslexie en générale, plutôt que sur une partie de la population dyslexique, dont l'origine précise du trouble aurait été définie.

Snowling et Hulme (2011) supposent que des individus peuvent être qualifiés de « dyslexique » indépendamment de leur capacité intellectuelle. Ils proposent de modifier la définition classique pour déterminer la dyslexie à partir des aptitudes de lecture des mots et d'épellation d'une part, et de la conscience phonologique, la mémoire verbale et la vitesse de traitement verbale d'autre part. Si de nombreux auteurs s'intéressent seulement à la dyslexie phonologique, tous constatent que le déficit phonologique est le déficit majoritaire dans l'ensemble de la population diagnostiquée, il semble donc légitime de réfléchir à un changement de définition en ce sens. Il faudra alors également définir l'appellation à appliquer pour désigner la part du public dyslexique qui se trouve exclue de cette définition.

Se concentrer sur le public souffrant de troubles phonologiques permet des interventions auprès d'un public plus jeune n'ayant pas encore atteint l'âge de passer des tests de lecture concluant. En effet, Snowling et Hulme (2011) soulignent le lien entre les aptitudes orales de l'enfant avant son apprentissage de la lecture et ses capacités de lecture. Un bon niveau à l'oral et une bonne connaissance des relations de graphèmes à phonèmes sont les principaux marqueurs d'une future facilité à la lecture. Ferrer et al. (2015) ont mis en place une étude longitudinale impliquant 414 enfants états-uniens, qui ont été suivis de la classe de « 1st grade » à la classe de « 12th grade », ce qui correspond à peu près en termes d'âge aux classes du CP à la terminale en France. Ils ont montré que les différences entre dyslexiques et normo-lecteurs apparaissent avant même l'apprentissage de la lecture et persistent tout au long de l'adolescence. Ils concluent qu'il serait bénéfique de mettre en place des exercices de remédiation dès la classe de CP.

Je reviendrai sur le problème de la diversité de la population dyslexique à la fois dans le Chapitre 3, sur l'utilisation des cartes, dans le Chapitre 4, sur la prise en charge et la remédiation et enfin dans le Chapitre 7, sur l'expérimentation que j'ai menée au cours du projet LICl.

Ensuite, pour revenir sur la notion de comorbidité et sur le problème de l'imprécision du diagnostic, comme je l'ai déjà mentionné précédemment, certains chercheurs suggèrent que les troubles développementaux, les TDA/H et les troubles du langage sont davantage liés (INSERM (dir.), 2007; Kaplan et al., 1998; Nicolson & Fawcett, 2007). Puisque mon travail n'entend pas résoudre cette problématique, je considérerai avant tout l'aspect pratique de

l'aide à la lecture en mettant de côté l'origine des troubles de la lecture des personnes concernées.

Enfin, même si j'ai tenté d'être exhaustif dans cette partie, il est à signaler que d'autres déficits sont parfois soupçonnés d'être liés à la dyslexie. C'est le cas par exemple de la difficulté à s'orienter, que je n'ai pas abordé car je n'ai pas rencontré de recherches traitant le sujet, ou encore, de la reconnaissance des visages et de leur association avec les prénoms.

Chapitre 2. Le processus de lecture et de compréhension de texte

L'activité de lecture a-t-elle un sens en elle-même, ou a-t-elle pour objectif l'accès à l'information contenue dans le texte ? Qu'est ce qui constitue la compréhension d'un texte ?

A la lumière des difficultés éprouvées par les dyslexiques, expliquées dans le chapitre précédent, il est nécessaire de se poser ces questions. En effet, de nombreuses recherches, présentées tout au long du Chapitre 1, sont menées pour comprendre et compenser les dysfonctionnements dans le processus de lecture chez les personnes dyslexiques, mais cette compensation est difficile. Il est peut être possible d'aider ces personnes en renversant le problème. Quels sont les objectifs de la lecture de texte et comment aider quelqu'un à atteindre ces objectifs ?

Ce qui m'intéresse particulièrement dans le projet LICl est la lecture de textes utiles à l'apprentissage scolaire, que ces textes soient donnés à lire directement par les enseignants ou rencontrés par l'élève en autonomie.

Dans sa globalité, la lecture a pour objectif la compréhension du discours écrit. Pour y parvenir, le lecteur va passer par différents stades, impliquant d'abord des processus visuels et auditifs, puis un traitement cognitif des informations ainsi récupérées afin de les assembler et, enfin, de leur donner du sens. Une lecture efficace nécessite d'abord la reconnaissance des mots, puis l'accès aux différentes significations qui leurs sont associées, pour pouvoir sélectionner celle qui convient en fonction du contexte. Ensuite, par extension, le même procédé permet de donner du sens aux phrases, aux paragraphes puis au texte entier. Un lecteur a compris un texte s'il est capable d'en restituer le thème, de répondre à des questions dont la réponse se trouve explicitement dans le texte, ou qui peut en être déduite par recouplement des informations.

Pour répondre à toutes les interrogations posées en introduction, je souhaite d'abord revenir brièvement sur le fonctionnement mécanique de la lecture. C'est à dire le stade de traitement allant de la perception visuelle à l'indentification des mots. Dans un deuxième temps, j'évoquerai l'apprentissage de la lecture, une étape du développement qui est particulièrement difficile pour les élèves dyslexiques. Puis, j'essaierai d'exposer le processus de compréhension du texte grâce au modèle proposé par Kintsch (1988) et à la théorie de l'intégration sémantique décrite par Coirier, Gaonac'h et Passerault (1996). Cette théorie du fonctionnement cognitif est intéressante car elle assimile la représentation du sens du texte à la construction d'un schéma mental. Mon idée en étudiant cette méthode était de

m'inspirer de la description de cette construction de schéma par le cerveau humain afin d'établir l'algorithme de construction de carte de l'outil LICl. Dans ce chapitre, je n'aborderai qu'une petite partie du domaine de recherche consacré à la compréhension de texte et je me concentrerai principalement sur une seule théorie. En effet, mes lectures ont été davantage axées sur la compréhension de la dyslexie d'un côté et les outils de remédiation informatique, de l'autre. Ainsi, même si ce chapitre mériterait d'être complété pour des recherches et des développements d'outils à venir, j'ai souhaité mettre en avant, ici, uniquement les éléments dont j'ai eu connaissance avant la phase de développement de l'outil LICl.

La compréhension de texte est cruciale pour accéder aux informations, donc aux connaissances à acquérir tout au long de l'apprentissage scolaire. Les difficultés de compréhension de texte peuvent d'ailleurs perdurer au-delà de la scolarité et mettre en situation d'échec les lecteurs adultes. D'après Dehaene (2007), 10% des adultes ne maîtriseraient pas la compréhension d'un texte. Je conclurai donc ce chapitre en évoquant les liens entre dyslexie et compréhension de texte et en évaluant l'impact des difficultés de lecture sur la compréhension.

2.1. Mécanique de lecture

La lecture d'un texte passe par le mécanisme de reconnaissance des lettres, puis des mots et enfin la composition des phrases grâce aux mots reconnus. Cette reconnaissance des mots est d'abord réalisée par l'œil humain en parcourant les lignes du texte.

2.1.1. Processus de captation visuel

Seul le centre de la rétine, la fovéa, qui représente 15 degrés du champ visuel, est utile à la lecture. En effet, c'est la seule région de l'œil capable de capter suffisamment de détails pour distinguer les lettres. C'est pour cette raison que nous effectuons des balayages oculaires réguliers afin de lire chaque ligne. Une partie plus large de l'œil permet la vision périphérique, dite para-fovéale. Cette vision périphérique permet d'anticiper la suite de la lecture, en distinguant notamment les espaces entre les mots et le positionnement de la zone fixée par rapport à l'ensemble de la page (Dehaene, 2007; G. Garcia, 2016; Malard, 2013).

Les balayages oculaires et les arrêts pour reconnaître les lettres sont nommés respectivement saccades et fixations. Il existe deux types de saccades : des saccades de progression, permettant de visualiser les 7 à 9 caractères suivants, et des saccades de régression, de 3 à 10 caractères vers l'arrière (Dehaene, 2007; Perry et al., 2010). Plusieurs études ont montré que les dyslexiques multiplient les saccades de régression, ce qui ralentit énormément la lecture (pour une revue de ces études voir Garcia, 2016; Marendaz et al.,

1996). Lors des saccades, l'œil ne distingue pas les éléments survolés ; mais celles-ci sont très brèves. Les périodes de fixation, elles, représentent une grande majorité du temps total passé à la lecture. Certains mots ne sont pas fixés, les mots courants étant parcourus beaucoup plus rapidement que les mots rares. Lorsque le type de texte est maîtrisé, les fixations sont plus courtes et les saccades plus importantes. Ces saccades sont alors essentiellement des saccades de progression (Dehaene, 2007).

2.1.2. Traitement des lettres et des mots

La reconnaissance des mots est une spécialisation des capacités générales de reconnaissance visuelle. Selon Valdois (2003), la lecture d'images est une étape importante de préparation à cette spécialisation, qui doit intervenir bien avant le commencement de l'apprentissage de la lecture. Si les capacités visuelles employées sont les mêmes pour reconnaître une image et un mot, il ne faut pas oublier que la reconnaissance d'une lettre et d'un mot passe par la compréhension du sens des lettres (« p » est différent de « b ») et de la direction d'un mot (« pot » est différent de « top »), et donc d'un texte. Ces notions de sens et de direction sont propres aux mots et ne sont pas pertinentes pour les objets en 3 dimensions.

Il serait incorrect de considérer le procédé de reconnaissance des mots comme une succession d'actions composée de la reconnaissance des lettres puis des syllabes et enfin des mots. Comme je l'ai décrit dans le Chapitre 1, les différentes voies de lecture permettent d'accéder à la reconnaissance d'un mot et à son sens de différentes manières et l'assemblage n'est pas obligatoire. De plus, la présence de certaines lettres dans un mot peut avoir un impact sur la reconnaissance du mot et vice-versa (Ans et al., 1998; Perry et al., 2010). Certaines relations entre lettres et mots ont été démontrées expérimentalement, par exemple : l'effet de supériorité, l'effet de fréquence, l'effet de régularité, l'effet d'amorçage, ou encore l'effet de voisinage.

On parle d'effet de supériorité du mot pour décrire le phénomène suivant lequel, la tâche de détection de la présence d'une lettre donnée est beaucoup plus rapide lorsqu'elle est affichée au sein d'un mot connu, plutôt que seule, dans un pseudo-mot ou dans un "non mot" (Castel, 2008; Grainger, Bouttevin, Truc, Bastien, & Ziegler, 2003; Martin, Nazir, Thierry, Paulignan, & Démonet, 2006). L'effet de fréquence représente l'influence de la fréquence d'usage des mots dans une tâche de décision lexicale. Plus un mot est courant, plus il est reconnu rapidement lorsqu'il est rencontré (Martin et al., 2006; Ziegler, Perry, & Coltheart, 2003). Il est à noter que l'effet de fréquence fonctionne aussi au niveau syllabique (Maïonchi-Pino, Magnan, & Écalte, 2010). De façon similaire, l'effet de régularité désigne l'influence de la régularité en termes de conversion graphème-phonème d'un mot, sur la vitesse de lecture. Les effets de fréquence et de régularité entrent en interaction dans le cas d'une tâche de lecture à haute voix (Ziegler, Perry, & Coltheart, 2003). Il a été constaté expérimentalement que la lecture d'un mot dont la fréquence lexicale est élevée n'active

pas les mêmes zones de traitement cérébrales que celle d'un mot de basse fréquence lexicale (voir Jucla, 2009). L'effet d'amorçage entre, lui aussi, en jeu lors de la tâche de reconnaissance d'un mot. Si, avant de présenter un mot donné, le lecteur vient de voir un mot qui commence par le même morphème, il va reconnaître le second mot beaucoup plus rapidement que s'il était présenté seul (Dehaene, 2007). L'expression « effet de voisinage », enfin, est employée pour constater l'influence du nombre de voisins d'un mot sur la rapidité à prononcer ce mot lors d'une tâche de prononciation (Ans et al., 1998; Martin et al., 2006). Un voisin est un mot qui diffère seulement d'une lettre par rapport au mot de référence.

La reconnaissance visuelle des lettres et des mots, puis leur identification cognitive, par accès au lexique du lecteur, constituent seulement l'un des aspects de l'apprentissage de la lecture.

2.2. Apprentissage de la lecture

L'apprentissage de la lecture n'étant pas un sujet central de mon travail, ni une de mes spécialités, je me contenterai ici de passer en revue quelques généralités et je me concentrerai ensuite davantage sur quelques points spécifiques au public dyslexique.

2.2.1. Définition et enjeux

La terminologie concernant l'apprentissage de la langue est différente selon la modalité concernée : le terme acquisition est utilisé pour l'oral, tandis que c'est le terme d'apprentissage qui est employé pour l'écrit. Ce changement de terme dénote la différence de méthode d'intégration de ces deux activités. Le langage oral se développe en partie de façon inconsciente par immersion dans un bain linguistique permanent et par imitation, et en partie grâce à des activités mise en place à l'école. Le langage écrit, lui, est transmis principalement *via* un processus d'enseignement conscient et institutionnalisé. Dans le cas général, la langue orale est déjà acquise lorsque l'apprentissage de la lecture commence et celui-ci s'appuie sur ces connaissances préalables en établissant des liens directs entre unités sonores et unités graphiques. Le traitement cognitif des unités phonologiques serait d'ailleurs modifié de façon définitive à partir du moment où un enfant commence son apprentissage de la lecture (G. Garcia, 2016; Kast, Baschera, Gross, Jäncke, & Meyer, 2011). Lors du processus de codage de l'oral vers l'écrit, les syllabes sont associées à des graphies (qui signifient ici « groupes de lettres ») et, à plus petite échelle, les phonèmes sont associés à des graphèmes. Les phonèmes sont les unités de son. Le nombre de phonèmes en français serait compris entre 35 et 37 (Fayol, 2003; voir aussi l'article de "Wikipédia", 2017). La tâche de lecture correspond au travail de décodage. Ceci implique la capacité de reconnaître les lettres mais aussi de connaître les phonèmes de la langue et d'être capable

d'associer correctement ces graphèmes et ces phonèmes. Plusieurs études, comme celle de Ferrer et al. (2015) ou encore celles listées notamment par Valdois et al. (2003), Snowling et Hulme (2011), Maïonchi-Pino et al. (2013), ont montré un lien important entre les capacités phonologiques précoces d'un enfant et ses compétences en lecture.

D'après le programme scolaire du cycle 2 (Ministère de l'Éducation Nationale, 2002) :

« Apprendre à lire, c'est apprendre à mettre en jeu en même temps deux activités très différentes : celle qui conduit à identifier des mots écrits, celle qui conduit à en comprendre la signification dans le contexte verbal (textes) et non verbal (supports des textes, situation de communication) qui est le leur. La première activité, seule, est spécifique de la lecture. »

L'apprentissage de la lecture inclut donc le développement de la capacité de compréhension de texte. Snowling et Hulme (2011) séparent clairement les difficultés de décodages des difficultés de compréhension dues à une méconnaissance de la grammaire et de la sémantique. Concernant les personnes en difficulté de compréhension « pure », c'est à dire indépendamment de difficulté de décodage, il y a principalement deux pistes d'explication : une difficulté de compréhension préexistante, à l'oral, qui se reporte sur la compréhension écrite et/ou une difficulté à établir des stratégies méta-cognitives pour extraire les éléments d'un texte et réaliser des inférences.

La tâche de compréhension n'étant pas spécifique à la lecture, les élèves dyslexiques ne devraient en théorie pas éprouver de difficultés pour la réaliser, mais malheureusement, la tâche d'identification des mots précède la tâche de compréhension et a une influence sur la compréhension de texte. Certaines études sur la lecture ne s'intéressent pas à la compréhension de texte parce que celle-ci est indépendante du mode de communication (écrit ou oral). Ainsi, puisque les dyslexiques n'ont *a priori* pas de problèmes de compréhension à l'oral, il ne serait utile que de les aider à compenser les difficultés dans le processus de décodage et d'identification des mots. Je propose au contraire de retourner le problème puisque les difficultés pour réaliser les tâches de bas niveaux, tel que l'association graphème-phonème, peuvent empêcher d'accéder au sens du texte. Or, accéder au sens est certainement l'enjeu concret le plus important pour les élèves en difficultés d'apprentissage. Je souhaite donc développer des moyens d'accéder au sens du texte malgré les difficultés de décodages, par exemple en les contournant grâce à d'autres représentations de l'information contenant le même sens.

D'après Hulme et Snowling (2016), les études sur le développement du langage précoce, avant qu'un diagnostic puisse être établi, ont montré que les problèmes de décodages sont aussi liés à des difficultés rencontrées lors de l'acquisition de l'oral. Si les auteurs différencient bien les difficultés de décodage et les difficultés de compréhension, ils notent qu'une partie des enfants étudiés présentent les deux troubles, que les différents profils ne sont pas toujours nettement séparés et que la population en général présente un spectre continu de difficultés.

Une des solutions proposée par les chercheurs pour diminuer les difficultés éprouvées par les élèves lors de l'apprentissage de la lecture est d'abandonner la méthode globale au profit de la méthode syllabique (Ahmad, Ludin, Ekhsan, Rosmani, & Ismail, 2012; Dehaene, 2007). Cela permettrait aux apprenants de se focaliser sur l'apprentissage des relations graphèmes/phonèmes et renforcerait leurs capacités dans cette activité.

Valdois (2003) propose un ensemble de tâches à faire effectuer aux élèves par les enseignants, toujours pour diminuer les risques de difficultés d'apprentissage de la lecture. Ces tâches concernent :

- le développement des aptitudes langagières, à l'oral en anticipation sur l'apprentissage de la lecture ;
- le développement de la conscience phonologique, avec un entraînement à identifier les syllabes et les rimes dès la maternelle ;
- l'apprentissage du nom des lettres, qui permet à l'enfant de prendre conscience du fonctionnement du système de codage qu'est la langue écrite ;
- l'entraînement visuel, qui passe par une identification d'images, puis de lettres avec par exemple des exercices de discrimination et de reconnaissance de l'orientation des lettres.

Malgré l'importance de l'acquisition des règles de relations graphèmes-phonèmes, il est probable que les jeunes lecteurs débutent leur apprentissage de la lecture de façon implicite, en déduisant eux-mêmes des règles de correspondance entre les sons perçus précocement dans le langage, comme par exemple les rimes, et le début ou la fin des mots auxquels ils sont exposés (Castel, 2008; Delamare, 2012; Jucla, 2009). Ce phénomène a été théorisé par Goswami et Bryant (1990) et nommé « modèle d'apprentissage par analogie ». Les syllabes dont la fréquence d'apparition dans la langue est élevée seraient également acquise précocement, avant les correspondances graphème/phonème selon Maionchi-Pino et al. (2010). Je présente dans le point suivant quelques exemples d'apprentissage implicite appliqués à la lecture.

2.2.2. Apprentissage implicite

Comme je l'ai évoqué précédemment, l'apprentissage des mots passe par une première phase d'association de sons et de forme écrite qui se fait implicitement. Ensuite au cours de l'apprentissage, au fur et à mesure de l'exposition à des textes, le lecteur mémorise certaines régularités de la langue. Ce phénomène est intrinsèque au fonctionnement de la mémoire, comme le souligne Malard (2013):

"la mémoire non déclarative est composée de la mémoire procédurale qui porte sur les habiletés motrices, les savoir-faire et les gestes habituels. Elle conserve les souvenirs même s'ils ne sont pas utilisés pendant de longues années. Quant à la mémoire à long

terme déclarative, elle comprend la mémoire épisodique qui retient des événements spécifiques de notre vie dans un contexte spatial et temporel et la mémoire sémantique qui enregistre les connaissances du monde, c'est-à-dire les faits, les concepts, les règles et les significations. Ces deux types de mémoire interagissent, car quand nous apprenons un mot, nous le relierons à un épisode." (Malard, 2013, p. 19)

Les régularités graphotactiques désignent les règles d'orthographe (lexicales et infra-lexicales) acquises, généralement de manière implicite, par les apprenants natifs d'une langue. Cette acquisition est précoce, elle survient avant tout apprentissage de règles explicites (Danjon & Pacton, 2009). Ces régularités se différencient des règles morphologiques qui sont acquises dans un stade plus avancé de l'apprentissage et qui ne dépendent pas seulement de leur fréquence d'apparition (INSERM (dir.), 2007).

Voici des exemples de règles implicites en langue française :

- Un mot ne commence jamais par une lettre doublée.
- Une consonne simple ne peut jamais être suivie d'une consonne double.

Les règles implicites sont parfois perturbées par des règles apprises de façon explicite. Par exemple, il découle des deux règles précédentes qu'il ne peut pas y avoir de « s » doublé après une consonne. Cependant, alors que cette erreur n'est jamais commise dans les stades précoces de l'apprentissage, elle devient courante une fois que l'apprenant a acquis la règle sur la nécessité de doubler le s entre deux voyelles pour obtenir le phonème /s/.

D'autres régularités sont acquises de la même manière sans pour autant être mémorisées comme des règles strictes, par exemple la possibilité de certaines consonnes d'être doublées, ou encore la fréquente transcription de /o/ par « eau » en fin de mots lorsque la lettre précédente est « r » ou « t », mais jamais après la lettre « f » (INSERM (dir.), 2007).

Plusieurs études indiquent que la structure orthographique des mots et les régularités graphotactiques interagissent et ont une influence sur les difficultés d'acquisition du lexique (voir Pacton, Fayol, & Lete, 2008). Il semble également que les performances des lecteurs, enfants comme adultes sont dépendantes de leur sensibilité aux régularités graphotactiques, même pour les lecteurs ayant acquis des règles morphologiques ou phono-graphologiques plus générales (voir Danjon & Pacton, 2009; INSERM (dir.), 2007; Pacton et al., 2008).

Selon le type de dyslexie dont ils souffrent, les apprenants dyslexiques vont être capables ou non de faire appel à ces stratégies pour compenser une partie de leurs difficultés et reconnaître les mots bien formés des mots incorrects. De plus, d'après l'étude de Grainger et al. (2003), les dyslexiques montrent une sensibilité normale à l'effet de supériorité. C'est-à-dire qu'ils obtiennent des résultats similaires aux normo-lecteurs dans une tâche de reconnaissance d'une lettre à l'intérieur d'un mot. La reconnaissance de la lettre est plus rapide lorsque le mot est connu, moins rapide pour un pseudo-mot et très lente pour un "non mot". Cela montre que les dyslexiques acquièrent bien des règles implicites de

formation morphologique des mots de leur langue. Dès lors que l'apprentissage explicite de la lecture est entrepris, les compétences phonologiques, orthographiques et morphologiques vont cohabiter et être développées de façon coordonnée. Ce modèle de développement dans lequel interagissent ces trois compétences est appelé théorie de la « Triple Forme du Mot » (M. Sanchez, Ecalle, & Magnan, 2012). Selon leur étude, M. Sanchez et al. (2012) postulent d'ailleurs que les connaissances morphologiques préalables à l'enseignement explicite des correspondances grapho-phonémiques auraient bien une influence dans l'apprentissage ultérieur de la lecture.

Après avoir présenté brièvement différentes théories et résultats sur la première étape du procédé de lecture, autrement dit la tâche de reconnaissance des lettres et des mots, je me concentrerai sur l'étape suivante, c'est-à-dire la tâche d'assemblage des mots, qui est nécessaire à l'accès au sens et donc à la compréhension du texte.

2.3. Compréhension de texte

Si l'on s'intéresse à la compréhension d'un texte, celui-ci doit être envisagé comme une unité de langage à part entière. En effet, une analyse de ses sous segments, par exemple phrase par phrase, serait insuffisante pour capter son sens. De plus, il est aussi nécessaire de prendre en compte les éléments déictiques, c'est à dire de relier le texte à son contexte énonciatif, afin de connaître la pleine mesure du texte (Coirier et al., 1996). Selon Gaonac'h et Fayol (2003), la compréhension de texte est une tâche dynamique, évoluant au fur et à mesure de la lecture. En effet, pour comprendre le texte à un point P, on mobilise la compréhension que l'on avait du texte au point P-1.

Gaonac'h et Fayol (2003) identifient cinq étapes dans le processus de compréhension : l'identification des mots, la reconnaissance du lexique, le traitement morphologique, le traitement syntaxique et l'identification de la structure textuelle. Ces étapes se réfèrent à deux dimensions, une dimension formelle, purement linguistique et une dimension sémantique, qui est situationnelle. C'est cette deuxième dimension que je vais maintenant aborder.

Kintsch (1988) a établi un modèle décrivant le processus de compréhension, nommé modèle de « construction-intégration ». Ce modèle distingue deux niveaux de représentation : le *text-base* (représentation basée sur le texte) et le *situation model* (modèle situationnel). Le niveau de représentation basé sur le texte s'appuie sur les informations explicites mentionnées par le texte tandis que le modèle situationnel est construit par l'assemblage des connaissances antérieures du lecteur et des informations du texte (Amadiou, Tricot, & Mariné, 2010). Suivant le modèle situationnel, le lecteur a besoin de connaissances préalables dans le domaine traité pour établir des connexions entre différentes parties du texte et ensuite faire des inférences, pour en déduire des informations supplémentaires.

De plus, le modèle de construction-intégration inclut deux niveaux structurels pour un texte : la microstructure et la macrostructure.

2.3.1. Microstructures et macrostructures

Le texte est un objet structuré, à la fois par les relations internes entre ses constituants et par l'intervention de schémas cognitifs de connaissances, généraux ou spécifiques. Selon le modèle d'organisation sémantique « construction-organisation » de Kintsch (1988), la signification d'un texte peut être décrite à plusieurs niveaux.

Au niveau local, on parle de microstructure. Il s'agit d'un réseau composé de propositions sémantiques, d'arguments et de relations entre ces différents éléments. Selon Coirier et al. (1996), la vitesse de lecture d'un texte est dépendante du nombre de propositions qu'il contient plutôt que de sa longueur. Plus le nombre de propositions est grand plus le temps de lecture sera long. Ce temps est également d'autant plus important que les propositions comportent d'arguments différents.

Pour décrire la signification du texte au niveau global, on parle de macrostructure. Une macrostructure regroupe plusieurs microstructures. Les macrostructures sont obtenues par l'application d'un ensemble de règles à partir des micro-structures, ces règles sont nommées : *deletion*, *strong deletion*, *generalization* et *construction*. Dans certains cas, une microstructure peut être acceptée telle quelle comme macrostructure du texte, on parle alors de « macrorègle zéro ». Après application des règles de manière récursive on obtient une synthèse du texte (Coirier et al., 1996). Cette théorie de représentation de la structure sémantique d'un texte est particulièrement intéressante dans le cadre du projet LIC1 car elle fonctionne comme un véritable algorithme de résumé de texte par simplification.

Selon la théorie de Halliday et Hasan, le texte est divisé en deux plans, le plan de la « texture » (les relations définissant la cohésion : pronoms, articles...) et le plan de la « structure » (les relations définissant la cohérence : unités thématiques, paragraphes, épisodes...) (Fulcher, 1989).

D'après Gaonac'h et Fayol (2003), les connaissances préalables des lecteurs ont un effet bénéfique sur leur capacité à traiter l'information, tout comme les capacités à se représenter le temps, l'espace ou encore les relations causales contenus dans le texte favorisent la compréhension. Cependant, ces performances sont limitées par les capacités de la mémoire de travail du lecteur.

La compréhension d'un texte est également dépendante de quatre aspects distincts selon Coirier et al. (1996) :

- Le contexte, social et matériel, c'est à dire l'objectif dans lequel l'énonciateur s'adresse au destinataire du texte ;

- Le type de texte, c'est à dire la forme de réalisation choisie ;
- Les connaissances cognitives extérieures au texte à mettre en œuvre ;
- Les opérations psycholinguistiques de transformation nécessaires pour passer des unités linguistiques lues à des représentations cognitives.

Ce dernier point correspond à un processus cognitif nommé « intégration sémantique ».

2.3.2. Intégration sémantique

L'intégration sémantique d'un texte est le processus de synthèse nécessaire pour passer de l'énoncé littéral à une forme de représentation sémantique de l'information (Coirier et al., 1996). La compréhension d'un texte, plus qu'une analyse linguistique de ses composants, consiste donc à la construction d'une représentation intégrative de la situation élaborée par le texte.

Au cours du parcours d'un texte, le lecteur transforme progressivement les énoncés rencontrés sous forme de phrase en une représentation sémantique. Jarvella (1971) a mis en place une expérimentation afin de comprendre le procédé de transformation des phrases en mémoire au cours de la tâche de la lecture. Il a montré que si l'on stoppe le lecteur à la fin d'une phrase et qu'on lui demande de restituer sous leur forme exacte autant de phrases du texte que possible, il ne peut restituer que la ou les deux dernières phrases qu'il a rencontrées. Les phrases précédentes ont déjà été traitées pour en extraire les informations principales et stockées en mémoire sous forme de schéma. En effet, même si le lecteur ne peut pas les restituer, il est capable de répondre correctement à des questions "vrai ou faux" concernant leurs contenus. De plus, il semble que la vitesse de lecture ralentit à la fin des phrases, de manière à ce que le lecteur puisse réaliser le processus d'intégration sémantique. Celui-ci est également facilité par la rencontre de certaines locutions, comme « next » ou « then ». Certains connecteurs, quant à eux, favorisent au contraire la conservation de l'énoncé sous sa forme littérale (Coirier et al., 1996).

2.3.2.1. Cycles d'intégration

L'intégration se fait, en mémoire de travail, par cycles. Le lecteur construit un graphe contenant les propositions importantes du texte tout au long de la lecture. Pour cela il fait appel à la stratégie du "bord d'attaque", en intégrant, au fur et à mesure, la proposition la plus récemment rencontrée au graphe. Certaines propositions sont conservées en mémoire à long terme. Le lecteur applique une des règles de construction que j'ai listées plus haut aux autres propositions.

De plus, pour établir le graphe du texte, le lecteur fait appel à ses connaissances générales. Il établit des schémas. Ceux-ci sont des représentations cognitives regroupant les informations décrivant un événement, un objet ou une situation. Enfin, le lecteur doit effectuer un certain nombre d'actions nécessaires à la bonne construction du graphe (Coirier et al., 1996) :

- assurer la cohérence du graphe en générant les inférences nécessaires à l'accès aux informations implicites;
- définir les relations qui contribuent à l'organisation structurale de l'information;
- définir le degré d'importance relative de chaque information;
- anticiper la structure ultérieure du texte et reconnaître si le texte est complet.

La génération d'inférences est un point très important de la construction de sens, elle est conditionnée, d'une part, par la bonne récupération des indices textuels utiles, et d'autre part, par la mobilisation des connaissances du lecteur stockées en mémoire à long terme. Un type de schéma, stocké en mémoire, est particulièrement sollicité par les lecteurs : le script.

2.3.2.2. Scripts

Le script est un schéma qui rassemble les connaissances générales sur un événement familier en une séquence d'actions définie. Par exemple, pour l'événement "manger au restaurant", l'ordre et l'importance des actions à accomplir sont connus (demander une table, lire le menu, commander, etc...). Ainsi, lorsque le lecteur rencontre dans le texte un événement pour lequel il possède un script, l'événement est associé à ce script déjà en mémoire à long terme. Cela implique une facilitation de l'intégration en mémoire mais peut également fausser la lecture puisque le lecteur normalise les événements sans tenir compte des intentions de l'auteur.

Tous les scripts connus du lecteur sont organisés dans des structures cognitives, semblables à des ontologies, dans lesquels ils sont liés entre eux par différents types de relation. Ces structures sont appelées MOP (memory organization packets) (Schank, 1999).

2.3.2.3. Superstructures textuelles et composants organisationnels

Une fois construit, le graphe d'un texte forme une superstructure. La superstructure d'un texte peut le représenter de façon séquentielle, avec un cadre, un thème, des complications, une résolution et une évaluation. Elle peut aussi le représenter par composition d'ensembles, chacun étant associé à des règles de réécriture, semblables à celles de la sémantique formelle. Par exemple, pour un article de presse (Coirier et al., 1996) :

- Article = Résumé + Compte Rendu
- Résumé = Titre + Introduction
- Compte Rendu = Information + Opinion

Chaque élément pouvant à son tour être décomposé pour retrouver tout le contenu du texte initial.

Parallèlement, les composants organisationnels du texte sont aussi traités. Ils comprennent les coordonnants et subordonnants (et, mais, car, ...), le système anaphorique qui permet de

maintenir la cohésion du texte et la ponctuation qui permet d'établir le degré de distance entre les constituants sémantiques.

Les compétences linguistiques locales nécessaires au traitement des composants organisationnels sont importantes mais ne sont pas jugées déterminantes pour accéder au sens global du texte. De plus, les différences individuelles de performance en compréhension de texte proviendraient plus des différences dans la gestion de l'allocation des ressources que de la maîtrise des processus de bas niveau (Coirier et al., 1996).

Evidemment cette remarque ne semble pas tenir dans le cas des lecteurs dyslexiques, probablement parce les processus de bas niveau, comme la tâche de reconnaissance des mots, mobilisent déjà toutes les ressources qui seraient normalement allouées au processus d'intégration sémantique. Or, la gestion de la mémoire de travail a un rôle primordial dans la compréhension de texte : puisque la mémoire est limitée, l'effacement de certaines données est obligatoire pour pouvoir procéder à la suite du traitement. C'est d'ailleurs ce processus d'effacement qui implique une intégration dynamique, par cycles récursifs, de l'information. Ces cycles effectués à l'échelle des propositions provoquent des rétroactions permanentes entre le modèle situationnel établi et les traitements de plus bas niveaux.

En plus de la charge de la mémoire de travail induite par les tâches de reconnaissances et l'intégration sémantique, une autre charge s'ajoute pendant l'exercice de lecture, il s'agit d'une charge métacognitive qui est nécessaire au contrôle et à la régulation des stratégies de compréhension du lecteur (Gaonac'h & Fayol, 2003b). Cette charge métacognitive de régulation des stratégies de compréhension sera sans doute moins importante si les lecteurs sont formés à la compréhension de texte. Un enseignement de la compréhension est possible en rendant explicite certaines étapes du processus, par exemple en repérant la structure du texte, en utilisant des organisateurs graphiques ou sémantiques, en se posant des questions sur le texte, en répondant à des questions sur le texte, en résumant le texte, etc. (Bianco, 2003). Toujours selon Bianco (2003), l'enseignement de la compréhension doit aussi être une formation au traitement des marques linguistiques de cohésion du texte, ce qui inclut les anaphores, les connecteurs et la ponctuation.

Selon Coirier et al. (1996), la charge cognitive induite par l'intégration sémantique peut toutefois être allégée par l'utilisation d'outils explicitant les relations causales, les relations structurelles, le thème du texte, ou encore, grâce à des outils permettant le repérage physique, par une mise en forme particulière, de l'information importante.

2.3.3. Mise en forme et éléments para-textuels

Parmi les critères entrant en compte dans la facilité de compréhension d'un texte se trouvent la mise en forme et les éléments para-textuels. La mise en forme d'un texte peut être diverse, allant des basiques découpages en paragraphes, jusqu'à une mise en couleur, en passant par l'usage de différentes polices, des majuscules, du gras ou de l'italique. Les éléments para-textuels sont plus divers encore puisqu'il peut s'agir de métadonnées sur le texte ou sur l'auteur, il peut s'agir de références ou de liens hypertextes, ou encore, de figures, tableaux et schémas intégrés dans le corps du texte. La frontière est parfois mal définie entre mise en forme et éléments para-textuels et certains aspects du texte pourront être considérés comme appartenant indifféremment à l'une ou l'autre de ces catégories selon le contexte.

L'auteur d'un texte peut manier la mise en forme et contrôler les éléments para-textuels qu'il fournit afin de faciliter la lecture ou même de modifier le sens du texte. Par exemple, il peut mettre en valeur certains éléments textuels ou ajouter des informations supplémentaires, en dehors du corps du texte, qui réduisent les possibilités d'interprétations de ce dernier. Ce qui est très intéressant concernant ces paramètres c'est que des facilitations de lecture et des modifications du sens peuvent aussi être proposées par les distributeurs du texte (éditeurs, papier ou en ligne). Puis, la mise en forme et les éléments para-textuels peuvent à nouveau être modifiés ou augmentés dans l'interface de travail du lecteur lui-même. Lorsque cette interface est logicielle, elle peut comprendre des outils de transformation du texte avancés ou l'accès à des ressources extérieures (dictionnaires, autres textes, etc...). Lorsque cette interface est physique, le lecteur peut modifier le texte en surlignant des passages, en ajoutant des notes ou en accédant à des aides extérieures pour comprendre le texte, comme d'autres documents ou encore d'autres personnes présentes à ses côtés.

La mise en forme peut jouer un rôle important dans l'augmentation ou la diminution des difficultés de lecture, notamment chez les individus dyslexiques. Je reviendrai sur ce point dans les chapitres suivants et plus particulièrement dans le Chapitre 5.

D'après Dehaene (2007), notre système de traitement du texte est suffisamment entraîné pour ignorer les changements entre lettres minuscules et majuscules. La lecture reste fluide malgré les changements de représentation des lettres, et ce, même lorsque les deux casses sont utilisées aléatoirement dans un même mot. Il en va de même pour les variations de formes telle que l'italique, le gras ou le souligné.

Cependant, si ce n'est pas le cas chez les normo-lecteurs, les dyslexiques peuvent montrer des différences de performances en fonction de ces changements de formes, particulièrement selon la police de caractère, comme nous le verrons dans le point 5.2.4.

Un ensemble de recherches explore l'impact des changements de formes sur la perception des textes. Plutôt que d'utiliser les termes de "mise en forme" ou "éléments para-textuels", ces articles font référence au terme de "signal", en anglais. Les "signaux" sont définis comme une classe d'outils d'écriture qui permettent de mettre en valeur des parties du texte ou l'organisation du texte, sans en modifier le contenu (Lemarié, Lorch Jr., Eyrolle, & Virbel, 2008). Cette caractéristique peut être discutée car, un titre, par exemple est considéré comme un signal. Or, il arrive qu'un auteur donne un ton implicite à son texte grâce au titre, ou encore qu'il choisisse de ne pas répéter explicitement une information, qui était contenue dans le titre, dans le corps du texte.

La notion de signal, en plus d'inclure les éléments de mise en forme que j'ai listés plus haut comprend la présence, à l'intérieur du texte lui-même, d'indices structurels donnés par l'auteur. Par exemple, des expressions telles que "en conclusion" ou encore "évoqués ci-dessus" sont des signaux.

L'usage de "signaux" par l'auteur peut être considéré comme une reconnaissance de la difficulté d'interprétation de son texte par le lecteur. Les signaux sont alors des aides apportés par l'auteur au lecteur. Il semble donc intéressant d'utiliser ce genre de procédés pour aider les lecteurs en difficulté à comprendre des textes qui, dans un premier temps, n'avaient pas été jugés assez difficiles pour que des signaux particuliers leurs soient appliqués. Les principaux enjeux induits par cet usage de signaux vont être :

- ne pas surcharger le texte par trop de signaux (éviter que les signaux ne s'annulent ou deviennent si courants qu'ils sont ignorés)
- ne pas modifier le sens du texte par l'ajout de signaux (en mettant en valeur des éléments que l'auteur ne considère pas importants)

2.4. Conséquences pour les dyslexiques

En conclusion de ce deuxième chapitre, je reviendrai sur les aspects du processus de compréhension de texte qui risquent d'être affectés chez les lecteurs dyslexiques.

Les dyslexiques souffrent potentiellement de troubles dans les processus de bas niveau nécessaires à la bonne compréhension du texte. Parmi les difficultés impliquées, je note : les troubles phonologiques, les problèmes d'identification et de segmentation des mots, la lenteur d'accès au lexique mental et la rapide surcharge de la mémoire de travail. Certaines de ces difficultés sont liées et sont causes ou conséquences d'autres difficultés. Lors de la lecture d'un texte, une vitesse minimale est nécessaire pour que le lecteur ait conservé en mémoire le début d'une phrase au moment où il arrive à la fin de celle-ci. Si la vitesse de lecture n'est pas suffisante, l'intégration de la phrase est impossible et l'accès au sens est compromis. De plus, la mémoire de travail est limitée et si elle est surchargée par le décodage et l'assemblage des mots, elle ne peut être utilisée pour interpréter le sens des

phrases. Pour comprendre le sens d'un texte, une vitesse de lecture minimale de 200 mots par minute est requise (Delamare, 2012). Lalain et al. (2012) affirment également que la fluence en lecture est nécessaire à la bonne compréhension de texte, mais aussi qu'il y a un lien direct entre habilités prosodiques et compréhension.

La cadence de lecture minimale requise pour la compréhension ne serait pas atteinte par les dyslexiques, ce qui entraîne des difficultés à accéder au sens d'un texte alors même que leurs capacités cognitives seraient suffisantes à cette compréhension. Par exemple, dans l'étude de Elkind (1998), les 26 lycéens dyslexiques étudiés atteignent une vitesse de lecture d'environ 150 mots par minute, pour 250 mots par minute chez les normo-lecteurs.

Ce problème de traitement sémantique d'une phrase par les dyslexiques est d'autant plus important lorsque la phrase est longue, qu'elle comprend plusieurs propositions, qu'elle est à la forme passive, qu'elle est disposée de façon non-canonique ou qu'elle contient des mots de basse fréquence lexicale (Margarido et al., 2008).

Les implications de la dyslexie sur l'accès au sens sont mal connues, cependant il est évident que les troubles de la lecture ont des conséquences au niveau du traitement sémantique. D'après les résultats de l'étude de Ferrer et al. (2015), il y a bien un retard en termes de compréhension chez les dyslexiques, induit par leurs problèmes de décodage, même si ce retard reste moins important que celui qu'ils présentent pour les tâches de décodage. Afin d'écartier la possibilité d'un problème de compréhension global chez les dyslexiques, qui ne serait pas lié aux difficultés que j'ai listées ci-dessus, il est nécessaire de comparer la compréhension d'un texte entendu avec celle d'un texte lu. Peu d'études ont été menées directement sur cette question.

Lalain et al. (2012) ont comparé les temps de pauses inter-mot et intra-mot entre un groupe d'enfants normo-lecteurs et un groupe d'enfants dyslexiques au cours de deux tâches : une tâche de lecture de texte et une tâche au cours de laquelle les enfants doivent raconter une histoire à partir d'images. Comme attendu, les dyslexiques présentent des temps de pauses plus importants dans la tâche de lecture, que ce soit des pauses intra-mots ou des pauses inter-mots. De plus, alors qu'il ne devrait pas y avoir de différence en production orale, il y a un nombre de pauses inter-mots plus grands chez les dyslexiques. Ces pauses pourraient être dues à des difficultés de planification des unités syntaxiques et sémantiques. Bien que ces résultats devraient être confirmés, la pertinence d'aider les dyslexiques pour la compréhension de texte ne peut être en aucun cas remise en cause par des difficultés qui seraient rencontrées à l'oral.

En résumé, un lecteur doit mobiliser quatre niveaux de compétences pour comprendre un texte :

- les compétences associées aux caractéristiques de la langue (pour traiter les composants organisationnels);

- ses connaissances préalables sur le domaine de référence (propriétés du monde physique, schéma sociaux, ...);
- les connaissances qu'il a du contexte énonciatif et de la tâche de lecture (intention de l'auteur et objectif de sa propre lecture);
- ses compétences pour faire appel et construire des structures cognitives (ce qui implique une bonne gestion de la mémoire et de l'attention).

Les travaux réalisés sur les objectifs de lecture et sur la flexibilité des stratégies de traitement montrent que chaque opération n'est pas nécessaire ou obligatoire mais dépend du locuteur, du contexte et de l'étape de traitement (Coirier et al., 1996).

La difficulté centrale en production comme en compréhension de texte est la structure du texte. Concernant la production, il est nécessaire de passer d'une configuration d'unités symboliques, imaginée par le cerveau humain, à une séquence ordonnée et unidimensionnelle, composée d'éléments du lexique et organisée suivant les règles de la langue. Concernant la tâche de compréhension, il faut faire le cheminement inverse. En situation de production, l'utilisation d'un plan, des scripts en mémoire ou l'établissement d'une superstructure sont une aide précieuse. En situation de compréhension, l'identification du type de texte, du thème, de la structure et, également, l'appel à des scripts permettent une appréhension plus rapide et efficace du texte.

La mise en valeur de la structure d'un texte et de son thème par l'affichage des termes les plus importants est donc une solution d'aide à la compréhension de texte évidente. Cette solution peut être apportée par les cartes, heuristiques ou conceptuelles. Je développerai la méthode de composition et les usages de celles-ci dans le chapitre suivant.

Chapitre 3. Les cartes heuristiques et conceptuelles

Après avoir exploré la question de la dyslexie et le processus plus générique de la lecture, il sera question dans ce troisième chapitre de l'utilisation des cartes. En effet, la compréhension de l'objet "carte" et de ses usages était essentielle pour développer un logiciel répondant au mieux aux besoins exprimés par les utilisateurs de Médialexie.

Il existe plusieurs types de cartes qui ont différentes caractéristiques, avantages et inconvénients, mais il existe également différentes manières de s'en servir. Dans un premier temps, je présenterai les notions génériques de graphique et de carte, puis, dans un second temps, les définitions de carte conceptuelle et carte heuristique ainsi que leur potentiel rôle pédagogique. Enfin, il convient de s'intéresser à la relation entre carte et dyslexie, et plus précisément à la façon dont les cartes peuvent soutenir ce public spécifique dans son apprentissage.

3.1. Terminologie

3.1.1. Graphique

Graphique est un terme générique que j'emploierai pour évoquer l'ensemble des représentations qui mettent en œuvre différents éléments dans l'espace en deux dimensions d'une feuille, ou d'un écran, dans l'objectif de transmettre une information. Ces éléments peuvent être :

- des éléments textuels, c'est-à-dire des mots ou groupes de mots ;
- des signes, comme des puces, des tirets, des flèches ou des signes de ponctuations ;
- des dessins ou images, référents à des objets réels ;
- des figures géométriques, comme des ellipses, des rectangles, des carrés, etc....

Il existe historiquement des modes de représentation alternatifs aux textes dont l'objectif est d'exprimer et de partager des connaissances. Comme le souligne Caro Dambreville (2014), avec l'exemple des schémas de Léonard de Vinci, les grands inventeurs, savants, scientifiques ont utilisé de tout temps des représentations mêlant dessins et textes, avec des connexions entre ces éléments sur un plan en deux dimensions. Tony et Barry Buzan (1999) citent également Richard Feynman, qui utilisait des diagrammes pour mettre en forme ses théories en physique, et Albert Einstein, qui évoquait sa difficulté à mettre sa pensée sous forme de mots plutôt que sous forme de schémas, comme des précurseurs de la présentation du savoir sous forme de graphiques.

Stull et Mayer (2007) ont défini et présenté de façon formelle différents types de graphiques : les hiérarchies, les listes, les tableaux et les organigrammes. Bien d'autres représentations graphiques sont possibles pour la communication d'informations, chacune respectant une organisation et une charte graphique précise. Bien que mes travaux concernent uniquement les cartes conceptuelles et heuristiques, certains aspects plus généraux, comme les règles d'organisation ou certaines conséquences de l'utilisation des graphiques s'appliquent également à ces cartes. Je reviendrai sur ces aspects dans le point 3.3.4.

3.1.2. Carte et hypertexte

Carte est un autre terme générique pour désigner une représentation en deux dimensions, composée comme le graphique d'un ensemble d'éléments, ceux-ci pouvant également être des dessins. La carte représente généralement des objets réels de façon simplifiée mais aussi à une échelle plus réduite. La carte, selon son type, suit des règles définies, ainsi des éléments semblables dans la réalité seront représentés de façon semblable sur une carte. Dans cette partie je n'aborderai pas la question des cartes représentant un espace géographique mais uniquement les cartes constituées d'éléments textuels que sont les cartes dites conceptuelles et celles dites heuristiques ou mentales. L'étude de ces cartes, dans leur format numérique renvoie également à un autre terme, celui d'hypertexte. Un hypertexte est un document électronique non-linéaire permettant une exploration dynamique de l'information. Il contient des nœuds et des liens entre ces nœuds qui constituent tous ensemble un réseau sémantique. Chaque nœud contient du texte ou éventuellement des images. Conklin (1987) va plus loin dans la définition d'hypertexte puisqu'il définit également le système d'affichage en fenêtres sur un écran d'ordinateur et les règles de navigation dans l'hypertexte, la sélection de chaque nœud permettant l'ouverture d'une nouvelle fenêtre et l'accès à un sous hypertexte. Ce type de document permet à son utilisateur, mais aussi l'oblige, à créer son propre parcours de lecture (Amadiou, van Gog, Paas, Tricot, & Mariné, 2009). Comme nous allons le voir, les cartes conceptuelles et les cartes heuristiques peuvent donc être considérées comme des hypertextes lorsqu'elles sont réalisées sur support numérique et montrent également des caractéristiques proches de celles des hypertextes, même si elles sont moins interactives lorsqu'elles sont dessinées sur papier. En effet, Conklin (1987) donne quelques exemples d'hypertextes "manuels", c'est à dire des types de documents sur papier avec une structure non linéaire. C'est le cas d'une encyclopédie, dont les définitions se lisent de façon isolée, comme les nœuds d'une carte et dont les liens sont les références entre les différentes définitions. Enfin, pour aller plus loin, dans le cas des cartes au format numérique, les nœuds peuvent, au lieu de textes ou d'images, contenir d'autres éléments interactifs, comme des vidéos ou un accès à des ressources externes, ce qui les rapproche de la notion d'hypermédia.

J'emploierai par la suite le terme carte lorsque je parlerai indifféremment des cartes conceptuelles ou des cartes heuristiques (qui sont aussi appelées cartes mentales par traduction directe du terme anglais *mind map*).

3.1.3. Les cartes conceptuelles

Les travaux de David Ausubel, psychologue américain, constructiviste et disciple de Piaget, ainsi que ses théories sur les méthodes d'apprentissage, sont à la base du développement des cartes conceptuelles. Ausubel a théorisé l'apprentissage verbal signifiant (*meaningful verbal learning*) en opposition à l'apprentissage que je vais qualifier de mécanique ou machinal (*rote learning*) (Ausubel, 1962). D'un côté, l'apprentissage signifiant se fait grâce à un matériel pédagogique en lien avec la structure cognitive déjà existante des apprenants de façon à ce que les nouveaux éléments s'ajoutent à la connaissance de l'apprenant. Ausubel parle dans ce cas de matériel pédagogique fiable (*reliable*) et ancrable (*anchorable*) à la connaissance de l'apprenant. D'un autre côté, il évoque l'apprentissage mécanique lorsque le matériel pédagogique est une unité discrète (au sens mathématique) et isolée, sans lien avec la structure cognitive préexistante. Cette différence entraîne une meilleure rétention de l'information dans le cas de l'apprentissage signifiant et une disposition à l'oubli des informations à moyen ou long terme dans le cas de l'apprentissage mécanique.

De ces idées, qui semblent relativement logiques, découle une méthode pédagogique qui veille au lien entre la structure cognitive actuelle de l'apprenant et les nouveaux matériaux qui lui sont proposés. De plus, avec cette méthode, l'apprenant est encouragé à exprimer explicitement ce lien. Les travaux de Joseph D Novak ont prolongé et approfondi cette première approche dès les années 70. Puis, il a développé la présentation sous forme de carte conceptuelle comme outil pour permettre à ses étudiants de représenter leurs propres réseaux de connaissances sur le papier afin, ensuite, de mieux assimiler de nouveaux concepts en les liant à ceux-ci.

La Figure 3.1 est une présentation sous forme de carte conceptuelle de la définition de carte conceptuelle. Elle présente leurs caractéristiques de structuration et leur type de contenu. Les cartes conceptuelles gardent une organisation hiérarchique et un sens de lecture conventionnel, de gauche à droite et de haut en bas.

L'observation de cette carte fait apparaître les attributs caractéristiques des cartes conceptuelles. Elle montre une connaissance organisée et une structure liée au sens. Son but est d'obtenir un enseignement, un apprentissage et une appropriation des informations plus efficace que la présentation sous forme textuelle. Même si les liens de ce type de cartes restent hiérarchiques, ils laissent place à l'imagination et reflètent la structure cognitive de leurs auteurs.

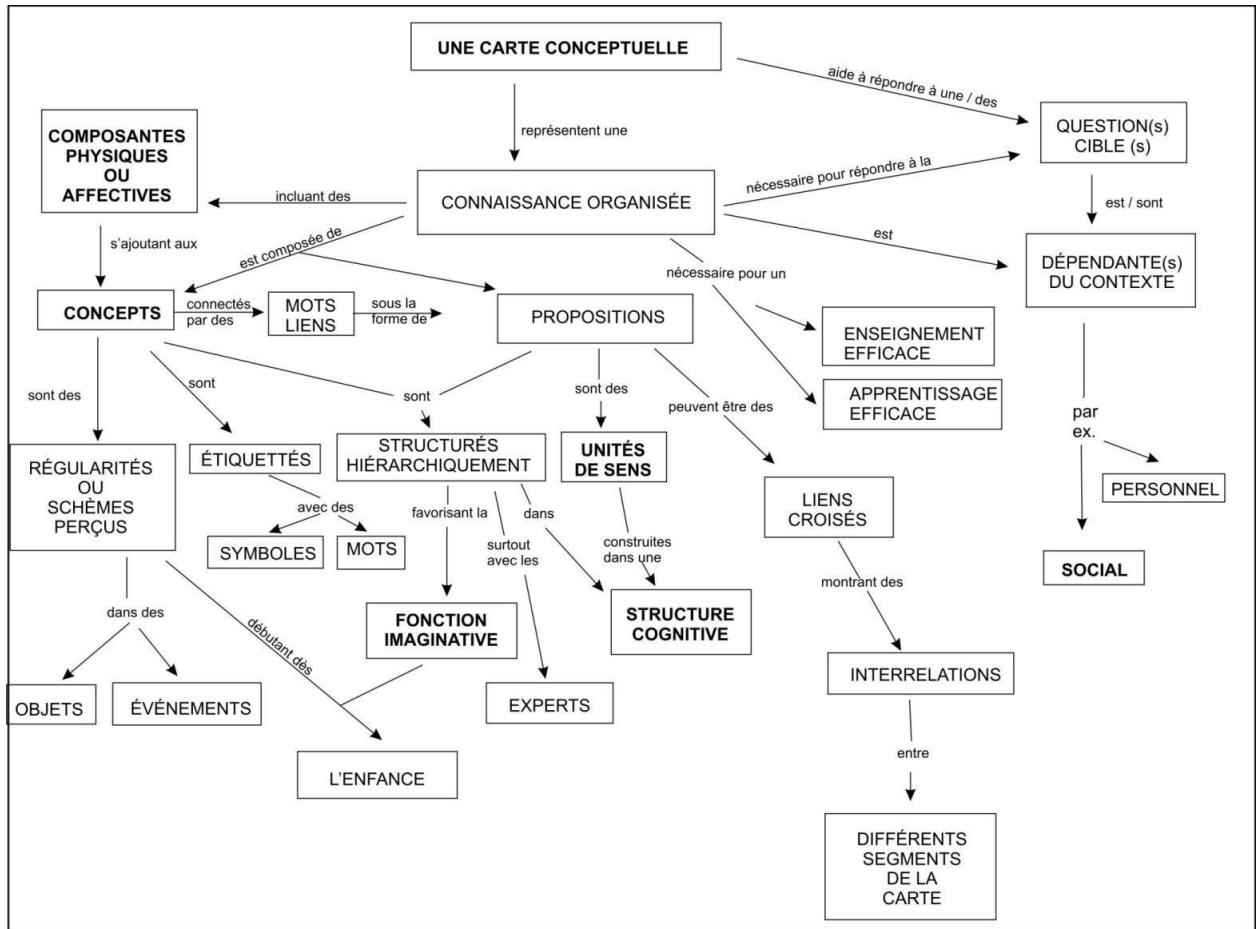


Figure 3.1 Présentation des cartes conceptuelles, figure extraite de la traduction du rapport de Novak & Canas (2008) par Serge Racine.

3.1.4. Les cartes heuristiques

La carte heuristique est un outil graphique, un schéma servant à représenter, organiser et relier des idées ou des mots-clés, ensemble. Tony Buzan, psychologue anglais, a permis le développement de cet outil sous le nom de *mind map* (Buzan & Buzan, 1999).

Une carte mentale ou carte heuristique, terme que je préférerais, est une :

"technique de représentation graphique qui suit le fonctionnement naturel de l'esprit et permet de libérer le potentiel du cerveau. En effet, le schéma heuristique réunit l'ensemble des facultés corticales – mot, image, nombre, logique, rythme, couleur et conscience spatiale - en une seule et même technique." (Buzan & Buzan, 1999, p. 84)

A partir d'un mot clé central, les notions associées sont mises en place sous forme d'arborescence. Le sens de lecture conventionnel de haut en bas et de gauche à droite n'est pas obligatoire. L'information la plus importante est souvent située au milieu de la page, elle

est métaphoriquement le tronc de l'arbre, et la lecture suit les branches, présentant le développement ou les détails de l'information, en allant vers l'extérieur.

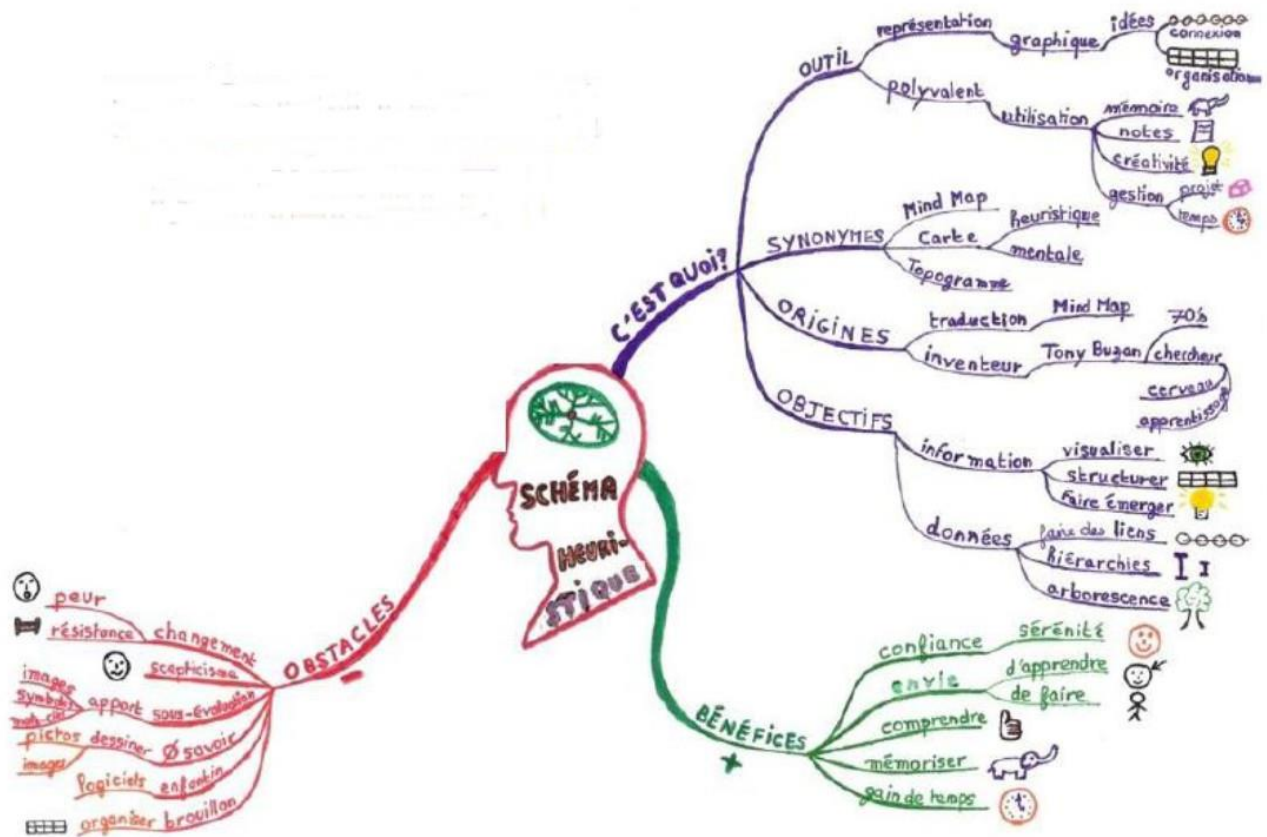


Figure 3.2 Carte heuristique extraite du mémoire d'orthophonie de Malard (2013).

Au niveau de ses objectifs, la carte heuristique se définit comme un outil qui permet d'agir pour obtenir quelque chose. Cela peut être : agir pour mémoriser, agir pour comprendre ou encore agir pour organiser. Par rapport à la carte conceptuelle, la carte heuristique laisse une place plus importante encore à la fonction imaginative et à l'expression personnelle. Les couleurs, les images et les formes diverses rendent son aspect global plus singulier. Les cartes heuristiques sont souvent réalisées à main levée. Cette action de dessiner renforce l'appropriation et l'intégration de la connaissance. Il existe également des logiciels permettant de créer ces cartes heuristiques. Elles peuvent aussi être le fruit d'un travail collectif ou individuel. Certains outils informatiques proposent des espaces collaboratifs pour les créer (Nobis, 2014).

Il est à noter que la carte heuristique peut très bien contenir uniquement des dessins ou uniquement du texte. Comme le remarque Gruez (2015), dont les élèves ont parfois utilisé le collage d'images imprimées pour créer leurs cartes, afin de compenser leur incapacité ou leur inconfort de dessiner, la variété de choix possibles tant en terme d'organisation qu'en terme de type d'éléments permet à un ensemble d'élèves hétérogène de s'exprimer. Et ce, quel que soit leur type de fonctionnement cognitif.

Pour en revenir aux définitions plus génériques évoquées précédemment, il est possible de distinguer deux grands types d'hypertextes, les hypertextes en réseaux et les hypertextes hiérarchisés. Ces deux types se distinguent par leur nombre de nœuds et leur type de liens qui peuvent être organisationnels, pour les hypertextes hiérarchisés, ou relationnels pour les hypertextes en réseaux (Amadiou, van Gog, et al., 2009). Les constructions hiérarchisées étant plus linéaires et donc plus proches du texte au niveau structure que les constructions en réseaux. D'après les différences que j'ai soulignées entre cartes conceptuelles et cartes heuristiques, on peut apparenter les cartes conceptuelles à des hypertextes hiérarchisés et les cartes heuristiques à des hypertextes en réseaux. Bien que les cartes soient un support d'apprentissage et un outil pédagogique ayant de nombreux avantages sur le texte, certaines caractéristiques des hypertextes peuvent gêner leur lecture, leur compréhension et donc leur usage. J'y reviendrai dans le point 3.3. Je vais tout d'abord présenter les apports et les usages des cartes en contexte pédagogique.

3.2. Un support d'apprentissage

Depuis une trentaine d'années, l'usage des cartes comme outil pédagogique s'est amplifié. La carte en tant que support propose une représentation plutôt synthétique et visuelle d'une notion ou d'un thème à appréhender. En tant qu'outil, elle permet à l'apprenant de construire une nouvelle forme de représentation en fonction de la signification des données et des relations perçues entre les données. De plus, elle facilite l'organisation et la représentation de connaissances. Les cartes, qu'elles soient conceptuelles ou heuristiques, constituent une véritable méthode pédagogique, mettant à disposition une forme de représentation alternative qui peut remplacer ou venir compléter le contenu linéaire des textes. Cette modalité complémentaire est intéressante à mettre en œuvre dans les stratégies pédagogiques différenciées.

3.2.1. Profils d'apprenants et types d'intelligences

Les recherches réalisées dans le domaine de la pédagogie et en particulier celles visant à faciliter l'apprentissage préconisent, entre autre, de varier les types de supports. En effet, les élèves accéderaient ou se rappelleraient plus facilement des nouvelles notions si elles leurs sont présentées d'une manière visuelle ou auditive (Giordan & Saltet, 2015). De plus, d'autres facteurs apporteraient un bénéfice à l'apprentissage, comme la redondance de l'information en utilisant plusieurs modalités; ceci à condition de présenter les éléments redondants, par exemple un texte puis une carte, à tour de rôle (Jamet, 2008). En effet, de façon contre-intuitive, d'après Sweller (2008), la redondance d'une information, même lorsque les deux éléments qui la présentent sont compréhensibles de façon indépendante,

produit un effet négatif pour l'apprentissage. Pour maximiser la rétention de l'information, chaque élément inclus dans le matériel pédagogique se doit d'avoir une raison claire d'exister. Toujours selon Sweller (2008), la mémoire de travail serait séparée en deux canaux, ou processeurs, indépendants, l'un pour traiter les informations visuelles (comme des dessins ou objets en trois dimensions) et l'autre pour les informations auditives. Lorsque la lecture de deux informations, par exemple un dessin et une légende écrite, représentées dans un même mode (ici le mode écrit, mais Sweller parle de "modality"), sont nécessaires à la compréhension d'une notion, l'apprentissage est rendu plus difficile. En effet, la mémoire de travail disponible, a besoin d'être divisé pour intégrer les deux informations. Si par contre, les informations sont chacune présentées dans un mode différent, par exemple si l'apprenant regarde le dessin et qu'une autre personne lui lit la légende à haute voix, il y a expansion de la mémoire de travail car l'apprenant fait appel à deux canaux différents.

Cependant, les distinctions de profil d'apprentissage restent à valider et à affiner. Les profils ne sont pas aussi tranchés que l'idée commune séparant l'élève « visuel » de l'élève « auditif » le laisserait entendre. Chevrier, Fortin, Leblanc et Théberge (2000) proposent une revue de la littérature sur la question des profils d'apprenants. Selon eux, les préférences entre les différentes modalités d'encodages sensoriels et de représentation sont étudiées depuis le 19^{ème} siècle. Des travaux récents font état de deux dimensions principales permettant de discriminer les profils d'apprenants : la dimension verbale-imagerie (selon la préférence de penser en images ou en mots) et la dimension global-analytique (selon la préférence d'organiser l'information en tout ou en partie) (Riding & Rayner, 1998, cités par Chevrier et al., 2000). Quoiqu'il en soit, il est intéressant de prendre en compte les diversités des élèves pour le pédagogue et de se questionner sur les modalités des supports d'apprentissage proposés aux élèves.

Les propriétés particulières des cartes et notamment leur mode de représentation spatiale, peuvent être mises en lien avec la théorie de Howard Gardner (2008). Gardner propose un enrichissement de la notion d'intelligence. En plus de l'intelligence langagière et de l'intelligence logico-mathématique, il met en évidence les intelligences intra-personnelle, interpersonnelle, visuo-spatiale (penser en image mentale ou externe), corporelle kinesthésique, musicale et enfin naturaliste (Gardner, 2008).

Parmi les types d'intelligences identifiés par Gardner, les intelligences linguistique et logico-mathématique sont de loin les plus sollicitées dans le parcours scolaire. La plupart des supports d'apprentissage et les remédiations cognitives sont également axées sur ces formes d'intelligence. D'après Leblanc (1997), qui s'appuie sur les travaux de thèse d'Armstrong : *Describing strengths in children identified as "learning-disabled" using Howard Gardner's theory of multiple intelligences as an organized framework* (1987), les élèves en difficultés d'apprentissage démontrent des capacités particulières à faire appel aux autres formes d'intelligence.

"À la lumière des forces particulières des élèves en difficulté d'apprentissage dans les formes d'intelligence visuo-spatiale et corporelle-kinesthésique d'une part et le concret, le présent, l'écriture conceptuelle, le divergent, l'informatique et le musical, d'autre part, des options pédagogiques adaptées s'avèrent fructueuses."(Leblanc, 1997, p.6)

Ces constats amènent à penser qu'une pédagogie différenciée solliciterait au mieux les capacités de chacun des élèves. Les supports d'apprentissage gagneraient à être diversifiés pour correspondre à la démarche cognitive spécifique de chaque type d'intelligence. A ce sujet, Gardner (2008), évoque la possibilité d'un enseignement individualisé permettant une meilleure compréhension et un développement optimal du profil cognitif de chaque élève.

Une autre caractéristique des cartes est de favoriser la métacognition. C'est à dire qu'elles permettent de prendre conscience explicitement de ses propres connaissances, des procédures cognitives et des stratégies utilisées dans les tâches de résolution de problèmes. Elles mettent en évidence l'acte d' "apprendre à apprendre".

Dans sa conférence de présentation des cartes heuristiques, Gruez (2015) montre un exemple très intéressant de l'utilisation du mode de représentation par carte par une de ses élèves, mettant en avant une façon différente de réfléchir, que l'on peut mettre en parallèle avec la théorie des types d'intelligence de Gardner. Cette élève de 3ème a réalisé une carte sur la guerre froide dont l'ordre des événements présentés ne respectait pas la chronologie. Devant l'étonnement de son professeur, elle a expliqué qu'à gauche figurait les États Unis, à droite l'URSS et que les événements étaient placés en fonction de leur importance pour les deux camps, avec les grands événements communs au centre. Cet exemple est une très bonne illustration de la réappropriation de ses propres connaissances et de leur représentation en suivant un fonctionnement cognitif personnel. De façon plus générale, Gruez (2015) présente les cartes comme un outil permettant de gérer l'hétérogénéité des apprenants.

Ces éléments me poussent à croire en l'usage des cartes à la fois dans l'apprentissage et la remédiation des dyslexiques.

L'usage des cartes est un processus de plus en plus reconnu pour l'apprentissage et la communication. L'utilisation de cartes permet aux élèves de trouver un terrain d'expression et de formaliser leur propre réflexion et compréhension.

3.2.2. Différents contextes de l'usage pédagogique des cartes

Bien que l'usage des cartes soit de plus en plus répandu, il n'est pas pour autant conventionnel dans tous les milieux d'apprentissage ou de travail. C'est une pratique qui demande non seulement un apprentissage, mais aussi un accompagnement. Cet outil est

généralement une source de questionnement pour l'entourage de l'apprenant et une explicitation de ses apports positifs est nécessaire.

3.2.2.1. Différents publics

La méthodologie d'apprentissage et de travail avec les cartes concerne tout autant des enfants ou adultes sans difficulté d'apprentissage particulière que des élèves en difficulté, comme les dyslexiques. En effet, les avantages évoqués plus haut, comme la sollicitation d'autres types d'intelligence, le changement de mode de représentation ou encore le renforcement de l'activité réflexive, sont bénéfiques à tous les profils d'apprenants. L'usage des cartes peut donc être introduit dans tous les milieux d'apprentissage.

C'est le cas notamment dans le milieu de la didactique où la carte est un outil que l'on fait manipuler aux futurs enseignants, afin de travailler sur la construction et la conscience de leur scénario pédagogique. Par exemple, c'est ce que font des étudiants en ingénierie de la formation dans l'article de Brodin (2006). Brodin s'interroge sur l'utilisabilité, l'efficacité et les limites de l'usage des cartes dessinées avec un logiciel. Elle constate que cette représentation favorise la réflexivité et permet une mise à distance au cours de la progression de la tâche qui n'est pas possible avec la rédaction d'un texte. Cependant, elle note l'effet de désorientation pour le lecteur, qui bien que non gênant pour une lecture récréative est un problème lorsque l'apprentissage est en jeu.

Bessette et Duquette (2003) proposent une démarche du type recherche-action-formation avec des enseignants de collège afin de faire rentrer l'utilisation de carte heuristique dans leur pratique pédagogique. La formation des enseignants à l'utilisation des cartes est en effet un préalable à leur utilisation dans les cours qu'ils vont eux même dispenser.

3.2.2.2. Différents objectifs

Comme nous l'avons vu précédemment, l'utilisation des cartes lorsqu'elles sont dessinées ou construites par les élèves est une pratique constructive qui est mieux adaptée aux ressources de l'apprenant que la rédaction d'un texte. Pour être plus précis, il existe différentes façons de mettre en œuvre la construction de cartes de manière pédagogique :

- L'élève peut utiliser une carte pour rassembler ses connaissances sur un sujet donné. Ce qui va le pousser, en organisant les dites connaissances à modifier sa perception du sujet, à l'explicitier et à l'enrichir (voir Figure 3.5).
- L'élève peut utiliser une carte pour s'organiser par rapport à une activité à venir. Par exemple, il peut organiser son weekend sur une carte, en représentant les lieux, les personnes, ressources et activités concernées, ou encore préparer sa liste de courses de façon organisée pour optimiser son parcours du magasin et ne rien oublier ! (voir Figure 3.3). Il est d'ailleurs possible d'aller plus loin et de dessiner une pareille carte par-dessus le plan des rayons du magasin. La Figure 3.4 reprend cette idée d'une carte d'aide à l'organisation spatiale, superposée à un plan.

- L'élève peut également utiliser une carte pour rassembler des informations sur un sujet qu'il ne connaît pas encore, à la manière de prise de notes, de façon à construire sa propre connaissance. Dans ce cas-là, l'élève rassemble des informations, récoltées auprès d'une ou plusieurs sources extérieures (par exemple un professeur ou un ensemble de documents) puis il va les assembler sur sa carte pour construire sa propre représentation du sujet. Enfin, il va intégrer cette nouvelle représentation à ses connaissances.

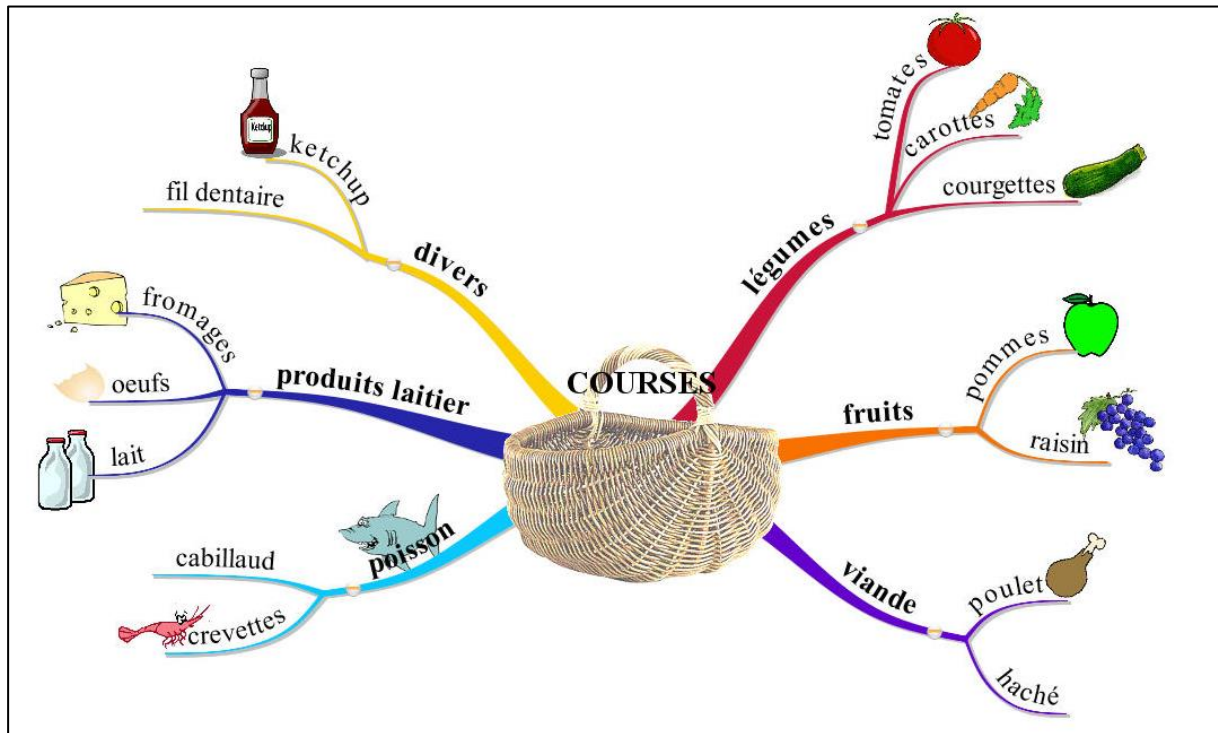


Figure 3.3 Carte heuristique d'organisation des courses, extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).

Lorsque que l'élève est en situation de produire une carte ou de modifier une carte existante, en utilisant ses propres ressources, il se retrouve dans des conditions favorables à l'apprentissage. En effet, comme le veut la théorie de l'apprentissage signifiant d'Ausubel (1962), il s'appuie sur ses propres connaissances antérieures et il est poussé à expliciter les liens entre ces connaissances, voire à ajouter et intégrer à son réseau de nouvelles connaissances. La carte construite par un apprenant est donc subjective et lui permet de s'approprier son contenu. En résumé, le travail de construction d'une carte est un exercice qui met en valeur la capacité de travailler indépendamment ainsi que les connaissances préalables propres à l'apprenant, en respectant la diversité des pensées (Cress & Knabel, 2003).

Sur son site, l'organisme Éduscol présente la liste suivante d'usages possibles des cartes dans le cadre d'une classe (Eduscol, 2009) :

- Organiser : dans l'espace ou par rapport à un objectif

- Trouver : faire émerger une idée nouvelle
- Questionner : qui, quoi, quand, comment, pourquoi...
- Formuler : rechercher un libellé court pour un ensemble d'idées
- Valoriser
- Prendre des notes
- Soutenir l'oral : en support visuel d'un exposé
- Apprendre
- Réviser
- Reconstituer

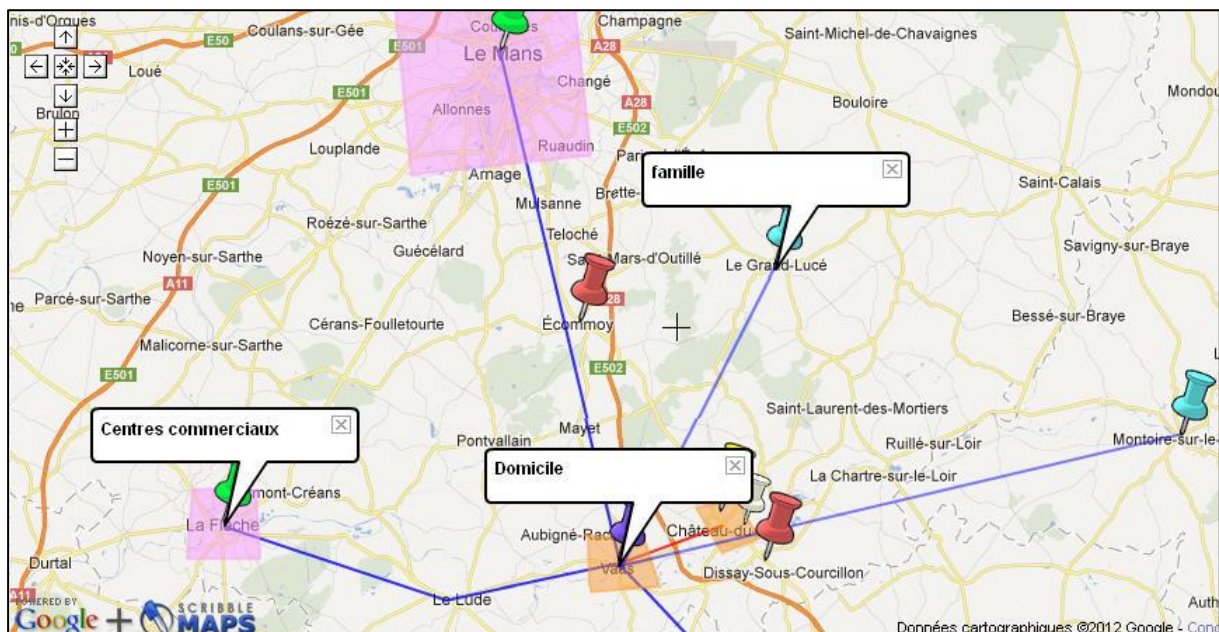


Figure 3.4 Carte heuristique superposée à une carte géographique grâce à l'outil Scribble Maps (2013), extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).

J'ai retrouvé une liste semblable sur différentes pages internet présentant les cartes heuristiques. Caro Dambreville (2014) en dresse également une liste dans son rapport assez complet sur les cartes heuristiques et leur utilisation :

"• Expliquer un concept, • apprendre une langue, un poème, • prendre des notes, • préparer un cours / un exposé, • préparer une dissertation/rédaction, • réviser, • évaluer des compétences." (Caro Dambreville, 2014, p. 81)

Dans la conférence où il fait part de son expérience de l'utilisation des cartes avec ses élèves, Guez (2015) évoque un élève dyslexique qui a de lui-même bousculé la pratique attendue. Cet élève a utilisé une carte non pas pour représenter son savoir sur un sujet mais pour s'organiser dans la recherche de ce savoir. Il a réalisé une carte présentant peu d'éléments écrits, et dont le sens échappait à son professeur, mais qui lui permettait de lier de façon

sensée les différentes parties de son cours et de savoir où naviguer dans les pages de son cahier pour retrouver les informations dont il avait besoin, comme si sa carte était un plan interactif.

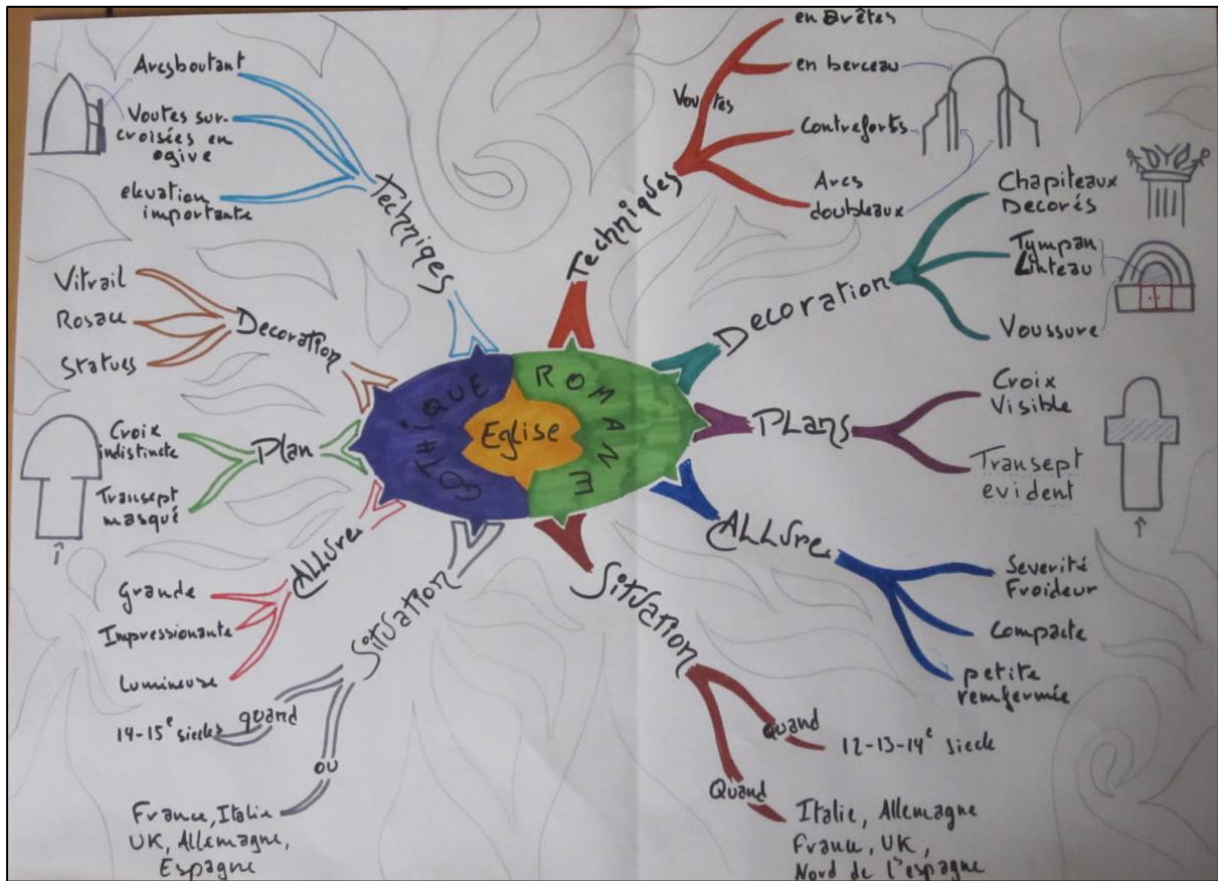


Figure 3.5 Carte heuristique réunissant les connaissances de l'élève sur l'architecture des églises, extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).

Regnard (2010) a également étudié l'apport des cartes heuristiques en classe et propose un mode d'emploi qualitatif en plusieurs points qu'elle détaille dans son article : chercher des idées et affiner la réflexion, organiser de façon signifiante et logique la réflexion, utiliser l'organisation des nœuds de façon signifiante, réfléchir à la cohérence d'informations données. Il s'agit d'étapes successives de la réflexion qui mènent du simple étalement des idées sur le papier à leur structuration logique puis à la métacognition, par la réorganisation des nœuds sur la carte puis la vérification de la cohérence de l'information.

Cette manière de procéder se rapproche d'une méthode qui m'a été enseignée dans un module de formation de l'école doctorale (Université Clermont Auvergne, 2010) pendant mon cursus de thèse. Une autre variante d'utilisation des cartes, destinée cette fois aux chercheurs. Il s'agit d'une méthode de brainstorming collectif, qui fait appel aux cartes heuristiques pour aider un individu à organiser ses idées en vue de rédiger un article ou de préparer une communication. Ce futur rédacteur, ou communicant, soumet d'abord en vrac

l'ensemble de ses idées, sous forme de phrases minimales ou de groupes nominaux, et celles-ci sont inscrites sur un tableau, à l'intérieur de bulles, par un membre du groupe. Le communicant propose ensuite, au fur et à mesure de l'ajout de ces bulles, des liens vers les autres bulles en suivant au mieux la logique de son discours. Puis, dans un deuxième temps, le reste du groupe, non-spécialiste du sujet, qui était jusque-là en situation de spectateur, questionne le communicant afin de mieux comprendre son sujet. Ces questions amènent ainsi le communicant à justifier : d'une part les liens entre les différentes idées, d'autre part la cohérence de l'ensemble des idées et enfin leur ordre d'importance. Cette méthode pousse à la métacognition, à l'explicitation et permet à la fois de mieux définir l'idée centrale d'une communication, de vérifier sa cohérence globale mais aussi d'exclure les idées ou références trop éloignées de son objectif final.

Comme je l'ai évoqué dans la liste d'usages précédemment, les cartes peuvent également jouer un rôle dans l'évaluation des apprenants. Dans son travail de réflexion sur l'usage des cartes heuristiques, Longeon (2010), après avoir rappelé l'efficacité des représentations spatiales dans le processus de construction des apprentissages, s'interroge sur leur usage comme outil d'évaluation. Il a mené une expérimentation avec des apprentis de Bac Pro Commerce et Mécanique Auto. Les étudiants ont d'abord participé à une première activité de découverte et de présentation des cartes heuristiques, puis une seconde activité où ils devaient réaliser une carte heuristique sur un sujet donné, en groupe. Le tout pendant 2 mois, deux heures par semaine. La carte est ici intégrée au dispositif didactique en tant que tâche à accomplir avec des critères de réussite. L'enseignant suit une grille d'évaluation précise, il vérifie : la qualité de la proposition (existence de liens, validités des liens, capacité à se réappropriier les données), la qualité de l'organisation des données (existence de niveaux hiérarchiques, existence de liens croisés entre les concepts) et enfin, le degré de complexité de la structure (organisation en étoile, en chaîne ou en réseau). Une carte de référence a également été dessinée et les productions des étudiants ont été comparées avec celle-ci.

A propos de cette utilisation exploratoire des cartes, Longeon conclut :

"Cette expérimentation, couplée aux outils TICE, s'est avérée être d'une part un moyen efficace pour évaluer les connaissances d'un apprenant à un instant t dans son processus d'apprentissage ; et d'autre part un vecteur important de motivation pour l'apprenant : le rendant actif à toutes les étapes de son apprentissage."(Longeon, 2010, p. 1)

L'outil carte peut donc être utilisé par les enseignants pendant leur formation, puis pour dispenser leurs cours, par leurs élèves ou toutes sortes d'apprenants, ou encore, par des chercheurs. Ces différents publics pouvant ainsi répondre à un large spectre d'objectifs pédagogiques, didactiques ou pratiques.

3.3. La carte comme aide aux apprenants dyslexiques

3.3.1. Motivations du projet LICI

Les cartes peuvent jouer plusieurs rôles : elles peuvent être utilisées de façon active, c'est-à-dire dessinées par la personne qui va s'en servir, mais elles peuvent aussi être utiles passivement, en situation de simple lecteur.

Antérieurement au projet LICI, deux cas d'utilisation des cartes pour l'apprentissage scolaire par les dyslexiques avaient été identifiés par l'équipe de Médialexie :

- (1) Pour préparer une rédaction, c'est-à-dire en construisant l'équivalent d'un plan mais à l'aide d'outils graphiques, permettant de relier des éléments de façon non linéaire et de mobiliser deux dimensions, ou même d'en simuler trois (avec la possibilité d'accéder à une autre carte à l'intérieur d'un nœud de la carte). Plus précisément, d'un point de vue technique, l'utilisateur représente son plan sous forme d'arbre voire de graphe.
- (2) Pour faciliter la révision d'un ensemble de connaissances scolaires en les représentant, avec leurs relations, de façon ordonnée. Il s'agit alors, par exemple, de dessiner sur une carte le contenu d'un chapitre de cours ou même d'un livre utilisé en cours.

Par retours d'expériences et témoignages des élèves dyslexiques en contact avec l'entreprise Médialexie, nous savons que ceux-ci jugent généralement les cartes utiles autant pour l'aide à l'apprentissage que pour la compréhension d'un texte. Les cartes leur semblent plus faciles à lire et à mémoriser. Cependant, ces mêmes élèves se plaignent de la difficulté de devoir construire une carte eux-mêmes, d'autant plus quand il s'agit de le faire à partir d'un texte, puisque la lecture et la compréhension du dit texte représentent déjà des obstacles majeurs. La Figure 3.6 représente un extrait d'une carte réalisée par un utilisateur dyslexique de la barre d'outils Médialexie. Cette carte reprend les principaux éléments contenus dans le texte d'une de ses leçons d'Histoire.

Le cas (1) d'utilisation des cartes est couvert par les logiciels de créations de cartes heuristiques, comme *FreeMind* (Müller et al., 2004), *Freeplane* (Polivaev et al., 2012), *CmapTools* (Cañas et al., 2004; Florida Institute For Human and Machine Institution, 2004), *Xmind* (Xmind, 2006) ou encore *l'Imagineur* (Médialexie, 2005) qui est inclus dans la barre d'outils de Médialexie. L'utilisation de cartes de cette façon, comme remédiation pour la dyslexie est pratiquée au sein de la communauté entourant les dyslexiques (professionnels de santé : orthophonistes, psychologues, neurologues ou parfois les parents). Elle est

recommandée par les associations de dyslexiques mais aussi enseignée par des professeurs particuliers, spécialisés dans le travail sur les cartes avec les dyslexiques (De Broeck, 2013).

Concernant le deuxième cas d'utilisation, puisque la carte est dessinée à partir d'un texte existant et considérant la difficulté que cette tâche représente pour des élèves dyslexiques, l'entreprise Médialexie a imaginé mettre à disposition un outil capable de générer automatiquement une carte à partir d'un texte. C'est donc l'objectif du LICI de couvrir le besoin (2).

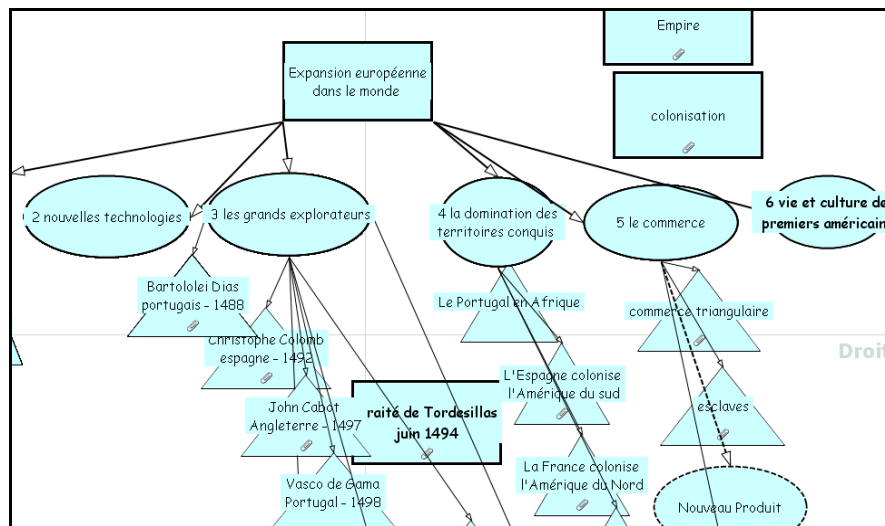


Figure 3.6 Extrait d'une carte dessinée par un élève dyslexique avec l'*Imagineur*, de la barre d'outils Médialexie.

L'idée d'utiliser les cartes heuristiques comme complément à un texte a également pour origine l'hypothèse d'une affinité particulière des dyslexiques pour une représentation spatiale des idées. Cette affinité a été constatée de manière pratique auprès des clients de Médialexie, au fur à mesure des rencontres entre eux et les différents acteurs de l'entreprise. Cependant, même si je n'ai pas trouvé de résultats confirmant cette hypothèse dans la littérature, je n'ai pas tenté de la vérifier de façon expérimentale, car l'affinité pour un outil ne garantit en rien son efficacité, et je m'intéresse avant tout aux bénéfices concrets sur la compréhension du texte par l'association des cartes à des textes. L'article de Jamet (2008), illustre bien l'écart entre l'affinité pour un outil et les résultats obtenus en termes d'apprentissage. Il a étudié l'influence sur l'apprentissage de supports de cours alternatifs comme par exemple un diaporama ou même un ensemble de médias (images, vidéos, sons). Cette étude a montré que, bien que les cours avec ces supports soient reconnus plus attractifs par les étudiants, aucun gain d'apprentissage significatif n'a été obtenu dans les résultats de ses tests. Jamet (2008) souligne tout de même les avantages, pour l'apprentissage, de l'utilisation de supports visuels à condition de suivre certaines préconisations. La redondance de l'information (dans deux modalités différentes) et le guidage de l'attention sont les facteurs les plus importants.

J'ai donc décidé de mettre l'hypothèse d'une affinité particulière de côté dans mes travaux de recherche. Cependant, l'apport de motivation hypothétique des cartes par rapport au texte reste appréciable pour les utilisateurs de l'outil LICI et il reste un argument de vente important pour l'entreprise Médialexie, qui répond ainsi à l'attente de ses clients.

3.3.2. Bénéfices propres aux dyslexiques

Lorsqu'un élève dyslexique utilise une carte reprenant les informations d'un texte mais n'est pas mis en présence du texte, plusieurs bénéfices se font ressentir. D'une part, il n'est pas rebuté par le volume de lecture et n'a pas l'appréhension de la fatigue qu'il va ressentir en lisant. D'autre part, la carte attire son attention et éveille sa curiosité grâce à ses éléments graphiques variés. En effet, un texte scolaire est souvent pauvre en repères paralinguistiques, il est plus monotone dans sa présentation.

Une carte présente un nombre de mots très réduit par rapport à un texte. C'est un avantage considérable pour les élèves dyslexiques, dont certains montrent un déficit visuo-attentionnel important comme je l'ai expliqué dans le point 1.2.3.2. L'intégration des informations nécessite moins de fixations du regard successives et s'en trouve d'autant facilité.

Comme le fait remarquer Caro Dambreville :

"le coût cognitif de production ou lecture/compréhension d'un texte est relativement élevé comparé à celui d'une carte mentale. De la même manière, mémoriser des informations depuis un texte est également plus coûteux cognitivement et plus long que depuis une carte." (Caro Dambreville, 2014, p. 71)

L'attention nécessaire à l'acte de lecture est aussi réduite de par l'agencement de l'information. Celle-ci est présentée sous forme d'éléments courts et distincts plutôt qu'en longs blocs insécables qui réclameraient un maintien de l'attention dans la durée. En effet, la quantité de mots à lire ainsi que leur présentation, c'est-à-dire notamment le fait qu'un document soit plus ou moins aéré et que les mots soient clairement séparés les uns des autres, sont des facteurs importants de la difficulté de lecture des dyslexiques (Evans, Cook, Richards, & Drasdo, 1994; Zorzi et al., 2012). Ainsi, une carte permet également de simplifier la tâche de compréhension des apprenants dyslexiques, puisque la difficulté de lecture amoindrie permet de libérer une partie de la mémoire de travail et de la mettre en œuvre sur l'interprétation du sens du texte.

3.3.3. Lecture de documents non-linéaires

La différence primordiale entre le texte et la carte est que le texte est linéaire, il ne peut représenter qu'une seule idée à la fois. Cette non-linéarité de la carte est grandement

responsable des avantages que nous avons vu précédemment : la liberté, l'adaptabilité et la variété de représentations possibles. Ces avantages permettent, à leur tour, une utilisation bénéfique des cartes par un public hétérogène. Cependant, c'est aussi cette particularité qui provoque des désagréments lorsqu'il s'agit non pas de construire, mais de lire une carte.

Pour aborder ces désagréments, je vais m'appuyer sur les nombreuses recherches qui ont été menées sur les avantages et les désavantages pour un lecteur de la présentation d'informations sous forme d'hypertexte. En effet, comme je l'ai déjà exposé, les cartes que j'étudie, d'autant plus qu'il s'agit de cartes numériques et interactives, peuvent être considérées comme un type d'hypertexte. La lecture des hypertextes a été étudiée en suivant l'approche de nombreuses théories (Amadiou & Salmeron, 2014). Parmi celles-ci, les études récentes s'appuient régulièrement sur la théorie de la charge cognitive (Amadiou, Tricot & Mariné, 2009). La théorie de la charge cognitive, a été développée par John Sweller, dans les années 1980. Elle s'appuie sur la théorie de l'évolution, et des connaissances en biologie humaine, pour comprendre les structures et les fonctions de l'architecture cognitive humaine afin de définir des principes efficaces dans le domaine du design -ou ingénierie-pédagogique (*instructional design*) (Sweller, 2008). Je traiterai ici en priorité les phénomènes identifiés lors de la lecture d'hypertextes qui semblent s'appliquer également à la lecture de cartes. Même si les hypertextes semblent, à l'instar des cartes, adaptés à différents profils d'apprenants grâce à leur flexibilité, comme nous l'avons vu dans le point 3.2, plusieurs études ont échoué à démontrer leur efficacité pour l'apprentissage (Amadiou, van Gog, et al., 2009).

Plus précisément, les hypertextes soulèvent deux types de difficultés qui entravent leur bonne lecture et compréhension, et peuvent remettre en cause leurs nombreux bénéfices pour l'apprentissage : la désorientation et la surcharge cognitive (Amadiou, van Gog, et al., 2009; Conklin, 1987). Ces difficultés sont particulièrement marquées chez les lecteurs ayant de faibles connaissances préalables sur le sujet présenté par l'hypertexte.

3.3.3.1. Surcharge cognitive

La surcharge cognitive, telle que la définit Conklin (1987) est un inconvénient propre aux hypertextes et elle ne s'applique pas directement à tous types de cartes. Il s'agit précisément de l'attention supplémentaire que le lecteur va donner lorsqu'il rencontre dans sa lecture un lien menant à une autre partie du document ou permettant d'accéder à/d'ouvrir une autre fenêtre sur l'écran. Le lecteur a alors le choix entre cliquer sur ce lien et perdre le fil de sa lecture en court, ou l'ignorer pour l'instant, tout en gardant son existence en mémoire. Dans les deux cas, il va maintenir simultanément les informations concernant plusieurs tâches différentes en mémoire, et il va se retrouver au fur et à mesure de sa lecture dans un état de surcharge cognitive car la quantité d'information pouvant être conservée en mémoire de travail est limitée.

Plus généralement, selon la théorie de la charge cognitive, la charge lors d'une tâche d'apprentissage peut être divisée en trois types (Sweller, 2008; Amadiou & Salmeron, 2014, qui citent (Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998)):

- la charge cognitive intrinsèque (propre au nombre d'éléments informatifs et au niveau d'interaction entre ces éléments) ;
- la charge cognitive dite *extraneous*, que je qualifierais d'externe ou périphérique (propre à la compréhension de la structure organisationnelle et au scénario pédagogique) ;
- la charge cognitive dite *germane*, que je qualifierais de dédiée ou pertinente (propre à la tâche d'apprentissage, qui est mise en œuvre afin d'intégrer les informations en mémoire).

La surcharge cognitive peut être diminuée en limitant la charge cognitive périphérique et en maximisant donc la charge cognitive dédiée. C'est à dire qu'une part de la mémoire de travail est libérée et peut alors être investie par des informations propres à la tâche d'apprentissage.

De plus, si la charge cognitive intrinsèque est basse, peu importe que la charge périphérique soit importante, l'apprenant ne subira probablement pas de surcharge cognitive (Sweller, 2008). Toujours d'après Sweller (2008) la charge cognitive intrinsèque est basse lorsqu'il y a peu d'interactions entre les différents éléments qui font l'objet de l'apprentissage. Par exemple, lorsqu'on apprend le nom d'éléments physiques séparés, sans apprendre les relations entre ces éléments. *A contrario*, il est presque impossible d'apprendre simultanément la fonction et le nom de nombreux éléments qui interagissent tous entre eux.

3.3.3.2. Désorientation

La désorientation est un état psychologique qui résulte de la difficulté à construire un parcours de lecture mais aussi à construire une représentation mentale d'un hypertexte (Amadiou, van Gog, et al., 2009). Ce terme désigne plus généralement le fait de perdre à la fois la position de sa précédente fixation du regard, le sens et la direction de lecture, dans un document non-linéaire (Conklin, 1987). Cette définition est simplement une projection de la situation d'une personne qui perdrait son chemin, en promenade ou en voyage, appliquée à l'activité de lecture. De plus, Cress et Knabel (2003) distinguent deux types de désorientation : la désorientation structurelle, qui correspond à la définition donnée plus haut, et la désorientation conceptuelle, qui advient lorsqu'un lecteur n'est pas capable de comprendre la signification d'un lien entre deux nœuds de l'hypertexte, ce qui va entraîner la perte d'une partie du sens de l'hypertexte. Ces deux types de désorientations impliquent donc une importante charge cognitive externe.

Paradoxalement, c'est la liberté d'exploration permise par la lecture des hypertextes qui provoque des difficultés puisqu'elle nécessite d'avoir une bonne mémoire et de prendre des

décisions quant au parcours de lecture. A la rencontre de chaque lien, le lecteur va mobiliser sa mémoire de travail pour choisir la suite de son parcours, mais aussi mémoriser ce choix afin de construire la représentation mentale de son parcours (Amadiou, Tricot, et al., 2009). Ainsi, cette liberté d'exploration mobilise une grande partie des ressources cognitives du lecteur. Cress et Knabel (2003) répertorient deux façons de lire un hypertexte, en fonction de l'intention du lecteur : *searching* (rechercher ou fouiller) et *browsing* (parcourir ou naviguer), dans le premier cas, le lecteur élabore une stratégie de lecture afin de trouver l'information qu'il désire, dans l'autre le lecteur se contente de parcourir le contenu de l'hypertexte au fur et à mesure qu'il se présente, en ayant un intérêt pour l'exploration de son sujet mais sans interrogation précise à satisfaire.

Il est intéressant de noter que l'exploration sans objectif précis d'un hypertexte est à la fois responsable de désorientation, à la fois vecteur d'un possible apprentissage accidentel; c'est à dire que le parcours aléatoire des informations de l'hypertexte va amener à l'intégration de nouvelles connaissances par le lecteur, de façon fortuite. C'est un phénomène que Cress et Knabel (2003) désignent par le terme *serendipity* (sérendipité).

Deux facteurs déterminants ont été identifiés dans le bon apprentissage à l'aide d'hypertextes :

- Le niveau de guidage, qui est fortement dépendant du type d'hypertexte.
- Les connaissances préalables du lecteur, qui lui permettent de faire appel à ses propres représentations mentales pour l'aider à parcourir efficacement l'hypertexte.

Le niveau optimal d'apprentissage serait atteint lorsque le niveau de guidage est en harmonie avec le niveau de connaissances préalables.

Cette idée coïncide également avec l'effet de guidage décrit par Sweller dans sa théorie de la charge cognitive (Sweller, 2008). Tout comme pour l'effet de redondance, les bénéfices du guidage sont dépendants de l'expertise de l'apprenant dans le domaine. Ainsi, une information peut être pertinente pour un novice alors qu'elle présente un caractère de redondance pour un expert et constitue donc une mobilisation de mémoire de travail inutile. Le niveau de guidage agit de la même façon, par exemple : un tutoriel pour commencer à utiliser un logiciel ou jeu est un moyen d'apprentissage efficace pour le novice et une perte de temps pour l'expert. Ces constatations sont regroupées par Sweller (2008) sous le nom d'effet d'expertise renversé (*expertise reversal effect*).

3.3.3.3. Expérimentations avec les hypertextes

Dans leur étude, Amadiou, van Gog, et al. (2009) essayent de mieux mesurer les effets de ces deux facteurs sur un groupe de lecteurs d'hypertextes. Pour ce faire, ils ont constitué deux groupes d'apprenants selon leur niveau de connaissances préalables (*High Prior Knowledge* et *Low Prior Knowledge*) et ils ont testé les apprenants de chaque groupe sur deux types d'hypertextes, un hypertexte hiérarchisé et un hypertexte en réseau. Chaque apprenant a

subi un pré-test et un post-test sur ses connaissances factuelles et ses connaissances conceptuelles afin de mesurer ses progrès d'apprentissage. De plus, une grille de critères subjectifs, notés de 1 à 9, a été établie pour mesurer la charge cognitive et la désorientation et elle a été remplie par chaque participant. Enfin, cette étude est complétée par l'analyse de critères objectifs : la direction du regard sur l'écran et la durée de fixation sur chaque élément de l'hypertexte, grâce à un système d'*eye tracking*, ainsi qu'à la récupération des traces de navigation, tel que l'historique des clics effectués pour parcourir les différents nœuds de l'hypertexte.

Les résultats de l'expérimentation menée par Amadiou, van Gog, et al. (2009) indiquent que les apprenants à faibles connaissances préalables bénéficient d'un gain d'apprentissage factuel équivalent que ce soit en lisant les hypertextes hiérarchisés ou les hypertextes en réseau. Par contre, leur gain d'apprentissage de concepts est plus important et leur effort cognitif est moindre dans le post-test pour les apprenants ayant travaillé avec les hypertextes hiérarchisés. Cet effet positif de la hiérarchisation sur les apprenants à faible connaissance préalable confirme les résultats d'autres recherches mentionnées par Amadiou, Tricot, et al. (2009). Quant aux apprenants à fortes connaissances préalables, leurs résultats sont différents puisqu'ils bénéficient d'un gain d'apprentissage factuel plus important avec les hypertextes hiérarchisés, un gain égal en ce qui concerne l'apprentissage des concepts et enfin une désorientation plus forte avec les hypertextes en réseaux, qui n'a pas été observée chez les autres apprenants.

Les deux types d'apprenants ont eu une charge cognitive moins importante avec les cartes hiérarchisées, qui sont parcourues de façon systématique. De plus, d'après les résultats de cette étude, la charge cognitive et la désorientation sont indépendantes. Cette étude ne comporte pas suffisamment de participants (24) pour permettre des conclusions significatives.

Des expérimentations similaires ont été menées par ces chercheurs et d'autres collaborateurs, notamment : (1) Amadiou, Tricot, et al. (2009) et (2) Amadiou, Tricot et Mariné (2010).

Pour l'expérimentation (1), 54 futurs enseignants de biologie ont été soumis à un pré-test et séparés en deux groupes, selon leur niveau de connaissances préalables sur le sujet (virologie). Chaque personne des deux groupes a été assignée de façon aléatoire à travailler sur un hypertexte hiérarchisé ou un hypertexte en réseau, contenant les mêmes informations. Les participants ont ensuite subi un post-test pour mesurer leur capacité de rétention des informations (*factual knowledge*), d'une part, et leur apprentissage des concepts (*conceptual knowledge*), d'autre part. L'effort mental et la désorientation ont été mesurés de la même manière que lors de l'expérimentation présentée précédemment, avec une grille de critères subjectifs, notés de 1 à 9.

Les résultats permettent de constater que l'hypertexte hiérarchisé permet une meilleure rétention, une meilleure intégration des informations en mémoire, pour les apprenants à faibles connaissances préalables; notamment en apportant de la cohérence au parcours de lecture et en limitant la désorientation perçue. Cependant le type de structure de l'hypertexte ne modifie pas l'effort mental perçu, ni n'améliore l'apprentissage conceptuel. Ce qui pourrait être expliqué par la taille limitée des hypertextes utilisés. Pour les apprenants à fortes connaissances préalables, le type de structure de l'hypertexte ne modifie significativement aucun des résultats. Les fortes connaissances préalables permettraient donc de compenser la difficulté à déterminer un parcours de lecture dans l'hypertexte en réseau. Ceci est confirmé par l'analyse des traces de la séquence de lecture des apprenants, plus cohérente lorsqu'il s'agit des apprenants à fortes connaissances préalables, capables donc de donner un sens logique de lecture à l'hypertexte. Les mesures de désorientation ont par ailleurs confirmé dans cette expérimentation la supposée plus grande difficulté à parcourir un hypertexte en réseau.

Concernant l'expérimentation (2), c'est la compréhension de l'hypertexte par les apprenants qui a été mesurée à l'issue de la tâche. La désorientation, qui peut affaiblir la compréhension, et les traces de navigation dans l'hypertexte (parcours de lecture et temps de lecture de l'hypertexte global et de chaque nœud) ont aussi été mesurées. Le public était constitué de 37 étudiants en psychologie. Les apprenants ont subi un pré-test et ont été divisés en deux groupes : fortes connaissances préalables et faibles connaissances préalables. Puis, ils ont été affectés aléatoirement à la lecture d'un hypertexte en réseau ou d'un hypertexte hiérarchisé, chacun contenant les mêmes informations. Le sujet des hypertextes est la virologie, comme pour l'étude (1). Après 30 minutes de lecture, les participants devaient d'abord évaluer leur désorientation, en utilisant un barème de 1 à 7 appliqué à trois questions sur leur sensation de désorientation, puis répondre aux questions de compréhension. La mesure de la compréhension incluait deux types de questions différents : des questions faisant appel à des informations données explicitement par le texte (*text-based*) et des questions nécessitant de mettre en relation des informations provenant de deux nœuds différents de l'hypertexte afin d'en déduire la réponse (*situation model*).

Les apprenants à faibles connaissances préalables ont obtenu des meilleurs résultats de compréhension avec l'hypertexte hiérarchisé, ainsi qu'une désorientation ressentie plus faible. Pour les apprenants à fortes connaissances préalables, aucune différence significative de compréhension, ni de désorientation, n'a été constatée entre les deux types différents d'hypertextes. Une fois encore, les apprenants à fortes connaissances préalables ont de meilleurs résultats avec l'hypertexte en réseau, ce qui montre que la connaissance du sujet amène à choisir un parcours de lecture plus cohérent et évite la désorientation. Enfin, il n'y a pas de différences significatives entre les résultats aux deux types de questions de compréhension *text-based* et *situation model*, que ce soit entre fortes et faibles connaissances préalables ou entre hypertexte hiérarchisé et hypertexte en réseau. Ce qui

confirmerait que les informations explicites et les informations déduites d'un document sont fortement liées.

Ces études ne sont pas directement appliquées à la lecture de cartes, cependant elles permettent de mieux comprendre l'impact de différents paramètres dans la lecture des hypertextes et donne des pistes de réflexion sur les possibles effets positifs et négatifs de la lecture de carte, ainsi que des idées de fonctionnalités à incorporer au LICl.

L'ensemble de ces résultats mérite d'être comparé avec les résultats de l'expérimentation exploratoire, lors de l'analyse de ceux-ci, que je détaillerai dans le Chapitre 7.

3.3.3.4. Guidage assuré par les cartes

De façon générale, la désorientation peut être atténuée par deux procédés : hiérarchiser l'hypertexte ou fournir au lecteur un guide textuel ou graphique pour l'aider à se situer (Cress & Knabel, 2003). En effet, donner au lecteur des informations sur l'organisation structurelle et sémantique de l'hypertexte va entraîner une réduction des deux types de désorientation, réduire la charge cognitive externe et permettre une allocation de ressources plus importante à la charge cognitive dédiée à l'apprentissage. Ce guidage de la lecture d'un hypertexte est généralement assuré par un plan ou un graphique présentant un aperçu global et organisé du document (Amadiou & Salmeron, 2014). Ce graphique peut être une carte, présentant alors la macrostructure de l'hypertexte, de façon hiérarchisée.

Amadiou et Salmeron (2014) proposent un état de l'art sur l'utilisation des cartes conceptuelles en tant que guide à la lecture d'un hypertexte. Plus précisément, ils ont recensé les résultats observés sur l'apprentissage et la compréhension d'hypertextes à l'aide de cartes (24 études entre 1998 et 2013). Les principaux résultats de ces études sont :

- les cartes conceptuelles sont utilisées pour surligner la structure sémantique de l'hypertexte, elles facilitent la représentation mentale des informations explicites de l'hypertexte comme des informations implicites de connexions entre ces informations ;
- les cartes conceptuelles permettent de comprendre la macrostructure de l'hypertexte, mais ne sont pas efficaces concernant sa microstructure ;
- pour être efficaces, les cartes conceptuelles doivent présenter les relations sémantiques entre les éléments, pas les informations structurelles ou spatiales ;
- les cartes conceptuelles améliorent la compréhension des hypertextes en diminuant la charge cognitive requise pour les parcourir ;
- les cartes conceptuelles bien hiérarchisées sont bénéfiques pour l'apprentissage, les cartes comprenant beaucoup de liens, comme les cartes en réseaux, sont très exigeantes en ressources cognitives ;
- les apprenants ayant de fortes connaissances préalables peuvent compenser la difficulté de parcourir un hypertexte en l'absence de carte ou avec des cartes

complexes et atteindre un niveau de compréhension équivalent. Les cartes peuvent compenser les difficultés des apprenants ayant de faibles compétences ;

- présenter les cartes très tôt dans la tâche d'apprentissage entraîne de meilleures performances.

En plus des résultats des différentes études, résumés ci-dessus, Amadiou et Salmeron (2014) suggèrent quelques stratégies pour l'usage pédagogique des cartes, notamment de faire coïncider les liens représentés sur la carte avec les liens disponibles dans l'hypertexte, de considérer les différences entre apprenants dont les chemins de lecture varient, d'entraîner les apprenants à l'usage des cartes et de bien adapter les cartes au niveau de connaissance et aux compétences des apprenants.

3.3.4. Aide à la compréhension par les graphiques

Le terme "graphique" désigne un ensemble de représentations plus large, comportant notamment des cartes mais aussi des tableaux et des listes. L'étude de l'effet des graphiques sur la compréhension me semble pertinent, tout comme celui des hypertextes, car les cartes en sont des représentants, possédant des caractéristiques semblables.

Les processus cognitifs mis en œuvre pour la compréhension d'un texte et pour la compréhension d'un graphique sont différents. Une personne ayant un trouble spécifique dû à la lecture d'un texte ne sera donc pas affectée de la même façon lors de la lecture d'un graphique.

3.3.4.1. Expérimentation avec les graphiques

Stull et Mayer (2007) ont mené une expérimentation particulièrement intéressante sur l'aide à la compréhension par les graphiques. Leur étude visait à comparer le niveau de compréhension d'un texte, lu par des étudiants en biologie à l'université, suivant trois conditions. Une première où les étudiants ont simplement lu le texte, une autre, où les étudiants devaient produire des graphiques reprenant le contenu du texte après l'avoir lu (état actif) et enfin, une dernière où le texte est accompagné d'un ou plusieurs graphiques, dessinés par l'auteur (état passif). Ces différents cas correspondent exactement aux différentes utilisations des cartes par les dyslexiques, comme je les ai définies précédemment et le deuxième cas s'apparente à la situation que l'on souhaite obtenir grâce à l'outil développé au cours du projet LICl. Pour mesurer le niveau de compréhension, Stull et Mayer ont utilisé un petit jeu de questions permettant d'évaluer les performances des élèves : d'une part sur la rétention des informations et d'autre part sur le transfert, donc la capacité à réutiliser, pour une autre tâche, des connaissances contenues dans le texte de départ.

Il y a donc deux cas de figures possibles pour l'aide à la lecture en utilisant des graphiques. Dans le cas où les étudiants doivent réaliser des graphiques à partir du texte, il est espéré que cette tâche va stimuler l'accès au sens du texte, comme le prédit la théorie de l'activité. Lorsque des graphiques réalisés par l'auteur du texte sont fournis en complément de celui-ci, alors, la théorie de la charge cognitive laisse supposer que la mémoire de travail des élèves sera libre et pourra être entièrement dédiée à la tâche de compréhension. Pour que ces tâches favorisent la compréhension, il est nécessaire d'atteindre un équilibre délicat. En effet, d'un côté la réalisation non assistée de graphiques à partir d'un texte risque d'entraîner une charge cognitive trop importante et, d'un autre côté, la position de simple lecteur, avec des graphiques fournis par l'auteur du texte, risque de ne pas stimuler le processus génératif. De plus, la complexité et le nombre de graphiques associés au texte sont aussi des variables primordiales.

Stull et Mayer (2007) se sont justement intéressés à ces deux paramètres. Ils ont montré que lors de leur expérimentation, contrairement à ce que suggérait la théorie de l'activité, la réalisation de graphiques à partir d'un texte (ici un cours de biologie) n'avait pas facilité l'apprentissage des notions contenues dans celui-ci. De plus, ce résultat persiste, que les étudiants aient eu à construire des graphiques à partir de rien ou qu'ils aient eu accès à des patrons de graphiques préfabriqués, fournis afin de simplifier la tâche. Au contraire, l'hypothèse émise à partir de la théorie de la charge cognitive, selon laquelle fournir des graphiques produits par l'auteur en complément du texte entraîne une meilleure intégration des connaissances, a été confirmée. Cependant, il est à noter que cette hypothèse ne se vérifie pas si les graphiques fournis sont trop nombreux et complexes. De plus, l'écart entre les élèves devant créer leurs propres graphiques et ceux ayant accès aux graphiques de l'auteur, est d'autant plus important que l'on simplifie les graphiques fournis avec le texte. Il semble donc essentiel de bien sélectionner les informations à présenter, de les agencer de façon claire et de ne pas surcharger les graphiques. On pourrait dire également que ce résultat est encore davantage en faveur de graphiques fournis à l'élève, car la réalisation d'un graphique nécessite beaucoup plus de temps que la lecture d'un graphique fourni. Enfin, Stull et Mayer (2007) émettent l'hypothèse que l'approche active, avec réalisation de graphiques, fournirait de meilleurs résultats avec un public possédant déjà un bon niveau de connaissances préalables sur le sujet traité par le texte car la charge cognitive serait moins importante. Cette dernière hypothèse correspond tout à fait à la théorie développée par Ausubel (1962), comme je l'ai expliqué dans l'introduction sur les cartes conceptuelles, mais les participants à leur expérimentation n'avaient pas été divisés en groupe selon leurs connaissances préalables comme c'était le cas pour l'expérimentation de Amadiou et al. (2009).

Dans le contexte de ma problématique d'aide aux apprenants dyslexiques, la charge cognitive induite par la simple lecture est déjà importante, il paraît donc d'autant plus

intéressant de se porter sur l'approche passive, avec des graphiques, qui seront dans mon cas des cartes, fournies aux lecteurs.

Dans le cadre de l'expérimentation de Stull et Mayer (2007), les graphiques ne contiennent aucune information nouvelle qui ne serait pas présente dans le texte qu'ils viennent compléter. Au niveau de la réalisation technique, cela rejoint le concept d'*extract*, et c'est également le choix que j'ai fait pour les cartes générées avec le LICI. Je reviendrai sur ce point dans le 0.

Hofman et van Oostendorp (1999) ont étudié eux aussi les effets d'une représentation graphique structurelle sur la compréhension d'un texte. Leurs résultats montrent que de telles représentations amènent à focaliser l'attention sur la macrostructure chez les lecteurs les moins experts, ce qui leur permet d'atteindre une compréhension globale satisfaisante. Mais, en même temps, le recours à ces représentations graphiques gêne de façon significative la compréhension au niveau micro-structurel du texte.

3.4. Application au projet LICI et conclusion

Les conclusions de l'étude de Hofman et Van Oostendorp (1999) ont attiré mon attention et ont renforcé mon idée de conserver un lien fort entre le texte d'origine et la carte qui sera générée automatiquement par le LICI. En effet, si l'on produit une carte présentant peu d'éléments, agencés clairement, qui permettent d'accéder à la macro-structure du texte et que l'on complète l'accès au sens du texte par un système d'accès progressif à la micro-structure, il paraît théoriquement possible d'éviter les pièges de la surcharge cognitive et de la désorientation, tout en conservant les informations de la micro-structure.

D'après les éléments que j'ai développés précédemment il semble pertinent de permettre un paramétrage de mon outil afin de l'adapter à l'utilisateur. En particulier, l'utilisateur de la carte devrait pouvoir la modifier pour qu'elle soit en accord avec ses connaissances et sa structure de pensée actuelles. Par exemple, une fonctionnalité de déplacement des mots clés et des nœuds, lui permettrait de faire acte de pensée réflexive et de mettre en évidence une signification plus proche de ses représentations actuelles. Dans la même optique, il est intéressant que la carte soit entièrement éditable et que l'utilisateur puisse donc la sauvegarder après avoir modifié son agencement, les liens et les textes contenus dans les nœuds. Ainsi, même si la carte est générée par le logiciel, l'apprenant reste constructeur et le bénéfice du travail réflexif propre à la réalisation des cartes est maintenu. De plus, il est utile de prévoir une option permettant de gérer la complexité de la carte, en termes de nombre de nœuds et de nombre de liens présentés.

J'ai évoqué précédemment l'usage de cartes en tant qu'élément de guidage pour la lecture d'un hypertexte. Je note le parallèle intéressant qui existe entre l'utilisation d'une carte proposée pour éviter la désorientation des lecteurs dans un hypertexte et la proposition du

projet LICI d'utiliser une carte pour l'aide à la lecture des dyslexiques. En effet, les symptômes des dyslexiques face à un texte sont semblables à ceux rencontrés par les normo-lecteurs devant un hypertexte. Premièrement, une surcharge cognitive est entraînée par la grande sollicitation de la mémoire de travail nécessaire à la conversion de graphème à phonème, ou plus généralement, de mots à sens. Deuxièmement, une désorientation peut advenir pour différentes raisons : la fatigue, la difficulté à percevoir l'orientation et l'agencement des lettres, ou encore à cause d'un empan visuo-attentionnel réduit. Ces exemples ne concernent chacun que certains dyslexiques, bien entendu, mais ce parallèle est un argument théorique supplémentaire en faveur de l'utilisation des cartes comme guide à la lecture et donc comme aide à la compréhension des textes.

Enfin, j'ai aussi évoqué dans ce chapitre l'argument de la motivation des lecteurs, que j'ai décidé de ne pas étudier. Néanmoins, si dans sa théorie de la charge cognitive, Sweller (2008) n'inclut pas les effets motivationnels, c'est avant tout parce qu'aucune des études sur l'architecture cognitive humaine auxquelles il se réfère n'ont conclu sur ces effets. En effet, Sweller envisage que la motivation ait un rôle important dans l'apprentissage.

J'ai constaté, dans ce chapitre, que la carte est reconnue comme un outil puissant à la fois pour les apprentissages mais aussi pour développer la métacognition. De plus, son usage s'est avéré pertinent autant pour les enfants dyslexiques, que pour un public large, allant des universitaires, aux enseignants, managers ou animateurs. C'est un constat important car cet outil représente donc un mode de travail et de réflexion qui n'est pas uniquement destiné à pallier les insuffisances mais aussi à enrichir tout un chacun. Il peut à ce titre être présenté aux dyslexiques comme un outil les amenant à un pied d'égalité avec les autres utilisateurs.

Chapitre 4. La prise en charge, la reconnaissance et la remédiation

Ce chapitre débutera par une présentation rapide de la prise en charge des enfants dyslexiques au sein des établissements scolaires, ainsi que les lois et les structures qui permettent cette prise en charge. Dans un deuxième temps, je traiterai de la difficulté d'acceptation de la dyslexie, pour les personnes atteintes et leur famille, mais aussi de la difficulté de reconnaissance de ce trouble, face à des personnes mal informées ou des personnes persuadées de la contre productivité de l'appellation « dyslexique ». Enfin, je passerai en revue quelques méthodes de suivi et de remédiation des orthophonistes et d'autres professionnels de santé, en commençant par les méthodes classiques puis en donnant quelques exemples de méthodes alternatives.

4.1. Prise en charge institutionnelle

Un certain nombre de mesures sont actuellement mises en place sur le territoire français afin de répondre aux besoins éducatifs particuliers des enfants atteints de dyslexie. Les aménagements existants doivent faire l'objet d'adaptations nouvelles afin de consolider leur efficacité, d'uniformiser les bonnes pratiques et de lutter contre les discriminations (Becchetti-Bizot et al., 2008; Rebeyrol et al., 2010). De nombreuses avancées ont déjà été réalisées consécutivement à des rapports collectifs édités ces dernières années (INSERM (dir.), 2007; Ringard, 2000; Rousseau-Giral et al., 2002), mais il reste encore beaucoup de chemin à parcourir dans le domaine de l'égalité des chances au sein de notre système éducatif.

4.1.1. Les lois : socle de connaissance et égalité des chances

Depuis 2005, deux lois permettent de mieux prendre en compte les difficultés des élèves dyslexiques. D'une part la LOI n° 2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école (Assemblée Nationale, 2005b) nous dit :

"Art. L. 122-1-1. - La scolarité obligatoire doit au moins garantir à chaque élève les moyens nécessaires à l'acquisition d'un socle commun constitué d'un ensemble de connaissances et de compétences qu'il est indispensable de maîtriser pour accomplir avec succès sa scolarité, poursuivre sa formation, construire son avenir personnel et professionnel et réussir sa vie en société."

Sachant qu'un des éléments du socle commun est la maîtrise de la langue française.

D'autre part la dyslexie est reconnue comme un handicap, les élèves dyslexiques peuvent donc bénéficier des prescriptions liées à la LOI n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées (Assemblée Nationale, 2005a).

Des mesures spécifiques définissent des contrats de partenariat facilitant le parcours de l'élève dans son établissement scolaire. Ces contrats favorisent l'intégration en milieu scolaire ordinaire et améliorent la connaissance et la prise en compte du handicap qu'est la dyslexie. Pour plus de détails sur la loi, voir la partie A-1. du volume *Annexes* de la thèse.

L'école se veut maintenant à la fois plus inclusive et capable de travailler en partenariat, permettant ainsi des parcours coordonnés.

Un de ces partenariats est le projet personnalisé de scolarité (PPS). Les différents acteurs concernés sont : parents, enfants, établissement scolaire, enseignant, professionnels de la santé, médecin et orthophonistes. La maison départementale des personnes handicapées (MDPH) et l'enseignant référent sont responsables du bon déroulement et du suivi régulier de ce projet.

L'alternance entre milieu ordinaire et milieu spécialisé d'éducation ainsi que la possibilité d'aménager le temps de travail sont définies dans cette continuité.

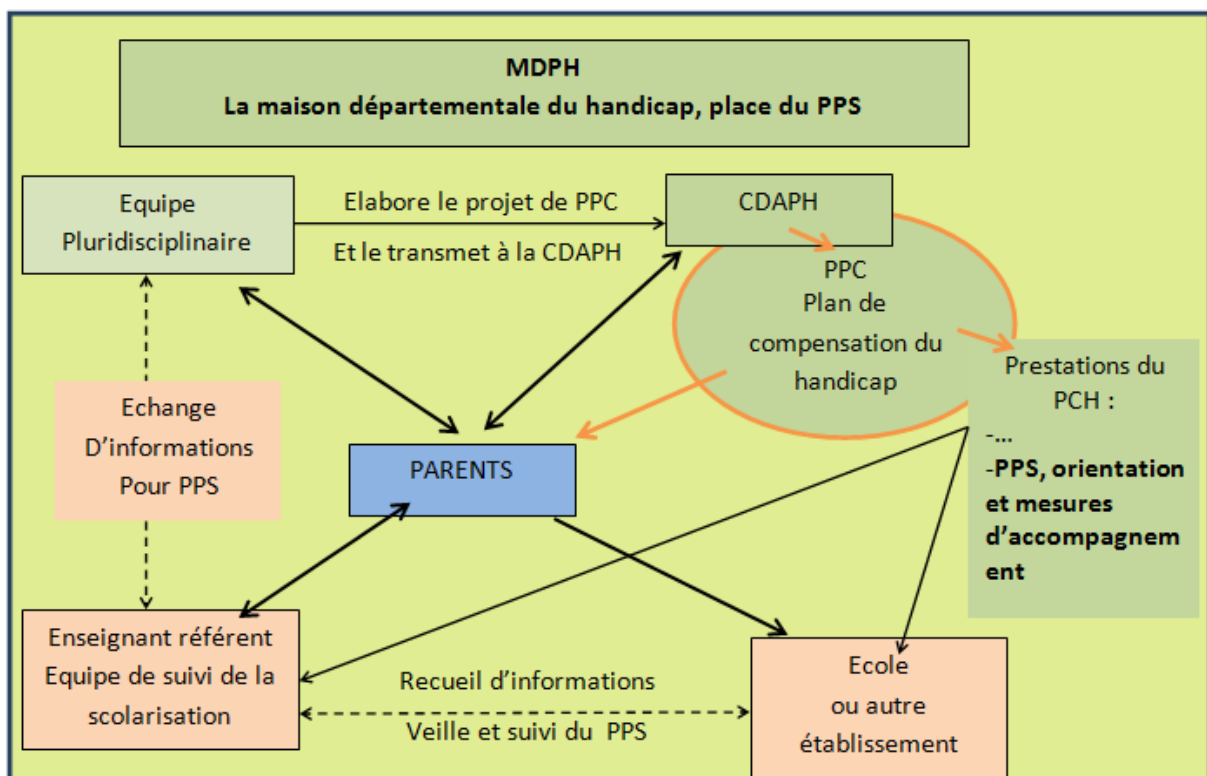


Figure 4.1 Schéma de prise en charge par la MDPH.

De plus la Commission des droits et de l'autonomie des personnes handicapées (CDAPH) peut décider, après évaluation des besoins de l'élève par l'équipe pluridisciplinaire, d'attribuer un temps d'accompagnement pour la scolarisation de l'élève en situation de

handicap : c'est l'aide humaine individuelle. Ce rôle peut être rempli par l'Auxiliaire de Vie Scolaire (AVS). Ce processus est détaillé dans la Figure 4.1.

La mise en place de ces structures permet la prise en charge des enfants en difficulté, mais comment procède-t-on pour obtenir cette prise en charge ?

4.1.2. Dans les faits : repérage-dépistage-diagnostic

Je ne vais pas revenir dans cette partie sur les symptômes qui permettent de supputer la présence de troubles des apprentissages chez un enfant. Ceux-ci sont détaillés dans le point 1.1.4.

La première étape dans l'obtention du suivi d'un enfant est le repérage. Ce sont les parents et les enseignants qui doivent se questionner sur l'origine des difficultés d'un enfant ou qui doivent reconnaître des signes de troubles des apprentissages. Des signes d'alerte peuvent être repérés en regard des résultats obtenus sur les livrets d'évaluation et d'aide à l'apprentissage des classes de primaire et de collège. Il existe aussi des évaluations spécifiques au développement des capacités scolaires des élèves qui peuvent être passées à l'école comme le BSEDS (Bilan de Santé : Évaluation du Développement pour la Scolarité), constitué par le groupe Cogni-Sciences. Il regroupe des outils d'évaluation pour faire un bilan complet du développement des enfants de 5/6 ans (Azzano et al., 2011).

Cependant, ce repérage n'est pas évident compte tenu du manque d'information pour les parents et les enseignants concernant les troubles des apprentissages. En effet, les enseignants ne sont que peu formés sur cette question pendant leur cursus initial et encouragés à suivre des formations continues par la suite ou à se référer à des professionnels de santé pour les aider (Baligand, 2014). Pour les parents, il peut être difficile de soupçonner un trouble des apprentissages, s'ils n'ont pas déjà connu de cas dans leur entourage. Il existe cependant des associations dont l'objectif est l'entraide entre parents d'enfant dys, comme par exemple l'ANAPEDYS (ANAPEDYS, 2005). Cette association apporte de l'aide en informant les parents sur les démarches à effectuer pour les suivis des enfants. Le site internet de l'ANAPEDYS fournit également des liens pratiques pour acquérir des outils numériques d'aide (gratuits ou payants) et renvoie vers des articles scientifiques ou de vulgarisation scientifique afin que les parents comprennent mieux les troubles de leur enfant.

Une fois la question d'un trouble de l'apprentissage posée, c'est la persistance de difficultés sans réponse qui amène à un dépistage. Pour ce faire, enseignants, infirmier scolaire, chef d'établissement, RASED (Réseaux d'Aides Spécialisées aux Élèves en Difficulté), psychologue, neuropsychologue, puis médecin(s) doivent travailler en collaboration. Comme nous l'avons vu, ce sont les enseignants et les parents qui donnent l'alerte, puis le directeur

d'établissement et l'infirmier scolaire prennent le relais et conseillent la consultation d'un psychologue ou d'un médecin. Le médecin quant à lui peut prescrire le suivi par un spécialiste, généralement un orthophoniste, qui est habilité à effectuer le diagnostic du trouble des apprentissages en question. Je reviendrai sur le rôle de l'orthophoniste dans le point 4.3.1. A partir de là, la mise en place d'un suivi et d'une guidance pédagogique adaptée peut être décidée. Comme je l'ai expliqué précédemment c'est la MDPH qui est alors responsable de la formalisation de ce suivi.

4.1.3. Questions posées par la mise en place d'une solution de compensation

D'autre part se développe l'usage des technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement (TICE) de façon plus large, au service des élèves concernés par des troubles spécifiques des apprentissages (TSA). Les TICE sont un enjeu important dans la réussite du parcours de l'élève.

4.1.3.1. Les outils numériques à l'école

Avec l'appui de la direction du numérique pour l'éducation (DNE), l'école s'ouvre aux outils numériques. Il s'agit d'apporter des réponses personnalisées et efficaces aux besoins éducatifs particuliers des élèves. Renforcer l'efficacité des apprentissages contribue ainsi à l'égalité des chances.

Le CNED, par exemple, propose un web service d'adaptation qui transforme les ressources et les renvoie aux élèves porteurs de troubles "dys" sous la forme de documents déposés dans un format accessible et adapté, ce depuis la rentrée 2014.

L'usage de logiciel d'aide en présentiel est également possible. Il fait l'objet d'un accord entre parents, enseignant et établissement scolaire (Ministère de l'éducation nationale de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2015).

D'une manière générale, l'usage des nouvelles technologies se développe pour l'ensemble des élèves dyslexiques ou non dyslexiques. C'est une pratique qui est soutenue par la politique du ministère de l'éducation, du fait même que le socle commun de connaissances et de compétences comprend la maîtrise des techniques usuelles de l'information et de la communication. Les associations de parents de dyslexiques et/ou de professionnels prenant en charge les personnes dyslexiques se montrent aussi très intéressées par ces nouvelles possibilités.

Aux États-Unis, des lois ont pour objet d'assurer l'inclusion des élèves souffrants de troubles des apprentissages au système scolaire. Voici un extrait de loi, cité par MacArthur et Cavalier (2004) :

"Individuals With Disabilities Education Act required that students with disabilities be "included in general State and districtwide assessment programs, with appropriate accommodations, where necessary" (IDEA, 1997, § 612(a)(17)(A))" (MacArthur & Cavalier, 2004, p.43)

Une autre loi, de 2001, *No Child Left Behind Act*, a également pour objectif d'assurer le droit à des accommodations en classe pour les élèves en difficulté.

L'équipe de Médialexie a milité pour que l'utilisation de ses outils soit autorisée en classe standard, afin de permettre l'aide aux élèves en difficulté sans passer par leur reclassement dans une classe spécialisée, mais aussi lors du passage des examens, au même titre que d'autres aménagements, comme le tiers temps supplémentaire accordé à certains élèves. Cette reconnaissance et autorisation des outils de compensation pour les « dys » ont été obtenues au Québec en 2011 (Houle, 2011).

Couteret (2009) a étudié l'usage et les effets des outils numériques et aborde plus précisément la remédiation destinée aux élèves dyslexiques. Il propose l'utilisation des outils informatiques par l'ensemble de la classe, élèves en difficulté d'apprentissage ou non, afin d'apporter les bénéfices de ces outils tout en évitant la discrimination que peut induire l'usage d'ordinateur par une partie seulement des élèves. De plus, il constate que l'usage de l'ordinateur est perçu comme moins discriminant que la mise en place d'un temps aménagé ou le recours à l'aide d'un auxiliaire de vie scolaire.

4.1.3.2. Acceptation des troubles du langage

Pour compléter la précédente réflexion, touchant à la place de l'élève dyslexique en milieu scolaire ordinaire, je rappelle que les prises en compte et prises en charge nécessitent que les parents aient effectué une demande de reconnaissance du handicap auprès de la MDPH. En plus de la possibilité que cette démarche n'aboutisse pas, elle est, en soit, une étape difficile à franchir pour les parents qui doivent trouver un équilibre entre l'acceptation du handicap et la volonté que leur enfant ne soit pas stigmatisé. D'une part, l'étiquette de "situation de handicap" est nécessaire afin de recevoir des aides adaptées, mais il est aussi nécessaire que, parents comme camarades de classe, soient bien informés sur le type de difficultés rencontrées par les élèves sujets aux troubles des apprentissages.

Dans certain cas, la peur d'être considéré comme malade ou handicapé, le refus de recevoir une prise en charge visible et d'établir des parallèles avec d'autres difficultés qui sont d'ordre physique (malentendants/malvoyants...), peut amener des enfants en difficulté ou leurs parents à s'enfermer dans la situation d'échec scolaire.

D'autre part, les enfants en difficulté doivent faire face à l'incompréhension venant des personnes ignorant tout des troubles du langage, dont certaines peuvent tenir un discours décourageant : « c'est parce qu'il n'a pas suivi en classe », « c'est parce qu'il est fainéant »... Des témoignages de ce phénomène sont parvenus maintes fois à l'équipe de Médialexie et il

est possible d'en trouver de nombreux autres sur des forums de discussions pour les dyslexiques et parents d'enfants dyslexiques, tel que celui de l'ANAPEDYS (ANAPEDYS, 2005).

Ainsi, les enfants souffrant de troubles des apprentissages se retrouvent dans une situation d'exclusion. En difficulté pour suivre les programmes scolaires normalement, ils sont parfois redirigés vers des programmes personnalisés, ou des classes spécialisées. Selon MacArthur et Cavalier (2004), qui évoquent la situation aux États-Unis, cette mise à l'écart permet de leur éviter la frustration de ne pas réussir en milieu scolaire normal mais elle permet également de ne pas faire chuter les statistiques de réussite scolaire des élèves.

De plus, différentes études ont montré que les troubles neuropsychologiques des enfants engendrent d'autres difficultés sociales. D'après Habib et Joly-Pottuz (2008), les enfants atteints de troubles de la lecture présentent un plus grand risque de comportements antisociaux et les troubles de la lecture sont plus courants chez les délinquants et les enfants avec troubles de conduite. Toujours selon Habib et Joly-Pottuz (2008), ces constatations pourraient être liées aux fréquents signes d'hyperactivité associés, mais la question est irrésolue. Ferrer et al. (2015) affirment également que la dyslexie a pour conséquence de moins bonnes notes au lycée et, plus tard, un taux d'emploi et de rémunération plus faible que la moyenne. Les implications sociales des troubles du langage ont été davantage étudiées dans la thèse de Macdonald (2007), d'après sa revue de la littérature sur cette question, la population carcérale présenterait un taux cinq fois plus important d'individus atteints de ces troubles. Une partie seulement de ces individus a été diagnostiquée une fois arrivée en prison. De façon générale, un lien fort existe entre difficultés d'apprentissage et condition sociale (INSERM (dir.), 2007).

4.1.3.3. Reconnaissance des troubles du langage

A la difficulté d'acceptation du trouble par les personnes concernées et leur entourage, au problème du manque d'information de l'entourage, des camarades et parfois des enseignants, vient s'ajouter un autre obstacle, que je me dois de mentionner rapidement. Certaines communautés, parfois soutenues par des médecins, des chercheurs ou des journalistes, refusent de reconnaître l'existence de la dyslexie en tant que telle, pour différentes raisons.

Dans le paragraphe qui suit, je donne quelques exemples de contestations exprimées par des journalistes, celles-ci n'ont aucune valeur scientifique et ne peuvent en aucun cas être comparées aux résultats de recherche présenté dans le Chapitre 1. Leur présence ici a pour objectif de mettre en avant le climat de suspicion qui peut peser sur les dyslexiques de la part du grand public, informé par voix médiatique plutôt que par la communauté scientifique.

Par exemple, on peut lire dans un article de Mail Online, la version en ligne du journal Daily Mail, un article expliquant que la dyslexie n'est pas une maladie mais simplement une

excuse pour les mauvais professeurs (Hitchens, 2014). Selon ce journaliste, il en va de même pour les TDA/H. D'autres journalistes soutiennent aussi l'inexistence des TDA/H mais dans l'objectif plus noble de refuser la médication du trouble qui peut avoir des répercussions sur la santé de l'enfant. Dans un autre article de Mail Online, écrit par Macrae (2014), l'existence de la dyslexie est aussi remise en cause, en s'appuyant cette fois sur les propos d'un chercheur, le professeur Julian Elliott. En réalité, c'est l'étiquette "dyslexie" qui est remise en cause, plutôt que la réalité des difficultés des enfants. Selon cette thèse rien ne justifie de séparer et catégoriser les différentes difficultés des élèves pour lire et pour écrire du fait de notre manque de connaissances, du manque de précision des diagnostics et de la diversité des troubles. Macrae (2014) évoque également un lobby de la dyslexie qui profiterait de ces diagnostics pour vendre des séances de remédiation ou du matériel de compensation, et des parents qui seraient satisfaits de donner une raison aux difficultés de leur enfant, qui ne soit pas un déficit intellectuel. L'auteure accorde toutefois également du crédit aux défenseurs de l'étiquette "dyslexique".

Macdonald (2010), est un chercheur qui s'est beaucoup intéressé aux problèmes sociaux et sociétaux entourant la dyslexie. Il distingue deux approches, l'anti-labellisation « dyslexie » et la pro-labellisation « dyslexie ».

Les chercheurs partisans de l'anti-labellisation cités par Macdonald (2010) affirment qu'il n'existe pas suffisamment de critères positifs pour distinguer les dyslexiques des mauvais lecteurs en général. Selon eux, la labellisation dyslexique permettrait de mettre en avant les enfants avec de bons résultats aux tests de QI et de leur faire profiter du stéréotype d'après lequel les dyslexiques sont particulièrement brillants. Les familles chercheraient donc à obtenir cet étiquetage de « dyslexique ». Cela donnerait une confiance particulière aux enfants et aux parents, qui se sentiraient alors faire partie d'un groupe d'élite parmi les personnes atteintes de troubles du langage, et cela stigmatiserait un peu plus les enfants catalogués comme de simples « mauvais lecteurs ». De plus, cette étiquette permettrait aux parents de s'affranchir de toute responsabilité dans la difficulté de leurs enfants et d'obtenir plus facilement le recours à des aides, notamment technologiques. Enfin, toujours selon plusieurs chercheurs partisans de l'anti-labellisation, ce processus de reconnaissance serait injuste, car réservé aux familles de classe moyenne et inaccessible pour les familles de classe ouvrière. Je note toutefois que cette situation est possiblement spécifique au Royaume-Uni, dont traite l'article de Macdonald (2010).

Selon l'approche pro-labellisation, les critères sociaux existent mais ne permettent pas seuls de diagnostiquer la dyslexie en l'absence de critères médicaux et la dyslexie serait autant une construction sociale qu'une condition médicale. Macdonald (2010), soutient d'ailleurs ce point de vue. Son expérimentation auprès d'adultes dyslexiques lui a permis de recueillir des données de critères diagnostiques positifs (déficits de conscience phonologique, de mémoire de travail...) et de constater l'aide pouvant parfois être obtenue grâce à ce diagnostic. De plus, il n'a constaté aucune preuve entérinant l'argument, avancé par les anti-labellisations,

suivant lequel le diagnostic de dyslexie serait convoité afin de profiter des stéréotypes positifs qui lui sont associés. Enfin, Macdonald (2010) estime que l'étiquette « dyslexie » n'est pas stigmatisante, mais que c'est la condition de difficulté d'apprentissage qui l'est ; et que cette étiquette permet à certains individus de recevoir une aide, souvent technologique, permettant de dépasser les barrières sociales auxquelles ils sont habituellement confrontés.

D'autres chercheurs, comme Bishop et Snowling (2004), s'intéressent également à la différence entre l'appellation générique de « troubles du langage » et celle plus spécifique de « dyslexie ». Selon eux, si l'on admet que la dyslexie est redéfinie comme un déficit spécifiquement phonologique, alors elle peut être vue comme un cas particulier de trouble du langage, différant de l'étiquette générique seulement dans sa sévérité et l'étape de développement du langage concernée.

Si la question de la pertinence de l'étiquette « dyslexie » est beaucoup discutée au Royaume-Uni, on trouve récemment des arguments similaires dans la presse française. Je souhaite, comme précédemment, illustrer le contexte vécu par les dyslexiques, en utilisant un exemple extrait des médias traditionnels qui sont lus et peuvent être considérés comme pertinent par un public non scientifique. Dans un article de Polony (2009), écrit pour le Figaro, on retrouve tour à tour l'argument des mauvaises méthodes des enseignants puis celui du lobby de la remédiation, évoqués par une orthophoniste interviewée :

"Pour Colette Ouzilou, orthophoniste [...] le nœud du problème est dans le développement de méthodes d'apprentissage « constructivistes », en particulier les méthodes de lecture dites « mixtes ou semi-globales », utilisées dans la quasi-totalité des classes. « La dyslexie, la vraie, explique-t-elle, est un phénomène très spectaculaire. Impossible de la confondre avec les 90 % de mal-lisants que nous accueillons dans nos cabinets. Mais que voulez-vous, tout le monde a intérêt à perpétuer cet échec scolaire, et en premier lieu les orthophonistes, dont les cabinets sont bondés. »" (Polony, 2009)

Puis, dans le même article, l'auteure d'une méthode de rééducation accuse à son tour les méthodes d'enseignement :

" « L'enseignement actuel, explique-t-elle, a voulu privilégier la rapidité et s'appuie donc sur le cerveau intuitif, le cerveau droit, qui fonctionne par reconnaissance, grâce à la mémoire visuelle, au lieu de s'appuyer sur le cerveau conscient, le cerveau gauche, qui fonctionne par lien logique. » [...] « Pire, dénonce Élisabeth Nuyts, on sollicite en permanence l'intuition au détriment de la logique. Face à une phrase telle que "Le soleil va se coucher", l'enseignement actuel privilégie des questions du type "Que va faire le soleil ?" et non plus "À quel moment de la journée sommes-nous ?", qui nécessite un raisonnement de la part de l'enfant et non la simple description. » " (Polony, 2009)

Enfin, cet article conclut que les troubles caractérisant la dyslexie disparaîtraient après une « rééducation phonographique remettant en ordre les processus d'apprentissage » et accuse

le diagnostic de dyslexie d'être une médicalisation de l'échec scolaire, servant à décharger parents et enseignants de leurs responsabilités.

Bien entendu, ces conclusions sont fausses, au vu de nos connaissances sur l'origine de la dyslexie. De plus, les arguments, apportés par Macdonald (2010) sur la question de la labellisation, s'appliquent ici également. Mais, cet article, cité parmi d'autres articles ou émissions radio évoquant des arguments similaires, me permet d'illustrer une fois de plus les difficultés de reconnaissance des troubles du langage et le climat néfaste qui peut parfois entourer la question.

Pour finir sur ce sujet, il existe également une réticence aux outils informatisés de diagnostic, chez certains professionnels de santé. La modernisation du diagnostic de la dyslexie, avec des tests de lecture sur écrans et des capteurs, peut être perçue comme allant à l'encontre du travail des praticiens, mais les travaux dans ce domaine, comme la thèse de Garcia (2016), démontrent l'intérêt et la complémentarité de l'association entre méthodes de diagnostic classiques et méthodes informatisées. Dans d'autre cas, certains médecins sont simplement sceptiques quant à l'utilité de tests diagnostiques faisant appel à des machines, comme l'exprime William Pelham, directeur du centre pour enfants et famille à l'Université International de Floride, dans un article de presse publié par Medical News Today (MacGill, 2013).

Ainsi, il est possible de constater qu'avant même la prise en charge, la reconnaissance de la dyslexie pose problème, au moins pour une partie de la société, et ce, alors qu'aucun argument scientifique ne plaide en faveur de la non existence de la dyslexie.

4.2. Bilan et tests

Comme je l'ai expliqué précédemment, l'orthophoniste intervient dans le cadre du suivi d'un enfant présentant des troubles du langage, et dans le cas qui m'intéresse plus précisément la dyslexie. Il va effectuer un bilan diagnostic *via* différents tests, établis par des chercheurs dont les travaux sont à l'interface entre divers domaines comme la psychologie, la psychologie cognitive, la psycholinguistique ou encore la neurologie.

Les capacités de l'enfant testées lors des bilans sont généralement et principalement :

- le langage écrit
- le langage oral et les capacités orales
- les capacités visuo-constructives
- le quotient intellectuel

De plus, il existe une version logicielle de certains tests afin d'évaluer le processus cognitif des sujets potentiellement dyslexiques ou encore des outils permettant le suivi des mouvements oculaires. Leur principal avantage étant de permettre un recueil automatique

des performances et donc un recueil exhaustif du comportement et des erreurs produites (G. Garcia, 2016).

Je ne vais pas faire ici une liste exhaustive de l'action des orthophonistes, ni des noms et du fonctionnement des tests utilisés pour le bilan et la remédiation des dyslexiques, mais je vais en donner quelques exemples. Parmi les tests de lecture, on peut trouver : l'alouette, BELEC (batterie d'évaluation du langage écrit), LMC-R, N-EEL, L2MA (qui permet aussi de tester le langage oral)... Ces tests sont souvent associés à des tests neuropsychologiques, comme NEPSY, STROOP, figure de Rey ou KABC, et des tests de QI tel que le WISC.

L'un des tests de lecture les plus populaires, utilisé par les orthophonistes est le test de l'alouette.

4.2.1. L'alouette

Le test de l'alouette est un test de dépistage qui indique un niveau de performance de lecture à voix haute. Ce test ne considère pas la compréhension du texte, ni son sens mais évalue la capacité de l'enfant à le déchiffrer. Les mots à lire sont parfois rares comme par exemple « hirondeau », le petit de l'hirondelle, et la construction des phrases inattendue :

"Annie, Annie ! Au doigt joli, une églantine laisse du sang :

au bout du temps des féeries viendra l'ennui."

Lors de la passation, l'enfant est informé qu'il doit lire de son mieux à voix haute, que le texte n'a pas vraiment de sens, et qu'il n'a pas à le comprendre.

Ce test est chronométré et dure trois minutes, le texte à lire comprend 265 mots. L'examineur note les résultats dans le "livret" de l'élève et consigne ainsi la vitesse de la lecture et le nombre de mots correctement lus. A partir d'un référentiel, le test de l'alouette permet de déterminer un « âge lexique ». On compare cet âge lexique (ou âge de lecture) à l'âge de l'enfant pour obtenir le retard de lecture.

Cependant, comme le remarque Jacquier-Roux, Valdois, Zorman, Lequette et Pouget (2005, p. 13) :

"Les tests de lecture traditionnels mesurent des indicateurs globaux de performance comme la vitesse de lecture et l'âge lexique (Alouette). S'ils permettent de situer l'enfant par rapport à sa classe d'âge, ils ne donnent aucune information sur la nature des troubles associés et les causes potentielles des difficultés de lecture."

4.2.2. La BALE et l'ODEDYS

Le groupe Cogni-Sciences, composé de chercheurs associés au Laboratoire des Sciences de l'Éducation et au Laboratoire de Psychologie et Neurocognition de Grenoble, fait partie des contributeurs soucieux d'améliorer la précision du diagnostic, en fournissant notamment du matériel pour les professionnels de santé, afin de standardiser les bilans de compétences langagières.

Parmi leurs contributions, on retrouve la B.A.L.E. (Batterie Analytique du Langage Écrit), qui est un outil complet qui analyse et quantifie les troubles du langage écrit et que j'ai déjà évoqué dans le Chapitre 1 (Jacquier-Roux et al., 2010). Cette batterie est à la fois un outil de diagnostic et de suivi. Les professionnels de santé ont participé à son élaboration en la testant puis en l'étalonnant. D'ailleurs des formations sont destinées depuis 2001 à en permettre l'usage par les orthophonistes.

La passation et l'analyse des résultats durant entre 2 et 4 heures, il a été extrait un certain nombre de sub-tests regroupés sous le nom d'Outil de Dépistage des Dyslexies (ODEDYS) (Jacquier-Roux et al., 2005), plus rapide et ciblé sur le dépistage. Cet outil couvre une plus grande tranche d'âge puisqu'il s'adresse aux élèves du CE1 à la 5^{ème}, tandis que la B.A.L.E. concerne ceux du CE1 au CM2.

L'ODEDYS permet d'observer les processus cognitifs. La passation est individuelle, elle comprend la lecture chronométrée et dictée de listes de mots réguliers, irréguliers et de non-mots. Les observables sont : la méta-phonologie (épreuves de suppression et de fusion de phonèmes) ; la mémoire verbale à court terme et la mémoire de travail ; le traitement visuel ; les capacités visuo-attentionnelles. L'objectif est de repérer les déficits, de formuler une hypothèse sur la nature des troubles associés aux difficultés de lecture, mais aussi d'identifier les capacités sur lesquelles l'enfant peut s'appuyer.

Ainsi, avec des évaluations complètes, systématiques et standardisées, il est possible de déterminer plus précisément différents profils de dyslexiques et, par la suite, d'obtenir un meilleur suivi pour chaque individu.

De façon plus générale, il est essentiel de renforcer le lien entre les professionnels de santé et les chercheurs; le partage de leurs travaux et la mise en commun de leurs contributions à l'amélioration du diagnostic, du suivi et de la remédiation, permettra une amélioration de la prise en charge des enfants « dys ». C'est en partant de ce constat que Garcia (2016) propose une plate-forme en ligne de partage entre chercheurs, médecins, professionnels de santé et patients, permettant de mutualiser les connaissances et les travaux de chacun pour améliorer le diagnostic mais aussi la remédiation des enfants « dys ».

4.3. Remédiation et compensation

La remédiation est un des objectifs prépondérants de l'orthophonie classique mais également d'autres méthodes revendiquées comme des variantes de l'orthophonie ou des disciplines à part entière.

4.3.1. Méthode classique

Comment se déroule la remédiation d'un enfant dyslexique avec un orthophoniste ?

Suite au diagnostic, le médecin prescrit le plus souvent une trentaine de séances d'orthophonie. A l'issue de ces séances, l'orthophoniste établit un premier bilan et, au vu de celui-ci, une deuxième prise en charge, de dix à trente séances, peut être envisagée. La fréquence habituelle des rendez-vous est de un à deux par semaine, chacun étant d'une durée moyenne de trente minutes. La rééducation est adaptée à l'enfant, en fonction de sa motivation, de sa fatigue, de son âge, du degré du trouble et enfin, de la disponibilité de la famille.

Les objectifs principaux de l'orthophoniste sont :

- Développer les compétences utiles à l'apprentissage du langage oral et écrit.
- Repérer et renforcer les stratégies de compensation.
- Redonner confiance à l'enfant.

Une séance se construit généralement dans l'échange entre enfant et orthophoniste, à partir d'un thème et d'un objectif pédagogique.

Certaines conditions sont nécessaires pour garantir une séance efficace. D'abord, l'orthophoniste assure la mise en confiance et le respect de l'enfant. Ensuite, il valorise ses apprentissages. Enfin, il veille à mobiliser l'attention de l'enfant et favorise sa disponibilité.

L'orthophoniste va déterminer des objectifs adaptés aux troubles de l'enfant et des activités propices à la remédiation. Pour mettre en place ces activités, il a recours à des supports. Ceux-ci peuvent être ludiques et ne reprennent pas forcément les travaux effectués en classe. Un exemple de support classique est le livre illustré *Frog, where are you?* (La grenouille s'est échappée, en français) de Mercer Mayer (1969). Cette histoire a pour protagonistes un enfant, une grenouille et un chien. Seules les planches dessinées sont présentées, sans texte. L'activité consiste, pour l'orthophoniste et l'enfant à construire ensemble un récit possible à partir des dessins.

L'un des objectifs de remédiation récurrent concerne les capacités phonologiques. En effet, on connaît le lien entre ces capacités et l'activité de lecture. Entraîner la conscience phonologique peut donc s'avérer efficace (Bara, Gentaz, & Colé, 2004). Afin de la renforcer,

le professionnel joue avec la prosodie et la gestuelle qui sous-tendent son discours. Il incite l'enfant à l'écoute et à la reformulation systématique.

Parmi les méthodes pédagogiques utilisées, on trouve la méthode Borel (Borel-Maisonny, 1966). Mise au point par une des fondatrices de l'orthophonie, Suzanne Borel-Maisonny, elle consiste à associer un geste à un son, pour mieux l'identifier. Ce lien direct et visuel entre un son et sa forme graphique favorise la mémorisation des phonèmes. Or, cette capacité à mémoriser les phonèmes fait souvent défaut aux dyslexiques. De plus, les variations autour du geste choisi pour représenter physiquement un phonème permettent de donner des indications sur sa tension, son intensité et sa durée. Cette méthode est présentée, accompagnée de photos de démonstration (voir Figure 4.2) des gestes correspondant aux différents phonèmes dans le manuel *Bien lire et aimer lire - Livre 1: Méthode phonétique et gestuelle Borel-Maisonny* (Sylvestre de Sacy, 2008).

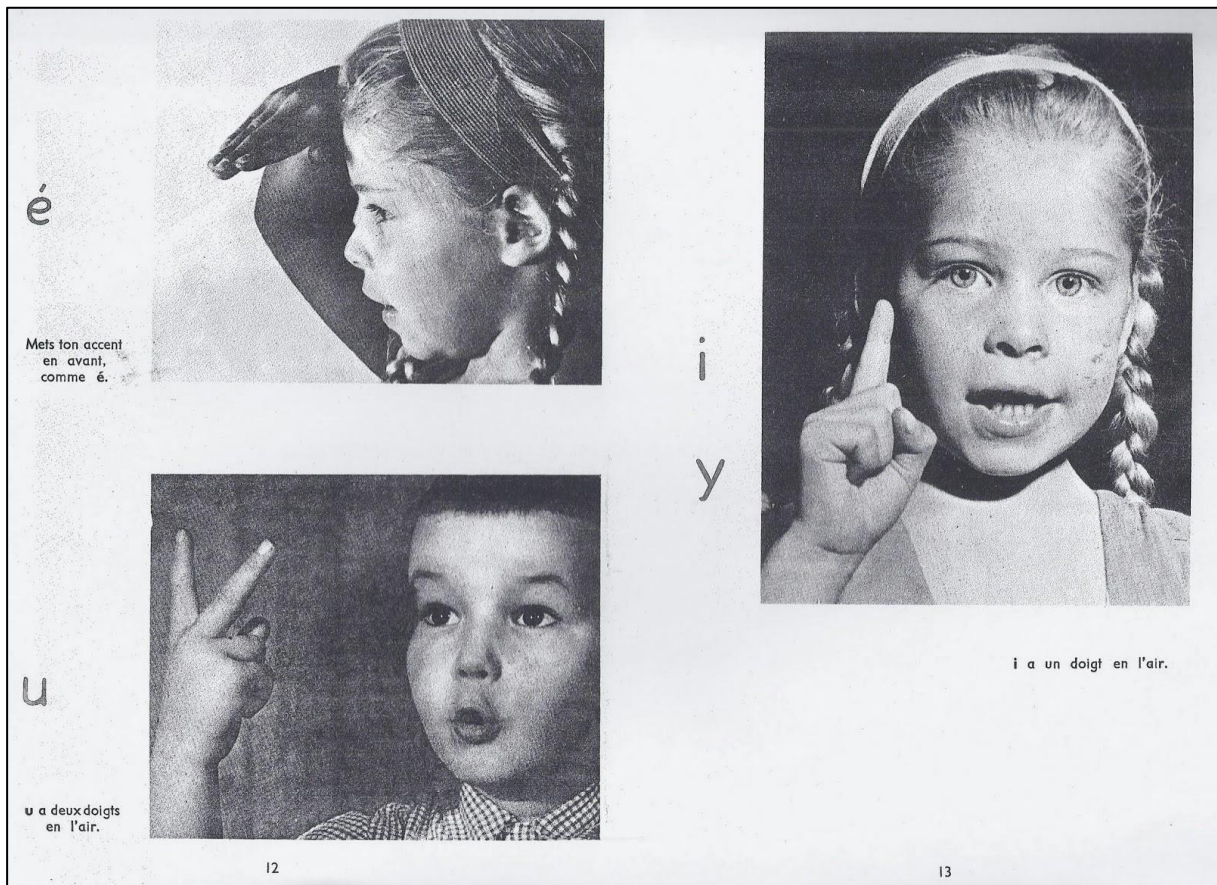


Figure 4.2 Illustration de la méthode Borel, dans le manuel *Bien lire et aimer lire*, extraite du site « école : référence » ("Spinoza1670", 2011).

Il est cependant à signaler que ces différentes méthodes n'ont pour la plupart pas été évaluées scientifiquement, comme expliqué dans le rapport collectif de l'INSERM sur la dyslexie, dysorthographe et dyscalculie (INSERM (dir.), 2007, p.606) :

" la plus grande prudence est requise vis-à-vis de tous les traitements préconisés pour la dyslexie et les troubles des apprentissages, la plupart n'ayant pas été évaluée scientifiquement, ou ayant été évaluée mais donnant des résultats peu différents d'un placebo. Même les méthodes orthophoniques classiques souffrent d'une absence regrettable d'évaluation scientifique. Seules quelques-unes d'entre elles (fondées sur la rééducation des capacités phonologiques et de la lecture) ont été formalisées, structurées et évaluées aux États-Unis et ont ainsi pu être validées scientifiquement.

Outre ces quelques méthodes de type orthophonique qui n'ont pas d'équivalent direct français, quelques autres méthodes se focalisant sur des symptômes associés à la dyslexie (visuels ou moteurs) ont également été validées scientifiquement, par des études souvent isolées qui demanderaient à être répliquées. Il semble qu'il faille en attendre surtout des effets positifs sur les symptômes qui sont la cible du traitement, et seulement de manière indirecte éventuellement sur la lecture. Dans tous les cas, aucune de ces méthodes ne peut être préconisée pour tous les enfants dyslexiques, mais seulement pour ceux qui présentent clairement les symptômes visés."

Si la validité scientifique n'est pas acquise, des résultats positifs sont déclarés, au cas par cas, surtout si les symptômes visés sont précisément diagnostiqués et que la forme de rééducation orthophonique est pertinente. Le professionnalisme de l'orthophoniste, sa capacité à travailler en partenariat avec les autres acteurs du suivi de l'enfant, la motivation des enfants et des parents restent des facteurs de réussite importants.

La remédiation est une activité relativement nouvelle et, globalement, le milieu de la réadaptation est en questionnement et en renouvellement quotidien. C'est un point positif mais également une source de difficultés pour les évaluations scientifiques.

Je vais maintenant présenter quelques méthodes de remédiation alternatives.

4.3.2. Méthodes alternatives

Cette partie est consacré à la présentation de trois méthodes alternatives : la *méthode Tomatis*, la *méthode proprioceptive* et la *méthode Davis*.

Ces méthodes sont souvent citées par des dyslexiques ou parents de dyslexiques qui témoignent de leurs parcours de remédiation sur différents forums de discussions en ligne (voir le forum de l'ANAPEDYS, 2005). Certains témoignages évoquent de bons résultats et d'autres de mauvais, c'est pour cela qu'il me paraît pertinent d'évoquer ces méthodes et d'éventuellement pointer du doigt leurs intérêts et les profils de dyslexiques concernés. Ces méthodes abordent chacune la rééducation dans un champ particulier, ce qui explique que certains cas de dyslexie pourraient en bénéficier alors qu'elles seront ineffectives pour d'autres. L'autre intérêt de ce point sur les méthodes alternatives est que certains résultats

ou certaines idées pourraient amener un angle de réflexion nouveau dans mes propres travaux de recherche.

Dans toutes les situations, une précaution à prendre, pour les patients ou leurs parents, qui souhaitent tenter une méthode de remédiation alternative est de rester en relation avec leurs médecins traitants. De plus, comme nous l'avons vu précédemment avec les méthodes classiques, il est difficile d'évaluer les résultats de ces méthodes d'une manière scientifique. Le rapport collectif de l'INSERM (2007) nous rappelle que les comptes rendus de cas individuels produits par des professionnels ou par des patients n'ont pas valeur de preuve. Plus précisément, les études de groupes demandent à être fondées sur un public en quantité suffisante pour obtenir des résultats statistiques significatifs. Elles se doivent également d'utiliser un groupe contrôle (ou groupe témoin) et de minimiser les effets placebo et Hawthorne en procédant à une répartition des individus dans les groupes en "double aveugle". C'est-à-dire que les participants à l'expérimentation doivent être répartis aléatoirement dans les deux groupes, expérimental et témoin, et qu'ils doivent ignorer de quel groupe ils font partie.

"L'effet placebo est le résultat d'une mesure thérapeutique d'efficacité intrinsèque nulle ou faible, sans rapport logique avec la maladie, mais agissant, si le sujet pense recevoir un traitement actif, par un mécanisme psychologique ou psycho-physiologique.

On appelle effet Hawthorne les résultats, positifs ou négatifs, qui ne sont pas dus aux facteurs expérimentaux, mais à l'effet psychologique que la conscience de participer à une recherche et d'être l'objet d'une attention spéciale exerce sur le sujet ou sur le groupe expérimental." (INSERM (dir.), 2007, p.592)

Enfin, toujours selon le rapport de l'INSERM (2007), pour démontrer l'efficacité d'une méthode, de telles études doivent être menées par plusieurs équipes de recherche indépendantes.

Pour mieux appréhender les leviers d'action qu'utilisent les méthodes alternatives que je présente ici, je propose de revenir sur quelques notions de base dans le volume *Annexes* (Annexe A-2).

4.3.2.1. Méthode Tomatis

La méthode Tomatis est une pédagogie qui ne peut être considérée ni comme un traitement médical, ni comme un moyen pour poser un diagnostic. Cette méthode est principalement fondée sur le rapport entre l'écoute et les capacités langagières, lecture comprise. L'objectif lors du traitement d'un dyslexique sera donc de stimuler son écoute afin d'améliorer son rapport à la lecture. La méthode a été mise au point par Alfred Tomatis (1920 - 2001), médecin français spécialisé en oto-rhino-laryngologie. Il a étudié la relation existant entre l'oreille et la voix, et par extension, entre l'écoute et la communication. Ses découvertes furent établies au laboratoire de Physiologie de la Sorbonne et donnèrent lieu à des communications à l'Académie des Sciences et à l'Académie de Médecine de Paris en 1957 et

1960. Les hypothèses principales issues de ses communications furent nommées « Lois Tomatis » :

- la voix ne contient que ce que l'oreille entend ;
- si l'on modifie l'audition, la voix est immédiatement et inconsciemment modifiée ;
- il est possible de transformer durablement la phonation par une stimulation auditive entretenue pendant un certain temps (loi de rémanence).

La méthode Tomatis joue sur la plasticité des circuits nerveux impliqués dans le décodage et l'analyse des sons, mais également sur ceux de la motricité, de l'équilibre et de la coordination, afin d'aider les enfants à développer des stratégies de compensation face aux troubles de l'apprentissage et du langage. Si elle ne permet pas de les éradiquer, elle a pour but d'amener le sujet à les gérer et à les surmonter.



Figure 4.3 Capture de la vidéo de présentation de l'effet Tomatis (Groupe Tomatis, 2016)

Une des expériences proposées consiste en l'écoute de musique classique, à partir d'un casque audio standard, mais qui est également équipé d'un résonateur émettant des vibrations sur le sommet du crâne, appelé oreille électronique. Cette oreille électronique améliore la mise en action de l'ensemble de l'oreille moyenne. Le patient écoute des enregistrements faisant varier les paramètres du son, de la fréquence et du volume pour stimuler la fonction auditive et ainsi développer leur attention et leur capacité de perception et de discrimination des sons.

Ce que postule cette méthode, c'est que la « gymnastique » musculaire provoquée par l'écoute de hautes fréquences va permettre aux osselets de retrouver de la tonicité. Le vestibule assurerait alors une meilleure coordination des mouvements, de l'écriture et du duo œil / oreille. Enfin, la totalité du spectre des fréquences serait restaurée et l'enfant serait mieux en capacité de différencier les phonèmes et de les associer aux bons graphèmes. Pour plus de détails, voir le site internet du Groupe Tomatis (2016).

Voici ce qu'en dit le rapport de l'INSERM (2007, p.598) :

"La méthode Tomatis est une méthode de stimulation auditive qui a été préconisée pour beaucoup de troubles d'apprentissages et notamment la dyslexie. Cette méthode repose sur une conception de l'audition (Tomatis, 1963) qui n'a aucun fondement scientifique. Un petit nombre d'études indépendantes faiblement contrôlées ont été conduites sur divers groupes d'enfants avec des troubles d'apprentissage, mais elles présentaient d'importants problèmes méthodologiques. Une seule étude a été normalement évaluée et publiée dans la littérature scientifique, et n'a observé aucun progrès sur les mesures de langage (Kershner et coll., 1990). Une méta-analyse de toutes les études ne permet pas de conclure à un effet positif de la méthode (Gilmor, 1999)"

Je rappelle toutefois que les commentaires de ce rapport sur les méthodes traditionnelles ne sont pas très différents.

4.3.2.2. Méthode proprioceptive

Il existe une théorie qui cherche à évaluer le lien entre des anomalies de la proprioception et la dyslexie. Elle renvoie au terme de dysproprioception.

Martins Da Cunha, ophtalmologiste spécialisé dans la rééducation fonctionnelle, a défini le syndrome de déficience posturale (SDP) en 1979, et ses hypothèses ont été publiées à plusieurs reprises (voir Martins Da Cunha, 1987). Selon lui, le SDP, associé à une déficience proprioceptive oculaire serait une cause des troubles de lecture dans la dyslexie développementale. Cette théorie est contestée et n'a à ma connaissance pas été exposée ni évaluée suffisamment dans la littérature scientifique.

Actuellement, un autre ophtalmologiste, Patrick Quercia, est connu pour ses travaux sur la question de la dysproprioception. Quercia et al. (2005), ont mené une étude, publiée dans une revue professionnelle française, qui rapporte que 100 % des enfants dyslexiques examinés présentent un syndrome de déficience posturale. Par exemple, un enfant se sent droit alors qu'il est de travers, mais cette étude ne fait aucune référence à un groupe témoin.

Les corrections proposées par Quercia portent sur la cohérence entre proprioception, posture et régulation oculomotrice. Elles comportent trois types d'intervention :

- le port permanent de lunettes à prismes qui modifient la direction du regard régularisant le fonctionnement des muscles oculomoteurs et normalisant la localisation spatiale des mots à lire ;
- l'usage de semelles orthopédiques qui corrigent l'appui plantaire et en particulier celui du gros orteil permettant une posture équilibrée ;
- des mouvements de rééducation posturale et de techniques visant à récupérer une bonne respiration abdominale.

Malgré cette étude, parue dans le Journal Français d'Ophtalmologie, la relation entre dyslexie, SDP et proprioception reste à approfondir. Sachant notamment que les informations issues du système proprioceptif ne sont pas actuellement mesurables. La question de savoir si c'est le traitement des informations proprioceptives ou alors le système proprioceptif lui-même qui dysfonctionne n'est pas résolue. Quercia a publié un état de la recherche sur la question de la dysproprioception en 2011 (Patrick Quercia, 2011).

Voici ce que dit le rapport de l'INSERM (2007, p.604) sur cette méthode :

"Une méthode de rééducation issue de la théorie proprioceptive a été publiée en France à destination des ophtalmologistes (Quercia et coll., 2004). [...] Les motivations théoriques conduisant à associer ces trois types d'intervention restent relativement obscures. On ne sait pour l'instant rien de l'efficacité de cette méthode. Un essai clinique est en cours.

Sur la base des données disponibles sur les rééducations motrices et des réflexes archaïques qui semblent relativement voisines, on peut se hasarder à faire l'hypothèse que le syndrome de déficience posturale est une autre manière de définir les troubles moteurs et d'équilibre évoqués précédemment, que ce syndrome est associé à la dyslexie (ainsi qu'à tous les troubles développementaux), quoique certainement pas avec une comorbidité de 100 %. Et si le traitement préconisé a réellement un effet sur le syndrome de déficience posturale, alors il peut éventuellement produire des effets indirects bénéfiques chez les enfants qui en souffrent."

4.3.2.3. Méthode Davis

La méthode Davis est issue des travaux de Ronald Davis, il n'a pas une formation scientifique mais, lui-même étant dyslexique, il a étudié la question toute sa vie afin de trouver des stratégies de compensation. La principale hypothèse de sa méthode est qu'un dyslexique possède des capacités supérieures de réflexion pour des activités autres que la lecture, il s'attache à mettre en valeur celles-ci et à compenser les difficultés de lecture. Ses hypothèses et sa méthode sont présentées dans son ouvrage de base "The gift of Dyslexia" avec le sous-titre "Why some of the smartest persons can't read and how they can learn." (Davis & Braun, 2010). Selon Davis, les dyslexiques ont un mode de raisonnement par image, un sens artistique et des représentations mentales très développées mais ils peinent à suivre une représentation linéaire. De plus, les dyslexiques aborderaient les mots, les lettres et les chiffres comme des objets réels qu'ils feraient tourner dans leur esprit et qui auraient la même portée sémantique quel que soit leur sens et leur orientation. Selon ce principe, les dyslexiques auraient du mal à interpréter des objets abstraits et ils éprouveraient une désorientation devant les mots qui n'évoquent pas pour eux une image ou un sens direct.

Ces hypothèses permettent d'expliquer les symptômes, apparaissant pour certains dyslexiques, que sont les omissions, les substitutions de lettres ou encore la difficulté à différencier des lettres symétriques entre elles (comme b, p, q et d).

Les exercices de remédiation de la méthode Davis visent donc à contrôler et à réduire cette "désorientation" des dyslexiques. Par exemple, les enfants utilisent un alphabet en pâte à modeler afin de donner un aspect concret aux lettres, ils travaillent leur centre d'attention et apprennent à associer des images aux mots abstraits. Ces exercices sont appuyés également par un travail de la kinesthésie, donc de la conscience de sa position et des mouvements de son corps.

La méthode Davis a été peu étudiée dans la littérature scientifique, les publications concernant la méthode sont répertoriées sur le site internet de la Davis Dyslexia International Association (Davis Dyslexia Association International, 2016). A part l'étude de Pfeiffer et al. (2001), qui concerne 86 élèves, les huit autres études citées sur la page concernent un public réduit, de 1 à 20 élèves. Cependant, chacune conclut sur un effet bénéfique de cette méthode de remédiation.

Enfin, je note que certaines demandes et témoignages des clients de Médialexie qui ont encouragé le départ du projet LICl vont dans le sens des hypothèses de Davis, avec la supposition d'une faculté accrue à utiliser des représentations spatiales, non-linéaires et une difficulté à maîtriser les mots abstraits pour les dyslexiques.

4.3.3. Bilan sur les méthodes de remédiation

A partir de la définition de la dyslexie, qui reste assez large, la voie à des recherches multidirectionnelles est ouverte dont celles de causes physiologiques. A partir des exemples précédents, je remarque que les causes de la dyslexie n'étant pas fixées scientifiquement, surtout du fait de la multiplicité des origines possibles pour ce trouble, les propositions de remédiations s'orientent vers des voies diverses. Chacune de ses voies adresse un sous ensemble des différents symptômes possibles de la dyslexie.

La méthode Tomatis est focalisée sur la reconnaissance des sons afin de minimiser la difficulté de mise en mémoire des associations graphèmes/phonèmes. La méthode proprioceptive est centrée sur la qualité de la posture et l'adaptation de la motricité oculaire nécessaire à une bonne lecture. La méthode Davis sera bénéfique aux dyslexiques ayant des difficultés avec l'ordre des lettres, la symétrie des lettres et plus généralement l'organisation spatiale et l'orientation des mots et du texte.

En résumé, ces méthodes de remédiation ou de correction vont d'un travail sur la vision, l'écoute et la voix à des hypothèses de rééducation ou de reprogrammation du traitement de l'information par le cerveau.

Chapitre 5. Les logiciels d'aide et de compensation au service des dyslexiques

Ce chapitre est consacré à la revue, non exhaustive, des outils informatiques de remédiation pour les dyslexiques. Il existe de nombreux types de logiciels destinés à l'aide aux dyslexiques : correcteurs automatiques, synthèse vocale, dictée vocale, etc... La plupart ont fait l'objet d'un développement pour s'inscrire dans la barre d'outils de Médialexie. La connaissance et la compréhension des outils existants permettront de mieux cibler la nécessité de l'outil LICl et la contribution qu'il peut apporter dans le domaine des logiciels d'aide et de compensation.

5.1. Des solutions pertinentes ?

La question de la pertinence d'une assistance technologique se pose pour l'ensemble des acteurs gravitant autour des élèves en difficulté : les parents, en premier lieu puisqu'ils manquent souvent d'informations, les enseignants, les professionnels de santé, et enfin, les chercheurs. En effet, en plus des réticences et des difficultés qui affectent les dyslexiques suivant des séances d'orthophonie, ou d'autres méthodes proposées par des professionnels de santé, l'aide par logiciel pose de nouvelles questions :

- Une première interrogation concerne l'éventuel arrêt de progression engendré par l'utilisation d'un ordinateur : Est-ce qu'en utilisant un outil de compensation automatisé l'élève ne va pas stagner dans ses apprentissages ?
- Une autre question concerne la position de l'élève en classe : Un élève ayant recours à des assistances technologiques ne va-t-il pas être stigmatisé ? Pourrait-il même être avantagé vis-à-vis de ses camarades ?

Concernant la première question, d'après l'origine neuro-développementale de la dyslexie, discutée dans le Chapitre 1, il ne s'agit pas d'une maladie dont on guérirait définitivement après suivi d'un traitement adéquat mais d'un trouble, que l'on peut seulement réussir à compenser, avec plus ou moins de succès. Reste alors seulement l'interrogation suivante : Est-ce que développer une compensation cognitive est plus intéressant que d'utiliser une compensation technique ? Ces compensations peuvent-elles être complémentaires ou sont-elles concurrentes ?

Quant à la deuxième interrogation, il est certain que les élèves dyslexiques sans assistance en classe se trouvent souvent en difficulté. Lorsqu'ils suivent le cursus normal, ils peuvent se retrouver isolé et/ou incompris, parfois par leurs professeurs. Si un cursus aménagé leur est

proposé, ils sont aussi mis à l'écart, ce qui peut également être mal vécu, selon les individus et leur niveau de difficulté. L'utilisation d'outils spécifiques en classe ne favorisera peut-être pas leur intégration ou plutôt inclusion dans la classe mais ne les mettra pas davantage à l'écart. J'ai eu l'occasion, au cours du projet LICl, d'être sensibilisé à cette question par une pièce de théâtre écrite par un dyslexique, sur le sujet de l'inclusion en classe et de l'usage de logiciels de compensation. Cette pièce de théâtre, "La vie entre les mots" est interprétée par la Compagnie des Dys (2009) et a été écrite par Benjamin Cognet. Elle a été produite par Médialexie et il existe une version court métrage disponible en ligne (Cognet, 2010).

Pour finir, je développerai plus en détail dans le point 5.2 l'interrogation concernant l'équité entre les élèves dans des classes mixtes comprenant des élèves normo-lecteurs et des élèves dyslexiques équipés d'une aide logiciel.

5.2. Logiciels dédiés aux dyslexiques

Depuis une cinquantaine d'années, l'essor de l'informatique a permis l'apparition de nombreux programmes dans le domaine du TAL (Traitement Automatique des Langues). Ces programmes font appel à des connaissances, ou même directement à des ressources linguistiques afin de résoudre des problèmes liés au langage naturel. A l'origine, ils ont été utilisés pour réaliser automatiquement certaines tâches afin de gagner du temps ou même de remplacer des humains, comme pour les centres d'appel téléphonique avec la synthèse vocale et la reconnaissance vocale. A partir du début des années 2000, certains de ces outils ont été adaptés dans le but d'apporter une aide aux personnes atteintes de troubles du langage. Ces outils sont désignés en anglais sous le terme ACT (*Assistive Computer Technology*). Les premiers utilisés concernant l'aide aux dyslexiques sont : la synthèse vocale, la reconnaissance vocale (utilisée pour piloter l'ordinateur), la dictée vocale (utilisée pour rédiger un texte) et la correction orthographique automatique. Ces outils ont été améliorés au fur à mesure et spécialisés pour cet usage. Les autres outils importants pour l'aide aux dyslexiques, qui existaient auparavant, sont : le résumé automatique, la correction grammaticale, la prédiction de mots et de phrases, et enfin, les outils de conception de cartes conceptuelles ou heuristiques. L'entreprise Médialexie a rassemblé, depuis une dizaine d'années déjà, l'ensemble de ces fonctionnalités dans une barre d'outils dédiée aux utilisateurs dys (Médialexie, 2013).

Différentes études ont été menées, à la fois pour démontrer l'efficacité des outils de compensation pour les dys (Delamare, 2012; Elkind, 1998; Gotesman & Goldfus, 2009; MacArthur, 2009; MacArthur & Cavalier, 2004), pour recenser leurs possibilités (Couteret, 2009; Delamare, 2012; Hecker & Engstrom, 2005), mais aussi afin de savoir s'ils pouvaient être utilisés en milieu scolaire et en condition d'examen (Couteret, 2009; Gotesman & Goldfus, 2009; MacArthur & Cavalier, 2004). Gotesman et Goldfus (2009) ont entrepris une revue de la littérature sur l'efficacité des outils de compensation (*Assistive Technology*). Elles

ont relevé que ces outils sont bénéfiques à de nombreuses activités d'apprentissage : décodage, compréhension et fluidité de lecture, reconnaissance des mots, épellation et stratégie de lecture, pour organiser et synthétiser l'information, pour réviser/corriger dans le cadre de la rédaction d'un texte et enfin, pour écrire.

Je détaille par la suite le rôle et l'efficacité de certains de ces outils et je reviendrai sur les logiciels de résumé automatique dans le 0.

5.2.1. Synthèse vocale

L'un des premiers et plus évidents outils détournés pour l'aide aux dyslexiques est la synthèse vocale. L'idée est simple, puisque les dyslexiques n'ont *a priori* pas de difficultés à l'oral, c'est le programme qui va lire le texte à voix haute pour l'utilisateur, l'enjeu est d'obtenir une lecture la plus fluide et agréable possible. Pour ce faire, l'outil doit dans un premier temps déterminer quels mots ont été utilisés dans le texte, afin de faire appel à la bonne prononciation dans les cas d'ambiguïtés, notamment pour les homographes. Par exemple, l'outil doit être capable de déterminer si « couvent » désigne une institution religieuse (\ku.vã\) ou s'il s'agit d'une flexion du verbe couvrir (\kuv\ (Laurent, 2011).

La plupart des synthèses vocales présentent une interface très simple, une fenêtre disposant d'un bouton de lecture vient se superposer aux autres fenêtres et il suffit de sélectionner du texte dans n'importe quelle autre fenêtre à l'écran puis d'appuyer sur le bouton pour qu'il soit lu. Le terme de lecteur d'écran est parfois employé. Les lecteurs d'écran sont destinés à assister toutes les personnes en difficulté pour lire : les dyslexiques, mais aussi et surtout les malvoyants et aveugles. Un lecteur d'écran peut faire appel à une synthèse vocale ou encore retranscrire le contenu de l'écran sur une plage braille. Cette solution d'aide présente beaucoup d'avantages et peu d'inconvénients pour les dyslexiques (Couteret, 2009; Delamare, 2012). En effet, les synthèses vocales sont de plus en plus fluides et agréables à l'écoute. Il est par contre délicat d'y avoir recours en classe. L'élève dyslexique devra porter un casque pour éviter d'entendre les bruits extérieurs et ne pas déranger les autres élèves, ce qui implique qu'il se retrouvera lui-même isolé. Soulignons également que certains chercheurs voient la synthèse vocale comme un outil utile mais très incomplet, car elle ne permet pas la compensation du déficit de la mémoire de travail :

"Though there are various tools existing for text to speech conversion, the short term memory problem can only be compensated by simultaneously exploiting both visual and audio processing" (Nandhini & Balasundaram, 2011, p.246)

Selon Sampath, Sivaswamy et Indurkha (2010), une manière particulière d'articuler permet d'améliorer la compréhension des enfants dyslexiques. Ce style de discours est appelé "clear speech", ce qui correspond à une volonté du locuteur à être plus intelligible et qui advient habituellement dans une situation bruyante ou lorsque le récepteur maîtrise mal la langue utilisée. Toujours d'après Sampath, Sivaswamy et Indurkha (2010), le "clear speech"

équivalent, techniquement, à une diminution du débit de la parole, une plus faible coarticulation, une exagération de différenciation entre les voyelles, une augmentation de la tessiture (usage accentué des aigus et des graves) et des pauses plus importantes. Les outils de synthèse vocale répondent justement à plusieurs de ces caractéristiques. Je note que les dyslexiques mentionnés ici, sont ceux atteints d'un déficit phonologique, et peut-être même une sous partie de ceux-ci, puisque le principe des capacités intactes pour le langage oral chez les dyslexiques est remis en cause, tout comme c'était le cas dans l'article de Lalain et al. (2012).

Au niveau technique, les logiciels de synthèse vocale s'appuient sur des bibliothèques sonores contenant une grande quantité de mots et de phrases lus par un lecteur humain (femme ou homme, souvent au choix). Ces lecteurs ont passé un temps important en studio à enregistrer la plus grande quantité possible de phrases, mots, syllabes et phonèmes, pour permettre ensuite de reconstituer tout mot possible avec des fractions de leurs enregistrements. On appelle ces lecteurs des "voix", auxquelles on donne un nom (ou plutôt un prénom). Les créateurs d'outils de synthèse vocale proposent donc leur propre interface et achètent les droits de ces voix, puis vendent leur logiciel.

Le système d'exploitation *Windows* est, depuis quelques années, vendu avec une synthèse vocale, appelée le "narrateur". Ce narrateur permet de lire le contenu des fenêtres, boîtes de dialogue et messages de *Windows*, y compris lorsque le système n'est pas encore démarré, comme lors d'une récupération système. Cet outil est avant tout un aménagement prévu pour les utilisateurs malvoyants.

De nombreux logiciels payants permettent d'assurer la fonction de lecteur d'écran, grâce à la technologie de synthèse vocale : *GhostReader*, *Wordsprint*, *Speakback*, *Kurzweil 3000*... Il existe aussi des logiciels gratuits, comme *Natural Reader*, *Balabolka*, *TextAloud* ou *DSpeech*. Dans l'exemple de *Balabolka* (Morozov, 2016), l'outil permet de gérer la lecture par synthèse vocale avec différentes options : mise en forme du texte dans la fenêtre de lecture, surlignage synchronisé entre les mots lus et le son, sauvegarde au format audio du texte lu, etc. Tout ceci à condition, évidemment, d'avoir des "voix" installées sur son ordinateur. Par défaut, le logiciel s'appuie sur la voix de *Microsoft* incluse dans *Windows*. Pour la plupart de ces logiciels, l'utilisateur peut contrôler la vitesse de lecture, la hauteur de voix, la longueur de texte lu sans pause, l'échelle de surlignage (mot, proposition, phrase, paragraphe) et sa couleur (Elkind, 1998).

Enfin, des logiciels d'aide payants plus complets, comprenant une compilation d'outils sont aussi disponibles. C'est le cas de la barre d'outils Médialexie mais aussi de *WordQ*, *Wody* ou encore *ClaroRead*. Concernant l'outil de Médialexie, appelé *Lecteur Médialexie*, il met l'accent sur le suivi visuel du texte en synchronisation avec la voix de synthèse, en affichant dans son interface l'élément en cours de lecture.

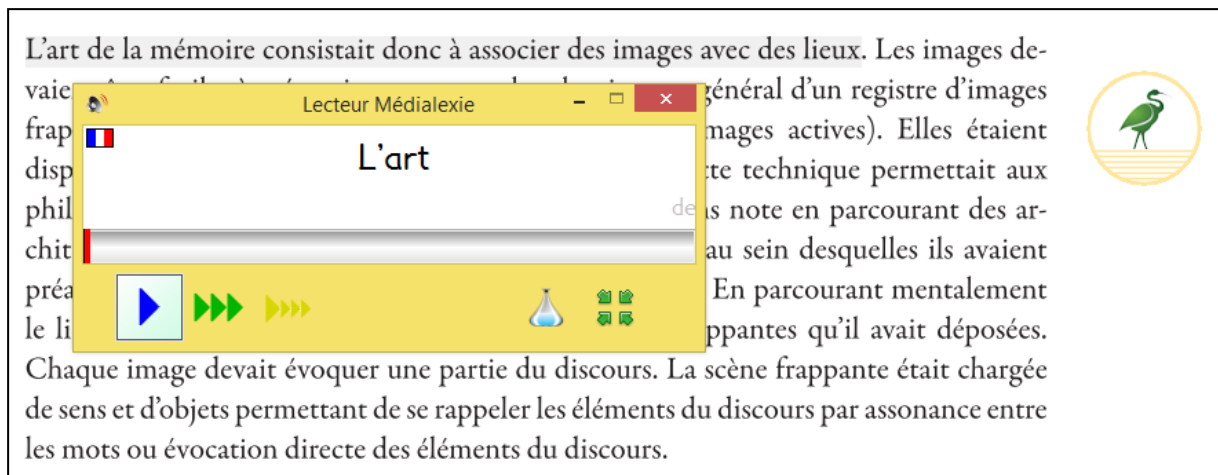


Figure 5.1 Illustration du fonctionnement du Lecteur Médialexie (Médialexie, 2015b).

Le *Lecteur Médialexie* est en fonctionnement sur la Figure 5.1. On peut voir le texte en court de lecture, sélectionné sous la fenêtre du lecteur et, à droite, le bouton central de la barre d'outils Médialexie qui fait office de menu pour accéder aux autres fonctionnalités. Une prévisualisation du prochain mot à lire (et du mot précédent) apparaît également, en plus petits caractères. De plus, le *Lecteur Médialexie* permet de choisir entre la lecture continue de la phrase (flèche bleue), la lecture mot à mot (flèches vertes) ou l'épellation du mot (flèches jaunes). Ces fonctions participent à la remédiation puisqu'elles attirent l'attention de l'utilisateur sur la forme écrite du mot en même temps qu'il en entend la prononciation, ce qui favorise la mémorisation de sa forme.

Elkind (1998) a rédigé un rapport concernant l'intérêt de la synthèse vocale pour l'aide à la lecture. Il a notamment mené une expérimentation avec un public de 26 étudiants en difficultés de lecture, issus de l'équivalent américain d'un lycée professionnel. Ceux-ci ont effectué des tâches de lecture en utilisant l'outil de synthèse vocale *Kurzweil 3000*. Cet outil crée une copie de la page à lire entière dans la fenêtre de lecture, afin de conserver la mise en page, la mise en forme et les différentes images ou figures, tout en proposant la lecture et le surlignage synchrone du texte. De plus, il inclut une zone de prise de notes attachée à chaque document, la possibilité de placer des marqueurs dans le texte, d'obtenir la syllabation ou l'épellation d'un mot et d'accéder à un dictionnaire. Dans son expérimentation, Elkind (1998) s'est focalisé sur l'évaluation de trois composants : la vitesse de lecture, la compréhension de texte et l'endurance (affectée par le stress et la fatigue). La vitesse et la compréhension ont été évaluées grâce à des tests standards et l'endurance grâce à des interviews et une grille de critère réflexive remplie par les participants. Cette expérimentation est soutenue par des pré-tests, un entraînement au maniement de l'outil, une évaluation de la performance des étudiants sur une tâche sans l'outil et une tâche avec l'outil, et enfin, une évaluation réflexive de l'outil. Les étudiants en difficulté de lecture lisent seulement 149 mots par minute de moyenne contre 250 pour les autres étudiants. Les résultats de l'expérimentation permettent à Elkind (1998) de conclure que l'outil améliore

significativement la vitesse de lecture et la compréhension. De plus, l'outil permet aux étudiants de lire plus longtemps en réduisant la fatigue et le stress. Cependant ces résultats ne sont pas valides pour tous les mauvais lecteurs : ceux qui ont des difficultés à traiter les informations orales et visuelles et ceux qui lisent plus rapidement que la machine, voient leurs performances dégradées.

Gotesman et Goldfus (2009) ont aussi mené une expérimentation sur l'usage de la synthèse vocale pour aider des étudiants souffrant de troubles des apprentissages (*learning disabilities*). Celle-ci impliquait 14 étudiants du Levinsky College of Education, à Tel Aviv et a duré 20 mois. Les étudiants ont utilisé l'outil de synthèse vocale *TextAloud* pour les aider pour leur cours de langue anglaise. Les étudiants ont exprimé 96% de satisfaction dans un questionnaire réflexif sur leur usage de l'outil. De plus, l'outil a permis d'améliorer leur reconnaissance des mots, leur compréhension de texte et leur fluidité de lecture. Ils ont appris de nouvelles stratégies de lecture et augmenté leur motivation à lire en anglais. Ces améliorations estimées par les étudiants sont aussi soutenues par des données concrètes : augmentation de la participation en classe, amélioration de la qualité du travail à la maison et surtout obtention de meilleurs "grades" aux examens. Plus précisément, les notes obtenues aux trois examens majeurs contenus dans la période d'expérimentation ont augmenté significativement vis-à-vis des autres élèves et ce alors que le niveau exigé aux examens était de plus en plus élevé, dans la logique de la progression scolaire habituelle.

5.2.2. Dictée vocale

Le terme de "dictée vocale" désigne un outil logiciel permettant de dicter du texte à la machine par l'intermédiaire d'un micro. L'outil doit être capable d'interpréter les ondes sonores captées afin de les transformer en une suite de phonèmes puis d'en déduire le ou les mots correspondants qui ont été produits par le locuteur. L'appellation "reconnaissance vocale" est parfois employée, mais elle désigne un procédé plus large correspondant à tous les outils dont les actions sont déclenchées par la parole et pas seulement l'usage dans l'objectif de rédiger un texte.

Les outils de dictée vocale ont d'abord permis de dicter des mots un à un. Le traitement de la parole à l'échelle d'un discours entier exige de résoudre des problèmes supplémentaires, comme la segmentation du signal sonore reçu en mots, la gestion des répétitions et des bégaiements, ou encore, la prise en compte des liaisons (L'Haire, 2011). Les outils de dictée vocale sont capables de traiter un flot de paroles continu depuis une version du logiciel Dragon (Nuance, n.d.) sortie en 1997 (MacArthur & Cavalier, 2004). Ainsi, l'utilisateur d'un tel outil pouvait dicter des phrases entières et les voir retranscrites sur l'écran en direct, sans avoir à adapter son débit à la machine. Cette technologie est devenue ensuite de plus en plus performante et il existe de nombreux outils de dictée vocale différents. Son usage impose toutefois quelques précautions pour être optimal. Il est nécessaire de bien articuler,

de dicter la ponctuation et la mise en forme, en disant par exemple "virgule", "point" ou encore "à la ligne" et "nouveau paragraphe". L'utilisateur doit également éviter les bruits et toute production sonore hors du texte à dicter, mais ce problème peut être fortement réduit en utilisant une fonctionnalité telle que le micro ne soit actif que lorsqu'on appuie sur un bouton, ou une touche du clavier. Une autre difficulté que doit gérer ce type d'outil est la différenciation des mots homophones. Pour cela, mais aussi pour assurer l'obtention de phrases cohérentes en sortie de programme, un correcteur grammatical est généralement inclus en fin de chaîne de traitement. Enfin, certains mots peuvent être mal interprétés, ce défaut est corrigé grâce à la capacité d'apprentissage des outils de dictée vocale. Il ne s'agit pas directement d'un apprentissage machine, mais d'une prise en compte des corrections apportées par l'utilisateur au fur et à mesure de ses relectures lorsqu'il utilise l'outil. Cet apprentissage est donc nécessaire au bon fonctionnement de la dictée vocale.

Généralement, la lecture d'un ensemble de phrases assez complexes est nécessaire pour le premier calibrage de l'outil. C'est le cas avec le logiciel Dragon. L'équipe de Médialexie avait constaté que cette phase de calibrage met en difficulté les utilisateurs dyslexiques. Cette difficulté est telle qu'il arrivait même à certains de ne pas utiliser le logiciel qu'ils avaient acheté. Ainsi, dans l'outil de dictée vocale de Médialexie, cette phase de calibrage a été revue et les phrases devant être lues sont moins longues, moins complexes, bien espacées les unes des autres et font appel à un vocabulaire simple.

MacArthur et Cavalier (2004) ont étudié la possibilité d'utiliser la technologie de dictée vocale pour compenser les troubles de l'apprentissage. Ils souhaitent plus précisément déterminer si leur utilisation dans le cadre d'un examen était envisageable. Deux problèmes se posent : (1) Ces outils sont-ils efficaces ? (2) Ces outils ne vont-ils pas donner un avantage aux élèves en difficulté sur les élèves qui n'y auront pas accès ? Notons que ces questions font parties de celles que j'ai posées dans ma réflexion introduisant cette partie.

Selon des précédentes recherches, la lecture à voix haute des énoncés d'un examen permet d'aider les élèves en difficultés sans avoir d'influence sur les résultats des autres élèves :

"(Tindal, Heath, Hollenbeck, Almond & Harniss, 1998) found that reading math questions aloud to students improved the scores of students with reading disabilities but did not improve scores for those students without disabilities"(MacArthur & Cavalier, 2004, p.44)

De manière générale l'idée des logiciels de compensation est de lever la barrière entre les élèves, sans donner un avantage aux élèves atteints de troubles des apprentissages. A ces fins, il est nécessaire d'agir sur des facteurs qui ne sont pas évalués, comme pour l'exemple de la lecture à voix haute de l'énoncé, donné dans la citation ci-dessus. Autre exemple : dans un exercice de rédaction, on apporterait une aide grammaticale et orthographique sur l'activité d'écriture, tout en évaluant les capacités de l'élève à trouver des idées, les organiser, construire des phrases cohérentes et ensuite effectuer des

modifications/révisions. L'élève pourrait donc théoriquement avoir accès à un outil de dictée vocale, compensant son handicap, sans améliorer sa performance dans les champs évalués.

Graham, Berninger, Abbot, Abbot et Whitaker (1997) ont réalisé une étude avec des élèves scolarisés en classes de 1er à 6ème grade aux États-Unis, ce qui correspond aux classes du CP à la 6ème. Ils ont évalué les capacités des élèves à épeler des mots ainsi que leur performance d'écriture de mots isolés. Puis, les élèves ont réalisé une tâche de rédaction. Les résultats montrent que de mauvaises performances dans les tâches d'écriture de mots isolés et d'épellation sont en corrélation à la fois avec des rédactions plus courtes et moins qualitatives, selon les critères de l'étude. D'autres études, citées par MacArthur et Cavalier (2004), ont montré des gains significatifs dans une tâche de rédaction lorsqu'un élève dicte son texte à un rédacteur plutôt que de l'écrire lui-même. Ces gains concernent la longueur du texte pour tous les élèves et ils concernent également la qualité lorsqu'il s'agit d'élèves atteints de troubles des apprentissages. Par contre, ces gains seraient faibles lorsque l'élève n'a pas la possibilité de relire et réviser sa rédaction. Ces résultats confirment l'hypothèse de MacArthur et Cavalier (2004) selon laquelle la dictée d'un texte pourrait permettre de compenser les difficultés des élèves sujets à des troubles des apprentissages. De plus, le recours à une aide humaine, pour rédiger à la place des élèves en difficulté était alors déjà permis dans 48 états (des États-Unis).

Pour répondre aux questions (1) et (2), que j'ai exposées plus haut, MacArthur et Cavalier (2004) ont mis en place une expérimentation afin de comparer les productions écrites des élèves avec et sans troubles des apprentissages dans trois conditions :

- Sans assistance humaine ni technique ;
- Avec l'aide d'un rédacteur humain ;
- Avec l'aide d'un outil de dictée vocale.

L'aide d'un rédacteur humain est évidemment la plus fiable pour la qualité du texte, la révision du texte est possible et peu d'erreurs orthographiques ou grammaticales seront produites. Par contre, c'est une méthode extrêmement onéreuse qui ne peut pas être mise en place pour tous les élèves en difficultés dans le contexte scolaire quotidien. L'usage d'un dictaphone serait moins coûteux mais ne permettrait pas la révision du texte. Enfin, la technologie de dictée vocale est encore moins coûteuse, et même si plus d'erreurs peuvent subsister, la relecture et la révision sont faciles.

L'expérimentation de MacArthur et Cavalier (2004) incluait 31 lycéens, dont 21 avec troubles des apprentissages. Après une phase de plusieurs séances d'entraînement à l'usage de l'outil, ces élèves ont accompli une tâche de rédaction pour laquelle leurs productions ont été anonymisées et évaluées suivant des critères indépendants de la capacité mécanique d'écriture (idées, organisation, vocabulaire...). D'après les conclusions de cette étude, l'outil de dictée vocale est suffisamment performant pour être utilisé dans un contexte d'examen

scolaire (87% d'exactitude de reconnaissance des mots prononcés), mais surtout l'outil permet de gommer les inégalités entre les élèves comme souhaité. En effet, les élèves sans difficulté ne montrent aucune différence significative de performances entre les trois conditions, tandis que les élèves avec troubles des apprentissages ont produit des textes de meilleure qualité lorsqu'ils dictent que ce soit à un rédacteur humain ou au logiciel. C'est avec le rédacteur humain que les rédactions ont la meilleure qualité, mais compte tenu des avantages du logiciel, celui-ci est bien la meilleure option pour l'aide aux élèves en difficulté lors d'un examen. Tout d'abord, l'élève travaille de manière indépendante avec le logiciel, ce qui est plus pratique mais implique aussi des avantages psychologiques. En effet, obtenir de bons résultats sans l'aide d'une autre personne semble plus gratifiant. Ensuite, la technologie va s'améliorer au fil du temps, les dictées vocales sont aujourd'hui beaucoup plus permissives tout en étant plus performantes. Enfin, l'élève progresse dans sa pratique de l'outil et devient de plus en plus efficace à force d'usage.

5.2.3. Représentations et modalités

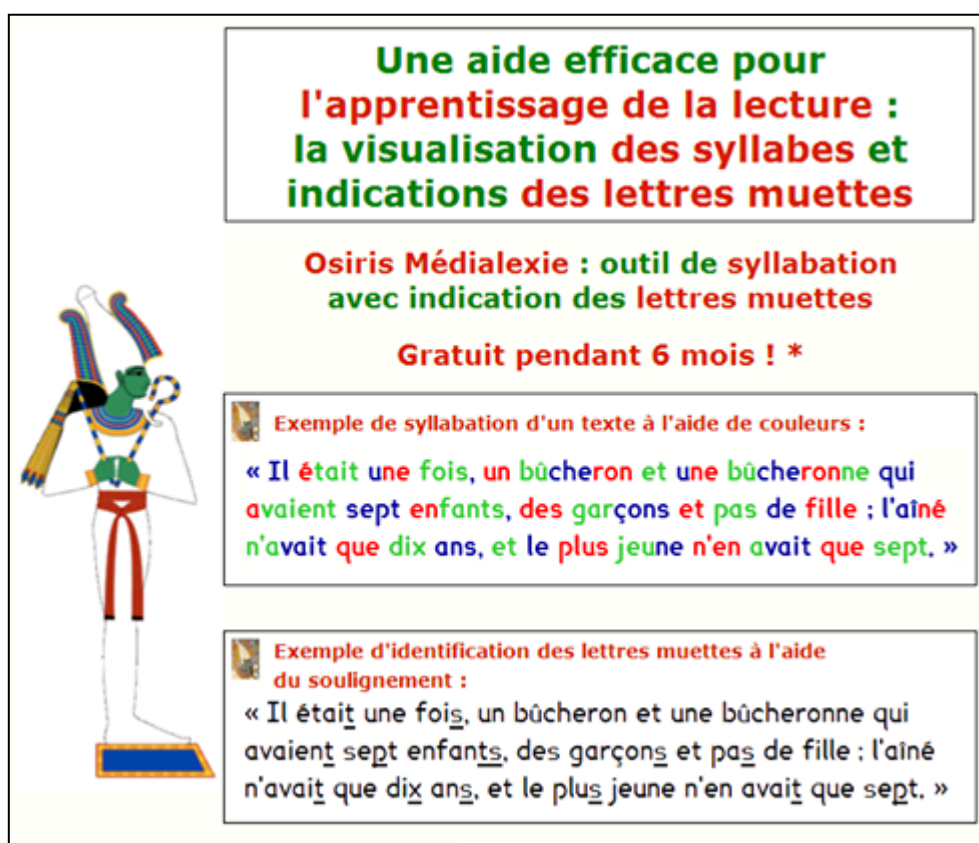
Parmi les chercheurs s'intéressant à la dyslexie, outre ceux qui essayent d'en déterminer l'origine ou d'en cerner les différentes formes et manifestations, nombreux sont ceux qui s'intéressent à la remédiation. Beaucoup s'accordent pour dire que le point clé de la remédiation pour un dyslexique est d'arriver à lire davantage :

"all researchers agree that the main challenge is remediation (that is, how to get dyslexic children to read more words in less time). Indeed, a dyslexic child reads in 1 year the same number of words as a good reader in 2 days" (Zorzi et al., 2012, p.11455)

En mettant de côté la compensation, un des enjeux de la remédiation est donc de permettre aux dyslexiques de lire de façon plus agréable. Pour cela, il est possible soit d'aménager le texte lui-même, en jouant sur la mise en page, la mise en forme ou encore la police, soit de faire appel à d'autres modalités pour accompagner le texte. La multimodalité est importante car son usage permet de contourner les problèmes des dyslexiques et de les soutenir dans leurs apprentissages. Différents travaux de recherche mais aussi de développement d'outils visent à fournir des environnements multimodaux pour l'aide aux dyslexiques (Ahmad et al., 2012; G. Garcia, 2016; Magnan & Ecalle, 2006). Les éléments que j'ai déjà présentés dans le Chapitre 1 montrent que le mode oral est normalement perçu par les dyslexiques. Le mode graphique, avec sa disposition, ses formes et ses couleurs peut également être bénéfique, comme avec l'exemple des cartes heuristiques (Caro Dambreville, 2014). Puisque l'apprentissage *via* des supports multimodaux est bénéfique à la plupart des apprenants, de nombreuses initiatives visent à rendre la pédagogie du français plus ludique, grâce à l'usage de la vidéo, de l'audio ou de l'image, en classe comme sur internet. Le site de Bigras-Dunberry (2012) en est un bon exemple, il a pour objectif d'enseigner des constructions linguistiques particulières grâce à des vidéos ludiques mêlant images, sons et mots manipulés physiquement à l'écran pour mettre en évidence les phénomènes

morphologiques expliqués. Il est également possible d'imaginer des dispositifs ou d'autres sens seraient mobilisés, comme l'ouïe ou le toucher. La remédiation par les jeux vidéo et la 3D est aussi une approche fortement multimodale (voir le point 5.4).

En faisant appel à plusieurs modalités il est possible d'obtenir un effet de synesthésie et ainsi d'aider les personnes à mémoriser un son ou des lettres qui n'ont pu être intégrés avec l'apprentissage traditionnel de la lecture. La synesthésie est le procédé par lequel une perception sensorielle est associée à un élément géré par un autre sens. Par exemple, lorsque l'on entend une note de musique, et qu'elle nous évoque une couleur. La synesthésie est une condition neurologique, probablement génétique, qui touche certaines personnes, pour qui ces associations sont automatiques et non contrôlées (Turk, 2014). Cependant, des méthodes accessibles à tous ont pour objectif de stimuler la mémorisation de façon similaire. Plusieurs sites internet proposent des méthodes de remédiation fondées sur ce principe, qui font appel à des associations entre syllabes et couleurs, entre lettres et couleurs ou encore entre syllabes et sons, voire même à du travail phonologique *via* la musique.



**Une aide efficace pour
l'apprentissage de la lecture :
la visualisation des syllabes et
indications des lettres muettes**

**Osiris Médialexie : outil de syllabation
avec indication des lettres muettes**

Gratuit pendant 6 mois ! *

Exemple de syllabation d'un texte à l'aide de couleurs :

« Il était une fois, un bûcheron et une bûcheronne qui avaient sept enfants, des garçons et pas de fille ; l'aîné n'avait que dix ans, et le plus jeune n'en avait que sept. »

Exemple d'identification des lettres muettes à l'aide du soulignement :

« Il était une fois, un bûcheron et une bûcheronne qui avaient sept enfants, des garçons et pas de fille ; l'aîné n'avait que dix ans, et le plus jeune n'en avait que sept. »

Figure 5.2 Image issue de la lettre d'information de promotion de l'outil de syllabation Osiris, de Médialexie (Médialexie, 2015b).

Certains outils permettent d'ailleurs d'obtenir une coloration syntaxique ou morphologique des mots. C'est le cas du logiciel *Coupe-Mots* (Dosset, 2014) qui aide à la lecture en mettant

en valeur les différentes syllabes, les lettres muettes ou d'autres éléments mettant en difficulté les lecteurs, de façon paramétrable. Il est inclus dans le logiciel Sd-Vocal qui est une compilation d'outils comprenant aussi une synthèse vocale, une reconnaissance vocale et un correcteur automatique. Un des outils de la barre Médialexie, au développement duquel j'ai participé lors de mon travail de thèse, permet aussi d'obtenir la coloration syllabique et le repérage des lettres muettes (voir Figure 5.2).

5.2.4. Adaptation de la forme

D'autres travaux ont été entrepris afin d'aider les personnes dyslexiques à mieux lire en procédant à des adaptations dans la forme du texte. Ces adaptations sont assez faciles à mettre en place de façon logicielle, mais l'enjeu est de déterminer quelles caractéristiques jouent un rôle dans la meilleure reconnaissance des mots et des caractères. Je ferai appel à deux exemples d'adaptations de la forme du texte : l'aération du texte et la police de caractères.

L'optimisation de l'espacement entre les lettres dans un texte et entre les mots a été étudiée par Zorzi et al. (2012). Selon ces auteurs, les dispositifs de remédiation pour les dyslexiques souffrent de plusieurs défauts, ils sont coûteux, difficiles à mettre en place en classe, spécifiques à certains processus (par exemple phonologiques) et ainsi ne permettent pas une amélioration de la lecture chez tous les sujets. Or, il est nécessaire de fournir une aide simple permettant aux mauvais lecteurs de lire plus. Zorzi et al. (2012) se réfèrent à des études précédentes montrant que les dyslexiques sont anormalement affectés par le *crowding* (effet de foule). L'effet de foule est une gêne provoquée par l'entourage visuel d'un élément ciblé par le regard :

Crowding is the negative effect of surrounding visual elements on the recognition of a central target. It is believed that crowding results from inhibitory neural interactions occurring in early visual processing. (Spinelli, De Luca, Judica, & Zoccolotti, 2002, p.179)

Spinelli et al. (2002) ont mené une expérimentation sur la rapidité de reconnaissance de mots ou de symboles en fonction de leur contexte visuel, avec un groupe de 22 enfants dyslexiques (12.7 ans) et un groupe de 97 normo-lecteurs (12.3 ans). Que l'élément cible soit un mot ou un symbole, la présence d'autres éléments l'entourant augmente significativement le temps de réaction nécessaire à la reconnaissance de cet élément cible, pour les dyslexiques. Les normo-lecteurs ne sont, eux, pas affectés. Spinelli et al. (2002) ont ensuite testé avec le même public l'effet provoqué par l'augmentation de l'écart entre les lettres d'un mot. Leurs résultats montrent qu'un espacement plus important ne modifie pas la performance des normo-lecteurs, jusqu'à atteindre un écartement exagéré pour lequel le temps de réaction nécessaire à la reconnaissance des mots augmente significativement. Tandis que pour les dyslexiques, l'augmentation de l'espacement réduit d'abord ce temps de

réaction, tant que cet espacement reste modéré ; et ensuite, seulement lorsque l'espacement est très grand, le temps de réaction augmente, comme pour les normo-lecteurs.

Zorzi et al. (2012) ont testé ce phénomène sur un public de 74 dyslexiques (34 italiens et 40 français, âgés de 8 à 14 ans). Les textes fournis présentaient des espaces entre les lettres augmentés de 2.5 pts (1 pt = 0.353 mm) et l'espace entre les mots et entre les lignes avait été augmenté en proportion. Les participants ont dû effectuer une tâche de lecture lors de laquelle leur performance a été évaluée. A deux semaines d'intervalle pour éviter certains biais, chaque participant a dû lire une fois un texte non modifié, une fois un texte avec les aménagements décrits ci-dessus, l'ensemble des sujets étant divisé en deux groupes équivalents et chacun étant affecté aléatoirement à un groupe. La précision (nombre d'erreurs) et la rapidité de lecture ont été significativement améliorées avec la version aménagée du texte. Ce résultat a été ensuite confirmé, d'abord en répétant l'expérimentation avec le même panel de dyslexiques italiens et un panel équivalent de normo-lecteurs italiens de même âge de lecture ; puis, à nouveau, avec d'autres textes dont l'équivalence de longueur et de difficulté a été établie préalablement à l'aide d'un autre public de normo-lecteurs. Zorzi et al. (2012) confirment donc leur hypothèse selon laquelle un aménagement visuel peut améliorer les performances de lecture et donc faciliter celle-ci pour les dyslexiques, et ce, sans entraînement préalable et quelle que soit la profondeur orthographique de la langue (opaque pour le français, transparente pour l'italien).

Cependant, une telle amélioration ne peut être obtenue avec autant de facilité en manipulant d'autres caractéristiques comme par exemple la taille des caractères. En effet, plus les caractères sont gros et donc faciles d'accès, plus ils prennent une place importante dans le champ visuel, ce qui diminue le nombre de caractères pouvant être perçus et donc traités par la rétine. Les facteurs de taille et de nombre d'éléments visibles se compensent et l'utilisation d'une grande taille ou d'une petite taille de police est quasiment équivalente en terme de confort de lecture (Dehaene, 2007). Evidemment ce raisonnement ne vaut que pour des tailles de police raisonnables, si un mot est tellement grand qu'il ne peut être contenu dans le champ visuel ou tellement petit qu'il dépasse les capacités de résolution de la fovéa, il n'est plus lisible. De plus, il ne s'agit ici que d'un raisonnement par rapport aux troubles spécifiques de la lecture, puisque certaines incapacités physiques (ex : cataracte) nécessitent évidemment un aménagement, souvent un grossissement, de la police (Dehaene, 2007). Une expérimentation de O'Brien, Mansfield et Legge (2005) a confirmé cette équivalence de performance de lecture pour des tailles de caractères comprises entre deux points critiques (trop petite et trop grande), y compris pour les lecteurs dyslexiques. Cependant ces deux points critiques seraient atteints pour une taille de caractères plus importante, que ce soit pour la marge basse comme pour la marge haute. Il est donc nécessaire d'être attentif à ne pas fournir des textes avec une taille de caractères trop faible aux lecteurs dyslexiques.

Concernant la police de caractère, différentes suggestions ont été formulées pour améliorer la lecture des dyslexiques. La première idée d'adaptation que j'ai rencontrée au cours de mes recherches consistait à modifier les lettres semblables ou symétriques (b, p, d, q) afin de mieux les différencier les unes des autres. Une autre idée est d'exagérer l'empatement des lettres, également dans l'objectif d'accentuer les différences entre les lettres et de mettre en avant leur sens, pour mieux diriger le regard du lecteur. Il existe plusieurs polices de caractères qui ont été développées en suivant ces objectifs. Je vais prendre pour exemple la police *Open Dyslexic* (Gonzalez, 2011), qui est gratuite (voir Figure 5.3).

Portez ce vieux whisky au juge blond qui fume.

Figure 5.3 Illustration de la police OpenDyslexic (Gonzalez, 2011) par un pangramme.

Cette police inclue également une version à chasse fixe, qui a l'avantage de forcer un plus grand espacement entre les lettres, bénéfique aux dyslexiques (voir Figure 5.4).

Version à chasse fixe de la police Open Dyslexic !

Figure 5.4 Phrase d'illustration de la police OpenDyslexicMono (Gonzalez, 2011).

Bien entendu, ces polices peuvent venir compléter et s'ajouter à toutes les autres solutions logicielles de compensation et de remédiation.

D'autres phénomènes, moins étudiés, peuvent être associés aux troubles de la lecture, ou en partie responsables de ceux-ci. Le phénomène appelé *pattern glare* se manifeste par une hyper sensibilité à la vue d'un type de motifs répétitifs. N'ayant pas rencontré d'études sur le sujet dans la littérature en langue française, je vais désigner ici le phénomène par sa traduction littérale : motif éblouissant. Le motif constitué de lignes noires sur fond blanc fait partie des motifs pouvant provoquer cet éblouissement, dont souffrent les sujets atteints du syndrome d'Irlen. Ces personnes sont affectées par des symptômes relativement similaires à celles atteintes de dyslexie et TDA/H : troubles de l'attention, troubles de la lecture et de l'écriture, fatigue oculaire, etc. (Irlen Institute, 2015). Les motifs éblouissants font percevoir une illusion de mouvements, de formes et de couleurs d'autant plus forte et gênante que les sujets sont sensibles (voir Figure 5.5). Le syndrome d'Irlen a été étudié par Evans et al. (1994), qui ont montré expérimentalement que les dyslexiques sont significativement plus affectés par les motifs éblouissants que les normo-lecteurs. Cependant, les dyslexiques ont aussi montré une gêne similaire sur un motif de contrôle qui n'aurait pas dû provoquer l'effet de *pattern glare*. De plus, d'autres tests avec le public dyslexique ont montré qu'ils ne sont pas touchés par les autres déficits visuels constatés chez les patients souffrant du syndrome d'Irlen. Ainsi, il n'y aurait pas de corrélation entre les deux troubles, même si certains symptômes sont partagés. Dans ce même article, Evans et al. (1994) ont conduit

une seconde expérimentation qui montre que l'usage de filtres de couleur (*coloured overlay*) sur un texte réduit l'effet des motifs éblouissants.

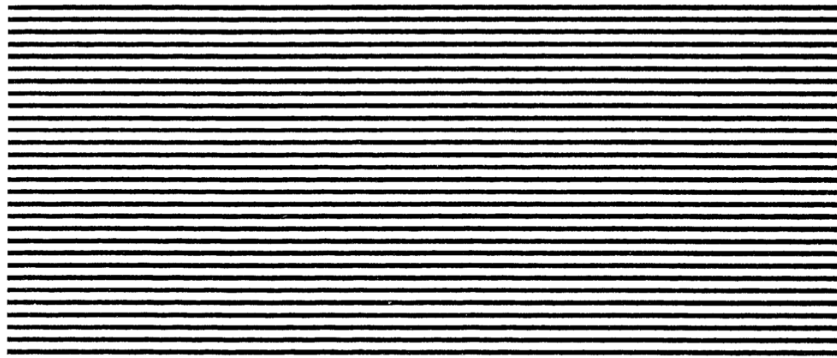


Figure 5.5 Motif éblouissant, extrait de l'article de Evans et al. (1994).

Je note que l'équipe de Médialexie a constaté de manière pratique, avec les enfants dyslexiques utilisant leur logiciel, que la modification de la couleur du texte et de la couleur du fond permet une lecture de texte plus confortable. L'une des préférences assez étonnante est dirigée sur les caractères bleus sur fond jaune. Cependant, ces constatations s'appuient sur les échanges entre l'entreprise et ses clients et je n'ai pas retrouvé de tels résultats dans la littérature scientifique. Il existe des logiciels libres permettant simplement de modifier la couleur des caractères et la couleur de fond de n'importe quelle fenêtre à l'écran, selon le choix de l'utilisateur, comme par exemple *Colour Explorer* (MicrolinkPC, 2016). Sur ce même principe, le site de l'Irlen Institut propose de changer la couleur de fond sur ses pages, grâce à un bandeau de sélection de couleur en haut de chaque page (Irlen Institute, 2015). Enfin, je vois un rapprochement à faire entre l'effet d'éblouissement et l'expérimentation menée par Spinelli et al. (2002). En effet, après avoir étudié l'effet de l'espacement entre les lettres, Spinelli et al. ont également mesuré l'effet de la présentation d'un texte flou à des dyslexiques et des normo-lecteurs. Si la précision (nombre d'erreurs en lecture de mot) n'est pas affectée, certains dyslexiques font preuve d'un meilleur temps de réaction pour lire les mots légèrement floutés que les mots non-floutés. Tandis que pour les normo-lecteurs, plus les mots sont floutés, plus le temps de réaction est long.

5.2.5. Aides à l'écriture et correction automatique

Comme je l'ai expliqué dans le Chapitre 1, la dyslexie entraîne très souvent la dysorthographe, et la rédaction de texte est une activité difficile et fatigante pour la plupart des dyslexiques. De nombreux outils ont pour objectif d'assister les élèves en difficultés à rédiger, mais il est surtout nécessaire de donner à ces élèves une procédure, scindée en étapes, permettant de les diriger dans leur activité de rédaction (Hecker & Engstrom, 2005). Cette procédure inclut la construction des idées, leur organisation, la rédaction d'un

brouillon et enfin la révision et la relecture du texte. Chacune de ces étapes peut être assistée par une ou plusieurs stratégies, incluant des outils logiciels (Hecker & Engstrom, 2005). L'usage des cartes, dessinées à la main ou par ordinateur, comme je l'ai montré dans le Chapitre 3, fait partie des stratégies d'aide à la construction et l'organisation des idées qui peut donc soutenir l'acte de rédaction. En plus des cartes et de la dictée vocale que j'ai déjà présentées, deux outils logiciels permettent d'aider les élèves en difficulté : les correcteurs automatiques et les prédicteurs (de mots ou de phrases).

Les outils de correction automatique font partie du panel d'outils de compensation indispensables pour l'activité de rédaction. Tout d'abord, le simple usage d'un traitement de texte, dans l'activité de rédaction, plutôt que l'écriture à main levée a déjà une influence sur la performance des élèves. Selon MacArthur (2009), l'utilisation d'un traitement de texte a un impact bénéfique, particulièrement sur les élèves avec troubles des apprentissages. Ces bénéfices seront d'autant plus importants si les élèves ont bien été formés à l'écriture sur clavier. Ensuite, deux types de correction automatique sont distinguables, la correction dite orthographique et la correction dite grammaticale. Le premier type concerne la vérification des mots un à un, c'est-à-dire la validation de chaque forme écrite, en vérifiant son existence dans la langue cible. Le deuxième type de correction est plus contextuel, puisqu'il permet de vérifier la cohérence des mots utilisés sur toute une phrase, ce qui permet de traiter les erreurs d'accords mais aussi les confusions entre des mots homophones, comme le courant "et" à la place de "est", par exemple.

Les outils développés dans le domaine du TAL sont beaucoup utilisés par le grand public, cependant les articles de recherches sont moins nombreux que pour d'autres questions abordées en TAL. Une des explications possibles est que les Sciences du Langage ont pour objet l'étude de la langue telle qu'elle est produite et ne s'intéressent que peu à la corriger (Clément, Gerdes, & Marlet, 2009). De plus, plusieurs obstacles ont pu ralentir cette recherche. Les erreurs grammaticales sont extrêmement dépendantes de la langue, donc il est difficile de développer des outils internationaux pour résoudre ce problème. Quant à l'apprentissage automatique de la machine, il nécessiterait le développement de corpus d'erreurs, qui pour l'instant n'existent pas (Clément et al., 2009). De plus, ces corpus sont dépendants de nombreux paramètres : âge, niveau de langue, etc. Il serait donc nécessaire de construire plusieurs corpus de référence, pour mettre en usage un algorithme d'apprentissage automatique. Enfin, un outil de correction automatique a besoin d'être intégré dans un traitement de texte, or l'outil utilisé majoritairement (Word) est propriétaire, ce qui empêche de distribuer librement ses sources. C'est un autre obstacle au partage des travaux sur les traitements de texte et leurs correcteurs automatiques associés, dans la communauté de recherche.

La correction orthographique permet simplement de détecter les graphies, écrites par l'utilisateur, qui ne sont pas valides dans une langue donnée. Ce type de correction n'implique aucun critère syntaxique ou sémantique. Un correcteur orthographique s'appuie

principalement sur un dictionnaire, contenant toutes les formes fléchies de la langue cible, et sur un ensemble de règles. Lors de son fonctionnement, le correcteur orthographique va parcourir le texte et chaque graphie rencontrée va être comparée aux entrées possibles du dictionnaire. Si une graphie n'est pas retrouvée dans le dictionnaire, elle va être signalée à l'utilisateur et une liste de propositions sera suggérée pour la corriger. Il existe différents algorithmes pour calculer ces propositions, qui sont les formes du dictionnaire les plus proches de la graphie non-standard détectée. Parmi les outils de correction dont l'algorithme est libre, le plus connu est celui utilisé par *OpenOffice*, mais aussi des navigateurs comme *Firefox* ou *Chrome*, et de nombreux autres logiciels comme *Hunspell* (Németh, 2016). Lorsqu'une graphie n'est pas retrouvée dans le dictionnaire, l'algorithme du correcteur doit déterminer quelles sont les formes du dictionnaire les plus proches, pour cela il se réfère à une valeur appelée distance lexicographique. La distance lexicographique entre deux graphies correspond au nombre d'opérations nécessaires et suffisantes pour passer d'une graphie à l'autre (L'Haire, 2011). Il existe différentes opérations possibles applicables à une chaîne de caractères donnée, comme la substitution, l'insertion, l'effacement, ou encore, le changement de casse. Les différentes mesures de distance sont calculées en additionnant le coût affecté par l'algorithme à chacune de ces opérations. Parmi les algorithmes de calcul de distance connus, on retrouve : la distance de *Levenshtein*, la distance de *Hamming*, la technique *three-way match*, etc. (L'Haire, 2011).

MacArthur (2009) a identifié trois limitations importantes des correcteurs orthographiques (*spell checkers*) au cours de différentes expérimentations de mise en pratique avec un public souffrant de troubles du langage :

- Les correcteurs orthographiques n'identifient pas un tiers des erreurs parce que le mot écrit par l'utilisateur est un homophone ou un autre mot dont la morphologie est très proche :
"e.g., "wear" for "were" or "don" for "done"" (MacArthur, 2009, p.95) ;
- Parfois, le mot que l'utilisateur voulait écrire n'apparaît pas dans la liste de propositions de correction, particulièrement lorsque le mot a été très mal orthographié ;
- Des graphies valides peuvent être signalées comme erronées, notamment avec l'usage de noms propres, de néologismes ou de mots familiers. Ce dernier type de signalement d'erreur est heureusement souvent compris par les utilisateurs et n'induit pas de fautes supplémentaires.

La correction grammaticale est plus complexe, puisque son objectif est de vérifier la cohérence de la phrase en termes de syntaxe et, si possible, en termes de sémantique. Un correcteur grammatical doit être capable de signaler les phrases ou segments de phrases erronés dans le document rédigé. Il doit ensuite pouvoir proposer une correction ou une reformulation, mais également une explication des erreurs et une justification de la correction proposée, quand cela est possible. En plus, il est préférable que les corrections

soient proposées en temps réel, par exemple à chaque fin de phrase, afin de permettre une révision au fur et à mesure du texte. La difficulté pour un outil de correction grammaticale est d'obtenir à la fois un minimum de bruit et un minimum de silence (Clément et al., 2009). On appelle « bruit » les signalements d'erreurs superflus. Si le bruit est important, l'utilisateur va être amené en permanence à choisir de corriger ou non ses formulations, même lorsque ce n'est pas pertinent. La réduction du bruit est d'autant plus importante dans le cas des personnes atteintes de troubles du langage, pour deux raisons :

- D'abord la lecture et l'interprétation des messages d'erreurs vont surcharger la mémoire de travail de l'utilisateur et l'éloigner de sa tâche première, qui est la rédaction du document ;
- Ensuite, la décision de choisir d'appliquer ou non la correction risque d'être plus difficile pour l'utilisateur, sauf si celle-ci peut se faire par voie orale (synthèse vocale et dictée vocale).

Le silence représente, à l'opposé, la quantité d'erreurs grammaticales dans le document qui ne sont pas signalées et persistent après le passage du correcteur automatique.

Le correcteur grammatical *Cordial* (Synapse Développement, 2016), utilisé comme ressource dans les outils de Médialexie, permet de corriger un texte aux niveaux : lexical, syntaxique et sémantique (Couteret, 2009). Il inclut aussi un dictionnaire, un dictionnaire des noms propres et un conjugeur que l'on peut utiliser dynamiquement.

Pour finir avec les outils d'aide à la rédaction, il convient de traiter la question des prédicteurs, de mots et de phrases. Ils ont d'abord été développés pour aider les personnes qui souffrent d'un handicap physique les limitant dans la frappe au clavier, l'idée étant de réduire le nombre d'opérations nécessaires pour écrire chaque mot (MacArthur, 2009). Un outil de prédiction de mots permet de proposer une liste de mots à l'utilisateur à chaque fois que celui-ci commence à taper la ou les premières lettres d'un mot. Lorsque l'utilisateur voit apparaître le mot souhaité dans la liste, il le choisit et celui-ci s'affiche directement au sein de la rédaction. La liste de propositions apparaît généralement dans une petite fenêtre indépendante, superposée à l'interface de traitement de texte. L'enjeu est que cette liste soit à la fois la plus réduite et la plus pertinente possible. Le problème du nombre de propositions optimales pour un résultat efficace a été étudié dès la sortie des premiers outils de prédiction. Swiffin, Arnott, Pickering et Newell (1987) ont testé le même outil de prédiction en faisant varier la taille de liste de propositions, et ce selon un critère : le pourcentage de frappes au clavier économisées. Les tailles de liste testées étaient de 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10 et 15 propositions, sur quatre textes différents, avec ou sans dictionnaire de prédiction préconstruit. Dans les deux situations et pour tous les textes, le pourcentage de frappes économisées augmente très vite jusqu'à la liste de 5 propositions puis augmente ensuite lentement. Swiffin et al. (1987) en ont conclu qu'une liste de 5 propositions est nécessaire et suffisante pour que l'outil de prédiction soit efficace. Venkatagiri (1994) a comparé expérimentalement la qualité des prédictions obtenues, la vitesse de rédaction et

le nombre de frappes au clavier économisées pour des listes de propositions de 5, 10 et 15 mots. Bien qu'une liste de 15 propositions permette d'économiser plus de frappes et d'obtenir une plus grande précision de prédiction, les écarts avec les autres tailles de listes ne sont pas assez significatifs pour compenser le temps perdu par les utilisateurs à chercher parmi toutes les propositions. En plus d'être longue, cette recherche visuelle implique une charge cognitive importante. C'est finalement la liste de 5 propositions qui est optimale lorsqu'on réunit les trois critères.

La liste doit également s'adapter dynamiquement au fur et à mesure que l'utilisateur continue la saisie du mot. Il est fondamental que la liste se mette à jour dynamiquement, notamment en cas de suppression du ou des derniers caractères saisis par l'utilisateur. La présence d'un bouton permettant de refuser de choisir dans la liste est aussi essentielle. Les outils de prédictions de mots sont extrêmement répandus dans l'usage quotidien, que ce soit dans les moteurs de recherche internet ou dans les interfaces d'écriture de SMS des téléphones portables.

Les outils de prédiction de phrases reposent sur le même principe, mais ont pour objectif d'anticiper le ou les mot(s) suivant(s) dans la phrase, plutôt que le mot en cours de frappe. Ainsi, à chaque fois que l'utilisateur vient de saisir un mot, le prédicteur de phrase lui propose une liste de mots suivants avant même que la première lettre ne soit écrite. Tout comme le prédicteur de mot, le prédicteur de phrase est couramment utilisé sur les moteurs de recherche et les téléphones, mais les prédicteurs de phrases à l'usage des personnes en difficultés sont souvent plus développés, afin de permettre une meilleure et plus importante anticipation de la suite de la phrase en cours de rédaction.

Les outils de prédiction font appel à un ensemble de ressources linguistiques : des dictionnaires, des règles de grammaire et des probabilités d'apparition des mots en fonction du contexte (les premières lettres et les mots précédents). La prise en compte de la syntaxe de la phrase, grâce à des données de probabilités déduites d'un corpus étiqueté suivant les catégories grammaticales des mots, peut également améliorer les performances de prédiction (Swiffin et al., 1987). Généralement, les outils de prédiction sont compatibles avec n'importe quel traitement de texte et les listes de mots proposés peuvent être lues par une synthèse vocale (Hecker & Engstrom, 2005). De plus, les correcteurs automatiques et les prédicteurs sont très complémentaires pour l'aide à la rédaction, ils sont aussi complétés par l'accessibilité à des dictionnaires, des dictionnaires de synonymes et des conjugueurs dans certains logiciels. L'utilisation d'un outil de prédiction a notamment pour effet de réduire les erreurs d'orthographe, mais aussi d'améliorer la qualité et la longueur des rédactions (Macarthur, 1999; Silio & Barbetta, 2010; Williams, 2002). L'efficacité des prédicteurs est d'autant plus grande lorsqu'ils s'adaptent au style et aux thèmes d'écriture de l'utilisateur. Un moyen efficace d'obtenir cette adaptation est d'intégrer les données statistiques d'apparitions des mots, ainsi que leurs contextes d'usages par l'utilisateur, à l'intérieur des probabilités générales sur lesquelles s'appuie l'outil au départ, au fur et à mesure de son

utilisation. Cet apprentissage de l'outil est un procédé également très utile pour les technologies de dictée vocale et de correction automatique.

Selon Hecker et Engstrom (2005), un outil de prédiction peut être frustrant pour des étudiants parce que le grand nombre de décisions qu'ils doivent prendre, sans arrêt, en sélectionnant des mots parmi une liste peut couper leur rythme de rédaction. Une bonne solution pour éviter ce problème et de pouvoir facilement désactiver et réactiver le prédicteur aux moments opportuns. Dans l'étude de Venkatagiri (1994), les résultats montrent que l'usage d'un prédicteur peut faire gagner du temps à une personne souffrant de troubles moteurs mais peut en faire perdre à des personnes n'ayant aucun handicap sur l'activité de rédaction. Selon l'expérimentation menée par Magnuson et Hunnicutt (2002) auprès d'un étudiant dyslexique, la vitesse de rédaction est d'autant plus importante que l'élève est entraîné à l'usage de l'outil.

Enfin, un retour vocal du texte rédigé, au fur et à mesure de l'écriture, grâce à une synthèse vocale est un bon moyen de vérifier la qualité de sa rédaction, pour un étudiant sujet à des troubles des apprentissages. Magnuson et Hunnicutt (2002) ont d'ailleurs relevé une amélioration des performances significatives lorsqu'on introduit un outil de retour vocal en complément de l'outil de prédiction. Cette augmentation des performances au cours du temps est aussi notée par Silio et Barbetta (2010) dans leur expérimentation qualitative menée auprès de 6 étudiants souffrant de troubles des apprentissages. L'ajout d'un outil de synthèse vocale à l'outil de prédiction apporte également une amélioration des performances de rédaction des étudiants qui étaient mesurées selon quatre critères : la vitesse d'écriture, la syntaxe, l'orthographe et l'organisation globale. Je note que dans cette même étude, Silio et Barbetta (2010) rapportent qu'aucun gain de performance en rédaction n'est obtenu avec l'usage d'un outil de synthèse vocale seul.

5.3. Barre d'outils Médialexie

La barre d'outils de Médialexie comprend tous les types d'outils que j'ai présentés précédemment. Cette solution complète est nommée *Scribe* (Médialexie, 2015b). Certains de ces outils ont été développés par l'entreprise et d'autres sont simplement une version modifiée d'outils grand public qui ont été adaptés au public en difficulté d'apprentissage. De plus, l'entreprise a développé et breveté certains outils spécifiques qui n'avaient pas été produits auparavant. C'est le cas de l'*Ecrivain* et du *Prédicteur* de Médialexie.

5.3.1. Les outils standards

Comme je l'ai précisé en expliquant le fonctionnement de chacun de ces outils plus haut, la barre d'outils Médialexie (voir Figure 5.7 et Figure 5.8) comporte :

- Un outil de dictée vocale, adapté à partir de Dragon (Nuance, n.d.) pour mieux correspondre au public des dys.
- Une synthèse vocale avec plusieurs langues et plusieurs voix possibles. Cet outil est accompagné d'une version améliorée, appelée écho oral. L'*écho oral* a la prétention d'être un outil de remédiation car il pousse l'utilisateur à pratiquer des autocorrections. Il permet d'entendre la voix de synthèse lire un texte au fur et à mesure qu'il est rédigé par l'utilisateur. Le mot peut être entendu suivant différents modes : soit lettre par lettre, soit lettre par lettre puis le mot entier une fois arrivé à l'espace, soit phrase par phrase, et enfin, plus intéressant, le retour peut être la lecture phonétique du mot en cours d'écriture, au fur et à mesure de sa composition. Cette dernière option permet une meilleure compréhension de la conversion graphème/phonème pour les personnes en grandes difficultés (voir Figure 5.6).

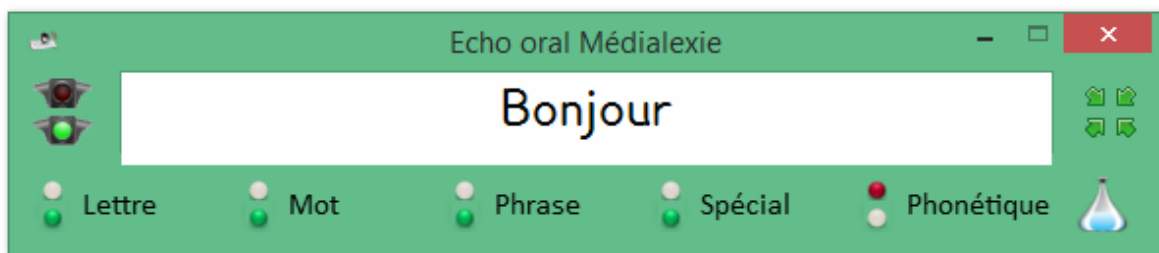


Figure 5.6 L'outil d'écho oral en fonctionnement, avec la possibilité de sélectionner un ou plusieurs des modes "lettre", "phonétique", "spécial", etc.

- Le *Visualiseur*, qui permet de paramétrer la mise en forme du texte en choisissant la couleur de fond, la taille, la couleur et la police de caractères, le nombre de colonnes, mais aussi et surtout l'espacement entre les lignes, entre les mots et entre les lettres, que l'on sait déterminant pour le confort de lecture (Zorzi et al., 2012). D'autres options permettent aussi de mettre en valeur des lettres, ensembles de lettres ou des mots déterminés par l'utilisateur. Ces facilitations de lecture sont complétées par l'outil de syllabation, développé par une étudiante de Master qui a travaillé au sein de l'entreprise (Merdy, 2014). Cet outil permet la coloration syllabique, la démarcation inter syllabique par un marqueur et le signalement des lettres muettes.
- L'*Imagineur*, un outil classique de dessin de cartes (plutôt des cartes conceptuelles). Cet outil inclut des repères spatio-temporels (haut/bas et près/loin) afin d'aider les utilisateurs souffrant de désorientation. Un autre outil, le *Curseur* permet de donner des repères spatiaux (ex : "en haut à droite") dans le traitement de texte.
- L'*Analyseur*, un outil d'aide à l'analyse et la compréhension de texte, qui est intégré au traitement de texte. Il permet de calculer à partir du texte : des phrases-clés, le thème, des mots-clés ; et aussi de détecter les noms propres.
- Le traitement de texte intègre également l'accès à des dictionnaires (noms communs, noms propres et synonymes) et un conjugueur (un clic sur une forme verbale écrite dans le texte permet de changer la personne et le temps de conjugaison). Le *Vérificateur* est un correcteur orthographique standard. La correction grammaticale

automatique est assurée, elle, par le correcteur de *Cordial* (Synapse Développement, 2016).

- Le *Transcrivieur*, permet d'enregistrer, manipuler et monter des mémos vocaux. Les fichiers sonores obtenus peuvent même être relus par la synthèse vocale plutôt que par la voix originale.
- Un OCR : c'est-à-dire un outil de numérisation par reconnaissance optique de caractères. Ce type d'outil permet de récupérer le texte d'un document papier sur traitement de texte, à partir d'un scan ou d'une photo. Médialexie a évolué au fil des années en faisant appel à différents éditeurs de logiciels OCR, mais aussi, en revendant différents types de matériels pour réaliser le scanner d'un document papier (scanner à main, souris scanner, etc.). Cette fonctionnalité est importante pour les élèves voulant récupérer directement des textes de leurs manuels scolaires ou de documents papiers distribués en cours, pour pouvoir travailler au format numérique ou tout simplement les faire lire par la synthèse vocale.
- Le *Nuage*, enfin, regroupe les différents services en ligne. L'utilisateur dispose notamment d'un outil de messagerie instantanée qui permet à la fois de trouver directement les réponses aux questions les plus courantes, comme dans l'aide classique d'un logiciel, mais aussi de laisser des messages en direct à l'équipe de Médialexie. Cela lui permet d'être aidé sur un problème technique ou un problème d'utilisation de l'un des outils. La formation à l'usage des outils est un point crucial de la réussite de la compensation et de la remédiation logicielle (Delamare, 2012) et l'équipe de Médialexie en est consciente puisque l'achat de la barre d'outil est toujours accompagné d'une session d'apprentissage avec le formateur de l'équipe.

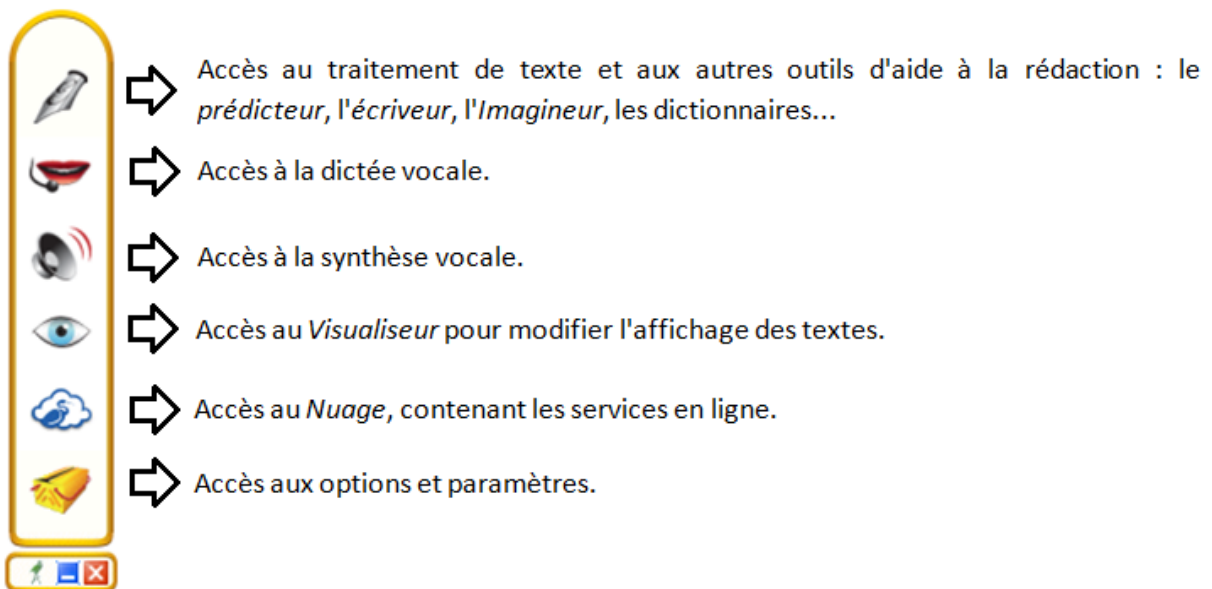


Figure 5.7 La barre d'outils Médialexie classique.

5.3.2. Les outils spécifiques de Médialexie

Une technologie particulière a été brevetée par Médialexie, elle concerne la correction automatique de mots ou de phrases qui ont été écrits de manière purement phonétique, sans respect de l'orthographe standard. Cette correction automatique se différencie des algorithmes habituels que j'ai décrits précédemment et qui se basent sur la distance entre deux mots pour proposer une correction. En effet, un correcteur orthographique comme *Hunspell* (Németh, 2016) sera incapable de proposer "oiseau" comme forme standard correspondante à la graphie "wazo". C'est justement ce que permet l'algorithme de l'*Écrivain* de mots de Médialexie. Selon Couteret (2009), cet outil est surtout adapté pour les élèves ayant des difficultés de reconnaissance globale, tel que les troubles visuo-attentionnels et les dyslexies de surface. En effet, ces personnes sont souvent à l'aise avec l'aspect phonétique, puisqu'ils font peu d'erreurs avec les pseudo-mots. Par contre, Couteret estime que l'outil est limité dans le cas de troubles plus profonds :

Il est moins performant lorsqu'il s'agit de perturbations (très) sévères plutôt « phonologiques » où l'on retrouve tous les types d'erreurs et en particulier celles qui déforment le plus les correspondances avec la phonologie : les contractions (1 mot écrit pour 2 ou 3) et les décontractions (2 ou 3 mots pour 1) et surtout les inversions. Dans ce cas, ni les repères visuels que constituent les espaces inter-mots ni la prononciation à voix haute ne permettent une reconnaissance (aisée) des mots : le déchiffrement est extrêmement laborieux et incertain tant par un lecteur humain que pour un logiciel. (Couteret, 2009, p.18)

Depuis, Médialexie a développé une version de l'*Écrivain* permettant de traiter des phrases entières. Cet outil accomplit la même tâche que l'*Écrivain* de mots, tout en étant capable de segmenter correctement des mots injustement divisés, ou plusieurs mots accolés les uns aux autres. Par exemple, la graphie "ilfébo" sera corrigée : "Il fait beau.". Ainsi, Médialexie propose une alternative purement écrite à la dictée vocale pour les personnes en très grande difficulté de rédaction. En effet, en utilisant aussi l'outil d'*Écho oral*, l'utilisateur peut écrire de façon complètement intuitive en ayant confirmation que la phonétique du mot rédigé est semblable à la phonétique du mot souhaité, puis en cliquant simplement sur le bouton de l'*Écrivain*, il obtiendra la forme standard voulue.

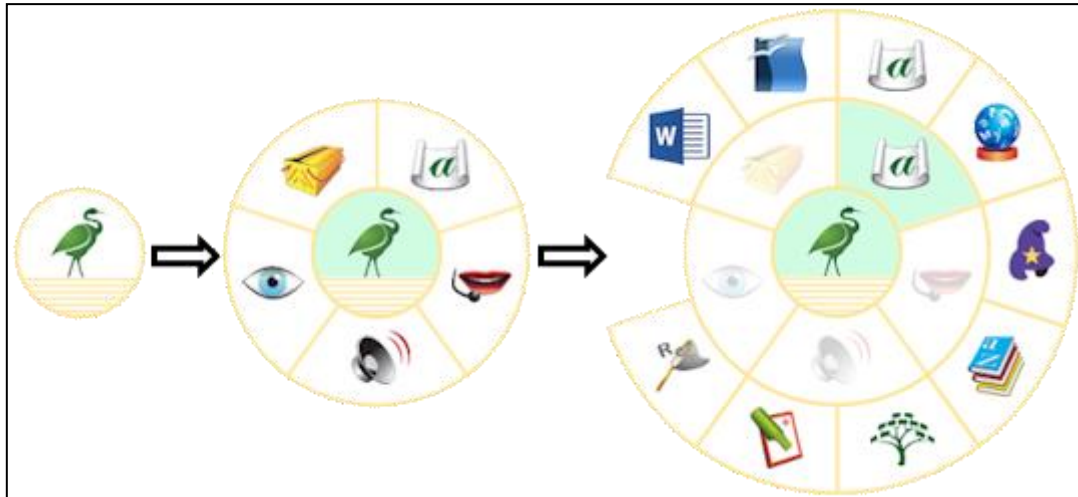


Figure 5.8 Design de la nouvelle "barre" d'outils Médialexie

Enfin, l'autre outil associé à cet algorithme de conversion de phonétique à forme convenable est le *Prédicteur*. Il assure à la fois les fonctions de prédicteur de mots et de prédicteur de phrases, mais fonctionne également lorsque les mots et phrases sont fortement déformés au niveau orthographique, à condition que leur phonétique corresponde aux formes standards souhaitées. De plus, pour assister l'utilisateur dans son choix parmi les options de correction proposées, le *Prédicteur* précise la nature des mots, leur conjugaison éventuelle et propose un accès aux différents dictionnaires.

5.3.3. Autres suites logicielles

Parmi les autres vendeurs de solutions pour les élèves en difficulté d'apprentissage, on retrouve également des suites logicielles, plus ou moins complètes.

Claro Software (Claro Software Ltd, 2015) propose une synthèse vocale, un outil de dessin de carte heuristique, un outil d'aide à la prise de note, un outil de dictée vocale, un outil de coloration syntaxique et enfin, un outil de reconnaissance optique de caractères.

WordQ et *SpeakQ* (goQ Software, 2016) sont des logiciels, respectivement de prédiction de mots et de retour vocal pour *WordQ*, de dictée vocale, pour *SpeakQ*. Ils sont principalement commercialisés dans les pays anglophones mais existent aussi en version française.

La suite *Penfriend* (Penfriend Ltd, 2014) contient un prédicteur de mot, une synthèse vocale et un clavier visuel, disponibles dans une dizaine de langues différentes.

Bien d'autres solutions gratuites et payantes existent, certaines apparaissent et disparaissent régulièrement et il serait difficile d'en faire une liste exhaustive.

5.4. Remédiation par les jeux vidéo

Comme nous l'avons vu précédemment le recours à d'autres modalités, images, sons, couleurs, mouvements peut être une solution pour stimuler les capacités de lecture et d'attention. Récemment, des études ont été menées afin de comprendre le rôle qui peut être tenu par des environnements en trois dimensions, notamment des jeux vidéo, dans la remédiation des dyslexiques. Avant d'aborder quelques études réalisées spécifiquement auprès d'un public d'enfants dyslexiques, je souhaite présenter les différents contextes pédagogiques dans lesquels des jeux vidéo, ou des environnements similaires, sont utilisés dans le domaine plus large de l'enseignement. Cela me permet d'établir un contexte et une connexion avec d'autres travaux novateurs, bien qu'ils ne soient pas liés directement au projet LIC1 et que mon expertise du domaine soit limitée. Je vais distinguer trois cas possibles d'usages des jeux vidéo en contexte pédagogique, que j'illustrerai par la suite à l'aide d'exemples :

- (1) faire jouer des enfants à des jeux vidéo dans le but de stimuler certaines de leurs capacités. Il peut s'agir des capacités de concentration et d'attention, des capacités de précision, de prise de décision, ou encore, d'élaboration d'une stratégie. Dans ce cas d'usage, des jeux appropriés sont sélectionnés par les enseignants ou formateurs, puis les enfants pratiquent librement ces jeux dans un but ludique, tels qu'ils ont été conçus par leur développeurs. Il n'y a aucune adaptation ou détournement des jeux dans cette approche c'est l'univers propre du jeu et ses mécanismes intrinsèques qui vont faire travailler les capacités des apprenants.
- (2) identifier des séquences ou des mécanismes de jeux précis, dans un ou plusieurs jeux, qui vont faire travailler les enfants sur une ou plusieurs des capacités que je viens d'évoquer plus haut. Le jeu n'est pas modifié, mais il est détourné dans un objectif pédagogique, ce phénomène est désigné par le terme *serious gaming* (jouer de façon sérieuse) (Alvarez & Damien, 2011). Dans ce cas d'usage, le jeu utilisé est détourné de son objectif commercial *a posteriori* et les enfants n'accèdent pas toujours à l'ensemble du contenu du jeu mais à une sélection effectuée par l'enseignant.
- (3) développer des jeux vidéo avec un ou plusieurs objectifs pédagogiques déterminés et faire jouer les enfants à ces jeux. Dans ce cas, ce sont les chercheurs, les formateurs ou les enseignants, avec l'aide nécessaire, qui créent directement un jeu afin de transmettre un enseignement ou de développer une partie des différentes capacités citées plus haut. Ces jeux peuvent être désignés de différentes façons, selon leur contenu, leur *gameplay* (expression qui désigne autant la jouabilité, le ressenti que le type d'expérience de jeu) et d'autres caractéristiques de développement : jeux éducatifs, jeux ludo-éducatifs, simulations, *social impact games* (jeux à portée sociale), etc. Ils peuvent être rassemblés sous l'étiquette de *serious games* (jeux sérieux) (Alvarez & Damien, 2011; Charsky, 2010). Les jeux sérieux combinent simplement, et toujours, un objectif utilitaire et un objectif ludique. Ce type de jeu est le sujet d'étude d'une

communauté de recherche multidisciplinaire en France (voir Sanchez & Emin-Martinez, 2013).

Enfin, même s'il ne s'agit plus vraiment de jeux vidéo, une dernière démarche vise à s'inspirer de ceux-ci afin de créer des environnements en 3D, spécialisés pour la remédiation de capacités spécifiques. Dans ce cas, les outils, environnements et méthodes utilisés pour la conception de jeux vidéo sont repris, en tant que briques technologiques, mais l'objectif du produit développé n'est plus ludique. Il est possible, par exemple, d'obtenir ainsi une version immersive et multimodale de tests de lecture ou d'exercices d'orthophonie. Cette démarche est proche de celle de la conception des jeux sérieux, mais je la différencie car elle n'implique aucun élément ludique.

Selon Garcia (2016), les jeux vidéo présentent un défi de résolution de problème, qui attire et mobilise les enfants et les adolescents, et ils répondent à leurs besoins psychologiques tout en les divertissant. De plus, pour le cas particulier des enfants en échec scolaire, les jeux vidéo ont l'avantage de changer le rapport à l'échec. Dans le jeu, une situation d'échec ou même de "mort" du personnage, incarné par le joueur, n'est jamais définitive, elle permet au joueur d'apprendre les mécanismes du jeu et l'autorise à recommencer autant que nécessaire jusqu'au succès (Garcia, 2016; Sanchez, 2012). Il faut aussi ajouter qu'en plus du côté interactif et multimodal, tout jeu vidéo amène d'une part le joueur à comprendre un univers et des faits exposés et, d'autre part, à apprendre des compétences et des procédures nécessaires pour progresser en son sein (G. Garcia, 2016). Les jeux en général permettent d'ailleurs d'emmagasiner en mémoire des quantités importantes d'informations concernant les règles et l'univers de jeu, la plupart du temps sans aucun effort de l'apprenant, puisqu'il est alimenté par les rétroactions reçues au fur et à mesure de son expérience de jeu et motivé par le désir de progression. Autre élément particulier à l'enseignement avec les jeux vidéo : l'évaluation. Un bon scénario pédagogique inclura l'évaluation des apprenants au sein même du jeu, pour éviter de casser la dynamique ludique, mais en contrepartie, il sera difficile pour l'enseignant de maîtriser le type de compétences que va développer le joueur pour satisfaire cette évaluation (Sanchez, 2012).

Concernant le cas (1), la pratique de jeux vidéo tel que prévue par leurs développeurs, sans aucune adaptation par les enseignants, semble se développer récemment. En Suède, par exemple, depuis 2015 certains lycéens ont accès à une option "e-sport" se substituant au cours de sport, dans laquelle ils vont pratiquer des jeux en ligne, en équipe (VoxPop, 2017). Ce cours est agrémenté de séances de relaxation et l'évaluation des élèves porte sur leurs capacités d'analyse, de réaction et de coopération, autant de capacités grandement sollicitées par la pratique de jeux collaboratifs multi-joueurs en ligne.

Il est également possible de retrouver dans la littérature scientifique des exemples de mise en place des différents usages des jeux vidéo, que j'ai listés précédemment, appliqués au travers d'expérimentations avec un public d'apprenants dyslexiques. Franceschini et ses collaborateurs (2013), ont montré qu'un gain significatif de performance en attention et en

lecture pouvait être obtenu grâce à la pratique de jeux vidéo. Dans cette étude, un panel d'enfants dyslexiques italiens est amené à jouer, un total de 12 heures sur neuf jours, à des séquences identifiées comme typiques d'un jeu vidéo d'action dans le jeu *Rayman Raving Rabbids*. La méthode mise en place peut donc être qualifiée de *serious gaming*, comme décrit en (2). Dans le même temps, un groupe contrôle de dyslexiques joue à d'autres séquences du même jeu, ayant été identifiées comme ne présentant pas ou très peu d'action. Les deux groupes ont été pré-testés et post-testés, les membres du groupe ayant joué aux séquences d'actions ont augmenté significativement leurs performances à la fois sur un test d'attention et sur un test de lecture à voix haute (plus précisément : un gain de vitesse sans perte de précision). Cependant, comme le remarquent Bavelier, Green et Seidenberg (2013) qui commentent l'étude précédente, l'italien est une langue dont l'opacité (ou la profondeur orthographique) est dite transparente. Ainsi, la faible difficulté de conversion de graphème à phonème est favorable pour conserver un fort taux d'exactitude en lecture malgré l'augmentation de la vitesse de lecture. Pour aller plus loin, on peut même estimer qu'une vitesse de lecture plus grande augmenterait le nombre d'erreurs dans le cas d'une langue dite opaque, puisque les ambiguïtés de conversion graphème/phonème devraient être résolues en un temps plus court. De plus, Bavelier et al. (2013), font également remarquer que dans l'expérimentation de Franceschini et al. (2013) les groupes sont relativement petits : 20 dyslexiques. La grande disparité du public dyslexique laisse à penser, qu'une fois encore, la remédiation proposée ne sera efficace que pour les cas de dyslexie présentant des symptômes précis, ici des troubles de l'attention et une lecture lente (donc une dyslexie de surface ou un trouble semblable). Enfin, cette étude ne comprend pas d'évaluation de la compréhension de texte ! Il est donc tout à fait possible que les sujets aient augmenté leur rapidité de lecture à voix haute sans pour autant accéder au sens du texte ; et rien ne laisse penser qu'il y a effectivement un gain de compréhension après la pratique de jeux vidéo d'action.

Une hypothèse permettant d'expliquer le gain d'attention possible en pratiquant les jeux vidéo est que la richesse de l'environnement, qui mobilise à la fois les capacités visuelles et auditives, permet une immersion importante et donc une plus grande focalisation sur la tâche à accomplir. Le travail sur papier, d'autant plus lorsqu'il s'agit de simples textes, ne fait appel qu'à une modalité simple et l'absence d'image, d'objet mobile et de son, ainsi que le manque d'interactivité, pourraient faciliter la perte d'attention. Cette prédominance du visuel est importante à prendre en compte dans les solutions de remédiation. Harrar et al. (2014) ont étudié la réaction des dyslexiques à des stimuli multi-sensoriels et tentent de comprendre comment se comporte leur attention face à un environnement multimodal. Leurs résultats démontrent une différence entre dyslexiques et public contrôle dans le traitement des informations lorsque l'attention est déplacée d'une modalité à une autre. Harrar et al. (2014) encouragent l'utilisation de jeux vidéo comme exercice de remédiation, qu'ils estiment être un moyen adapté pour les dyslexiques d'entraîner leur perception visuo-auditive compte tenu de leur déficit d'attention particulier aux changements de modalités.

Toujours selon Harrar et al. (2014), cet entraînement de la perception serait un traitement des causes de bas niveau de la dyslexie (donc permettant la remédiation des capacités procédurales nécessaires), tandis que l'entraînement des capacités phonologiques correspondrait seulement à un traitement des symptômes.

Tallal et al. (1996) ont mené une expérimentation mettant en œuvre un jeu vidéo, dans lequel un dispositif d'étirement artificiel de la parole avait été introduit à l'insu des joueurs. Leurs résultats montrent une réduction significative du temps de traitement de la parole. Cependant, Habib et Joly-Pottuz (2008) rapportent un avis mitigé sur cette expérimentation, qui a été critiquée et dont les résultats n'ont pas pu être reproduits avec autant de succès par d'autres auteurs. Cette expérimentation ne mettait toutefois pas en avant l'usage d'un jeu vidéo mais l'utilisait simplement comme une astuce pour motiver les apprenants.

Les avis mitigés sont d'ailleurs récurrents dès lors qu'une expérimentation implique l'usage de jeux vidéo pour l'apprentissage. Girard, Ecalle et Magnan (2013) ont entrepris une revue de la littérature récente comprenant des expérimentations mettant en application des *serious games*. Sur les neuf articles analysés, les auteurs ne relèvent aucune preuve convaincante de l'apport de tels jeux pour l'apprentissage. Cependant, d'une part, l'implication et la motivation des participants semblent systématiquement plus importantes lorsqu'une tâche d'apprentissage est présentée sous la forme d'un jeu vidéo. D'autre part, le média jeu vidéo n'est pas limitatif des tâches d'apprentissage qui peuvent être assignées aux apprenants, à condition d'établir un scénario pédagogique et un *gameplay* adapté. L'obtention de résultats mitigés est donc probablement due essentiellement au manque de pratique et d'expérience dans le domaine.

Concernant le cas de réutilisation des moteurs graphiques des jeux vidéo à l'usage de la remédiation pour les dyslexiques, Garcia (2016) explique comment en s'appuyant sur le logiciel *Unity*, il est possible de créer des exercices de remédiation ou de transformer des tests de lecture classiques afin de leur apporter un aspect ludique et multimodal. *Unity* est un environnement de développement disposant d'un moteur physique et graphique en 3D pour créer des interfaces graphiques, utilisé habituellement pour concevoir des jeux vidéo. Garcia (2016) cite également des exemples d'environnements ludiques de remédiation pour les dyslexiques dont, par exemple : *Dominos des Mots*, un outil pour s'exercer à la reconnaissance de mots (Castel, 2008).

Enfin, le rapport collectif de l'INSERM (2007, p.780) mentionne le recours aux jeux vidéo et aux interfaces multimodales, non pas comme une alternative mais comme une nécessité future afin d'améliorer la qualité et la quantité de traces pouvant être recueillies pendant un exercice de rééducation orthophonique. En effet, le nombre d'informations pouvant être consignées de façon manuscrite, sur un exercice à la fois manuscrit et oral, est plus limité.

Si l'outil développé au sein du projet LICl est loin d'un jeu vidéo, il est tout de même intéressant de noter les raisons avancées, bien que débattues, pour expliquer l'apport de ces

outils dans la remédiation des enfants dyslexiques. Il est notamment question d'améliorer l'attention grâce à l'aspect immersif, qui tient en partie de la forte multimodalité des jeux.

Questions de recherche

Suite aux réflexions théoriques présentées dans les 5 premiers chapitres, qui ont été menées durant la première phase, de recherche, du projet LICl, mes problématiques de recherche ont été redéfinies et précisées. Je propose ici un rappel des cinq questions posées dans l'introduction et, pour chacune d'elles, un bilan à partir des informations extraites de mes lectures.

- Quelle est l'influence de la dyslexie sur les difficultés rencontrées lors du parcours scolaire ?

D'après les éléments réunis dans les chapitres 1, 2 et surtout 4, il est possible de dresser une image assez précise de l'incidence de la dyslexie sur le parcours scolaire. Tout d'abord, la dyslexie induit de grandes difficultés lors de l'apprentissage de la lecture et en raison de l'origine neuro-développementale de ce trouble, il est probable que les difficultés perdurent jusqu'à l'âge adulte. Les exercices orthophoniques, les stratégies d'apprentissage et les logiciels d'aide pour les dyslexiques vont permettre, non pas d'effacer mais de compenser ces difficultés. Cependant, la reconnaissance du trouble et son acceptation, autant par la personne touchée que par son entourage, familial, médical et scolaire, sont indispensables pour une bonne prise en charge. L'obtention d'aménagements dans le parcours scolaire, comme le suivi par une personne spécialisée, le tiers temps supplémentaire lors des évaluations et l'accès à un ordinateur sont également déterminants pour permettre à l'élève dyslexique d'évoluer dans de bonnes conditions. J'ajouterai que l'entourage des élèves dyslexiques doit également veiller à son soutien psychologique, d'une part, car la situation d'échec rencontrée par les dyslexiques peut entraîner un grand découragement et avoir des incidences sur tous leurs parcours de vie. D'autre part, l'entourage des élèves dyslexiques doit également faciliter leur orientation vers des activités et des formations scolaires adaptées au mieux à leurs envies et leurs compétences, qui peuvent être diverses selon la forme de dyslexie en question. Enfin, un travail devrait être fait au niveau des modalités d'enseignement et d'évaluation, pour permettre l'inclusion des différents profils d'apprenants, dont les dyslexiques font partie. Ce travail passe dans un premier temps par une adaptation des supports d'apprentissages, avec le recours à d'autres modalités que l'écrit : l'usage de l'oral, de représentations graphiques, de cartes, mais aussi de vidéos, de jeux ou d'autres possibilités apportées par les nouvelles technologies. Dans un deuxième temps, il sera nécessaire de proposer le même genre d'adaptation en ce qui concerne l'évaluation des élèves. Tous ces nouveaux procédés devant bien sûr être adaptés à l'âge des élèves selon leurs niveaux respectifs.

- Comment l'usage de cartes heuristiques peut soutenir l'apprentissage, compléter ou remplacer la lecture de texte ?

La première partie de cette deuxième question a été traitée de façon assez exhaustive dans le chapitre 3. L'usage pédagogique des cartes est très intéressant dans l'objectif de varier les modalités de présentation de l'information. Elles sont utiles à la fois en tant que support pour apprendre, mais aussi, et surtout, car c'est l'usage qui en a été le plus fait à ma connaissance, elles sont utiles comme moyen d'expression pour les élèves. La grande liberté de composition des cartes permet à des élèves avec des profils, intellectuels ou logiques, très différents, d'exprimer leurs idées mais aussi de représenter leurs connaissances afin de les sauvegarder et de les mémoriser d'une façon adaptée à leur propre schéma cognitif. La deuxième partie de la question, par contre, reste en suspens. Les recherches sur l'usage des hypertextes montrent qu'une structure formée de liens et de nœuds peut remplacer ou compléter les informations contenues dans un texte. Cependant, les études sur l'usage de carte comme complément à des fins de compréhension d'un texte sont rares. De plus, de telles études ne concernent pas particulièrement les dyslexiques. Or, les difficultés connues posées par les hypertextes : la surcharge cognitive et la désorientation, sont très similaires aux difficultés rencontrées par un dyslexique devant un texte standard. Un élève dyslexique confronté à une carte va-t-il être submergé par l'ajout de ces sources de surcharges cognitives ou la surcharge propre à la carte va-t-elle affecter un élève dyslexique différemment compte-tenu de sa manière de raisonner alternative au schéma linéaire classique que suit les textes. Je propose de désigner ce type de raisonnement, en opposition au raisonnement linéaire, par l'expression « raisonnement explosif ». En effet, même si l'on ne sait pas si la manière de raisonner différente de certains dyslexiques est une cause ou une conséquence de leurs difficultés à manier les textes, cette différence semble importante et elle risque de jouer un rôle dans le comportement des dyslexiques face à une représentation sous forme de carte. Pour répondre à ces nouvelles interrogations, il a été décidé de mener, au sein du projet LIC1, une expérimentation exploratoire, qui sera présentée dans le Chapitre 7.

Le point clé qui motive notre expérimentation est de définir l'apport d'une carte générée à partir du texte, pour l'aide à la compréhension. En effet, comme je l'ai exposé précédemment, la réalisation de cartes est conseillée dans certains cadres comme l'aide à l'organisation ou l'aide à la rédaction, mais pour comprendre un texte, la carte est-elle profitable ? Que va-t-il advenir des bénéfices d'une carte qui ne serait non pas réalisée par l'élève dyslexique, mais qui lui serait directement fournie avec le texte ? Qu'en est-il de la compréhension de cette carte ?

L'objectif de l'expérimentation exploratoire sera de répondre à ces interrogations, reformulées en une nouvelle question de recherche :

- (1) Les cartes heuristiques sont-elles un support efficace pour l'aide à la compréhension de textes pour les apprenants dyslexiques ?

La troisième question posée en introduction, était :

- Que permettent les outils de compensation et de remédiation pour les dyslexiques et comment les compléter ?

L'un des objectifs principaux du projet LICl est de compléter les outils d'aide et de remédiation pour les dyslexiques déjà existants. Comme je l'ai présenté dans le Chapitre 5, de nombreux outils ont été développés, parfois ils ont été imaginés pour l'aide aux dyslexiques mais souvent ils ont été détournés de leur usage premier et adapté au public en difficulté de lecture. Pour faire le point, je vais lister quelques-uns de ces outils. Parmi les outils d'aide à la lecture, on retrouve : la synthèse vocale, tous les outils de mise en forme (espacement, police de caractère, mise en valeur de certaines lettres ou des lettres de muette), les outils de coloration syllabique ou de coloration syntaxique, les OCR (outils de reconnaissance optique des caractères) et enfin les outils de résumé automatique ou d'identification du thème d'un texte. Parmi les outils d'aide à l'écriture, on retrouve : la dictée vocale, les outils d'aide à la prise de note, les prédicteurs de mots ou de phrases, les outils de retour vocal (ou écho oral), les dictionnaires et conjugueurs, les correcteurs automatiques (orthographiques ou grammaticaux), l'*Écrivain* (qui est propre à Médialexie) et enfin les outils de création de cartes, heuristiques ou conceptuelles. À cela, on peut ajouter d'autres outils comme le clavier visuel et les différents outils capables d'effectuer des actions précises en fonction de certains intrants produits par l'utilisateur. Ces intrants sont dépendants de la modalité utilisée : il peut s'agir de mots-clés prononcés par l'utilisateur dans le cas d'un outil de reconnaissance de la parole, de la direction du regard dans le cas d'un outil d'*eye-tracking*, ou encore, des gestes dans le cas d'un outil de détection des mouvements de l'utilisateur (tel que la *Kinect*).

Je note un point intéressant : si les outils sont parfois focalisés sur une tâche très particulière, leur application à l'un ou l'autre trouble (du langage ou des apprentissages) est rarement bien défini. C'est à dire que différents types de "dys" peuvent bénéficier de l'usage de la plupart des outils. Étant donné le flou qui existe dans les diagnostics et les nombreux cas de troubles associés, cette pluralité d'outils et ce manque de spécialisation de chacun d'eux semble être une bonne chose, puisque les outils affichent une variété similaire au public ; à condition, toutefois, que les personnes en difficultés soient bien accompagnées dans leur choix. Il est en effet capital, pour toute personne souffrant de troubles du langage, d'utiliser des outils d'aide adaptés, faute de quoi elle risque de perdre du temps, d'augmenter sa frustration et de se ressentir à nouveau en situation d'échec, comme lorsqu'elle se trouve en situation de lecture et d'écriture classique. Le même enjeu est posé par le problème de la formation aux outils.

J'ai pu constater, en travaillant avec l'équipe de Médialexie, que de nombreux clients venaient acheter les outils de Médialexie après que leurs enfants dyslexiques se sont retrouvés en situation d'échec, face à des outils d'aide qu'ils n'arrivaient pas à utiliser. Généralement, soit ces familles avaient optées pour des solutions gratuites, que l'on trouve en ligne pour presque tous les outils listés plus haut, soit elles s'étaient vu "prescrire" des outils tel que Dragon (Nuance, n.d.) par une MDPH. Dans le premier cas, les outils sont

souvent intéressants et performants, mais aucune aide n'est fournie, ni pour les installer, ni pour les utiliser, alors la moindre difficulté, comme l'absence d'un fichier nécessaire à l'installation ou l'incompréhension de l'interface de l'outil, va amener à l'abandon de l'outil. Cet abandon peut signifier un rejet définitif de toute aide informatisée. Dans le second cas, les outils comme Dragon sont très performants mais ne sont simplement pas adaptés pour le public souffrant de trouble de langage. Pour illustrer ce propos, il suffit de voir la liste de phrases que l'utilisateur doit lire, avant sa toute première utilisation, pour que l'outil détermine son "profil" de voix. Cette liste est beaucoup trop longue et contient un vocabulaire trop riche pour un enfant dyslexique, ce qui entraîne souvent l'abandon du logiciel, acheté par la MDPH, avant qu'il n'ait été utilisé une seule fois.

Il résulte de ces constatations qu'un travail de coordination important doit être mené entre les MDPH, qui sont habilitées à financer l'achat de logiciels, les créateurs de logiciels et les professionnels de santé, qui suivent les personnes dyslexiques, comme les orthophonistes. L'équipe de Médialexie comprend un formateur qui explique longuement l'interface et les différentes fonctionnalités de chaque outil à tous les clients, ce qui est indispensable mais n'est pas suffisant pour résoudre le problème global. Il est nécessaire que chaque personne soit accompagnée par un professionnel de santé dans l'usage, mais aussi dans le choix, d'outils adaptés. Pour cela, il faudrait que les professionnels de santé soit compétents dans le domaine des solutions logicielles, et donc formés à l'ensemble des outils. L'idéal serait qu'ils connaissent les différentes solutions, gratuites et payantes, et qu'ils soient les décideurs, ou au moins les partenaires des MDPH, concernant les prescriptions et les remboursements des outils d'aide.

Concernant la deuxième partie de la question : "comment compléter les outils existants", de nombreux travaux sont encore à mener. Ces travaux doivent être de deux types. D'une part, l'évaluation des outils existants doit être poursuivie, car elle n'est pas suffisamment complète et systématique, et d'autre part de nouveaux outils doivent être développés pour apporter une aide sur des difficultés non traitées par les outils existants.

Au niveau de l'évaluation, des recherches ont déjà montré l'apport de certains outils et, point important, des travaux ont montré comment les outils peuvent ramener une équité dans le système scolaire en améliorant les performances des dyslexiques à la hauteur des normo-lecteurs, sans pour autant leur donner un avantage. La résolution de ce problème est déterminante pour faire accepter l'usage des outils d'aide non seulement en classe mais aussi aux examens. Il est d'ailleurs important de comprendre qu'une aide à des personnes en difficultés ne pénalise en aucun cas les autres apprenants et que l'objectif d'un enseignement est avant tout que chaque élève atteigne la maîtrise des connaissances cibles.

Il est certainement possible de développer encore de nombreux outils, plus spécialisés dans certaines tâches ou qui n'ont même pas encore été imaginés. Le projet LICl, par l'apport d'un nouvel outil, vise à combler un vide, en matière d'aide à la compréhension de texte (pour

laquelle aucun outil dédié n'existe). L'outil LICl vise aussi à explorer davantage l'aide à l'apprentissage, en utilisant le mécanisme de stimulation par la manipulation de carte. En effet, celles-ci semblent bénéfiques à la fois en termes de liberté d'expression de la pensée et en termes de mémorisation des concepts selon les différentes études vues dans le Chapitre 3.

De plus, il est à noter une hypothèse importante, mettant en relation la théorie de l'intégration sémantique, lors de la lecture, et la représentation des informations sous forme de carte. D'une part, d'après Coirier et al. (1996) une fois lu, le texte est transformé en une structure de connaissances, un graphe, lors du processus cognitif de compréhension. D'autre part, d'après Cress et Knabel (2003), la structure des hypertextes serait analogue à l'architecture cognitive humaine et donc permettrait potentiellement une intégration directe de l'information, beaucoup plus facile que l'intégration faite *via* la lecture de textes linéaires. Je fais référence plus précisément au phénomène nommé par les auteurs "hypothèse de plausibilité cognitive" (*the cognitive plausibility hypothesis*). Suivant ces deux hypothèses théoriques, l'outil LICl par sa fonction de cartographie automatique du texte devrait fortement faciliter l'intégration d'un texte, en proposant une structure presque directement assimilable par l'architecture cognitive humaine.

Enfin, les quatrièmes et cinquièmes questions posées en introduction m'ont, elles aussi, amenées à lire des articles de recherche, mais elles sont intrinsèquement liées au développement de l'outil LICl. Ainsi, elles restent, formulées tel quel, des problématiques de recherche devant être résolues au sein de la deuxième partie de mon travail de thèse :

- (2) Comment extraire automatiquement les informations essentielles contenues dans un texte ?
- (3) Comment présenter ces informations pour faciliter leur lecture et l'accès au sens du texte ?

La question (2) sera traitée dans le 0.

La question (3) met surtout en jeu l'ergonomie de l'outil LICl. Afin d'optimiser l'apport des cartes, il va être nécessaire de définir les meilleures conditions d'utilisation, tels que le nombre de nœuds affichés, le nombre de liens et le type de liens les plus pertinents. Le nombre de niveaux peut être aussi une caractéristique intéressante à définir pour le cas d'une carte hiérarchisée.

Dans la 0, j'expliquerai comment j'ai essayé de répondre à ces nouvelles problématiques de recherche, d'une part en montant une expérimentation exploratoire et d'autre part en développant l'outil LICl. Avant cela, je présenterai les différentes contraintes qui m'ont été imposées pour réaliser le logiciel et les outils informatiques, langage et bibliothèques de fonctions, que j'ai choisi d'utiliser pour coder ce dernier.

Partie 2. Le projet LICHI : expérimentation exploratoire et développement du logiciel

Chapitre 6. Les éléments de conception du LICI

Dans ce chapitre sont détaillés les objectifs définis au départ du projet pour l'outil LICI. Ce qui inclut les idées, les souhaits mais aussi les contraintes imposés par l'entreprise Médialexie pour le développement de l'outil. Dans un premier temps, je présenterai une analyse du besoin de départ. Ensuite, je discuterai des contraintes supplémentaires et j'évoquerai certaines pistes de développement qui avaient été imaginées à l'origine. Pour ce faire je m'appuie notamment sur les schémas classiques d'analyse fonctionnelle, issus de la méthode *APTE* (Bretesche, 2000): la "bête à corne", pour la première partie d'analyse du besoin, et la "pieuvre", elle-même basée sur le tableau des fonctionnalités. Puis, j'expliquerai comment et pourquoi j'ai constitué un exemplier de texte sur lequel je me suis appuyé tout au long de la conception de l'outil LICI. Enfin, j'aborderai les choix de réalisation technique que j'ai faits pour coder l'outil lui-même. Premièrement, le choix du langage de programmation, mais aussi le choix de la structuration du programme pour lequel j'ai opté afin que le LICI puisse t'être intégré au mieux dans la barre d'outils de Médialexie.

6.1. Cahier des charges fonctionnel

6.1.1. Contexte

Pour rappel, le sigle LICI signifie Logiciel Intelligent de Cartographie Inversé. C'est le nom du projet qui a été donné par Gilles Vessière, le gérant de l'entreprise Médialexie, qui a lancé l'idée de ma thèse en contrat CIFRE. La volonté de développer l'outil LICI part à la fois d'un constat et d'une demande. Premièrement, certaines difficultés des élèves dyslexiques n'étaient pas encore suffisamment compensées par les outils déjà disponibles dans la barre Médialexie, et même par les outils existants de manière générale. Deuxièmement, certains clients de Médialexie avaient exprimé leurs retours positifs sur l'*Imagineur*, l'outil permettant de dessiner des cartes heuristiques, mais ils souhaitaient disposer d'un outil d'aide qui leur permettrait de construire ces cartes de façon automatique, afin d'ensuite les retravailler et les comprendre, plutôt que de devoir lire des textes afin de les créer.

Les difficultés que l'outil LICI doit compenser comptent parmi celles identifiées dans le Chapitre 1. Les personnes atteintes de trouble de la lecture ont une lecture lente et couteuse en mémoire de travail. Ceci rend la lecture pénible et la pénibilité implique un découragement. Ainsi, si un élève est amené à lire un long texte ou plusieurs textes, il risque de ne jamais atteindre la fin de sa lecture et donc de potentiellement passer à côté d'éléments cruciaux à la compréhension du texte. De plus, mécaniquement, une lecture

lente implique une difficulté à accéder au sens du texte. En effet, plus la lecture est ralentie, plus les éléments en mémoire de travail risquent d'être perdus avant d'avoir été mis en relation avec les nouveaux éléments rencontrés au fil de la lecture. L'accès au sens du texte s'en trouve alors d'autant dégradé. L'outil LICI fait donc face à un double enjeu, à la fois aider à la compréhension, par l'accès facilité aux informations contenues par le texte, mais aussi permettre de réduire le temps d'effort, de mémoire et de concentration nécessaires pour lire une grande quantité de texte, que ce soit un ou plusieurs textes dont la lecture est nécessaire pour remplir une tâche donnée.

De nombreux outils avaient déjà été développés par Médialexie pour faciliter la lecture, notamment des aménagements visuels et sonores, et pour faciliter l'écriture, dont la planification et la rédaction, mais aussi les correcteurs orthographiques, qui s'appuient sur la morphologie ou sur la phonétique, comme je l'ai expliqué dans le Chapitre 5. Cependant, un seul outil était dédié au sens du texte, un outil permettant d'extraire automatiquement un thème et quelques phrases, supposées porter les éléments clés du texte. Cet outil n'était pas assez performant et pas suffisamment complet. L'objectif de l'outil LICI était donc d'être plus performant et de se focaliser sur l'aide à la compréhension du texte, tout en étant parfaitement intégré à la barre d'outils Médialexie, pour faire bénéficier aux utilisateurs des avantages déjà existants.

La possibilité de créer un outil qui aiderait à la compréhension du texte grâce à des images avait aussi été envisagée au départ du projet. Une fois les mots-clés repérés, il aurait été possible de faire appel à une banque d'image et l'image correspondant à chaque mot-clé serait apparue sur la carte. Cependant, la polysémie de nombreux mots est un frein à l'emploi de ce mode de représentation. Pour le mot "café" par exemple, trois images, au moins, peuvent se présenter : le lieu (comme un bar), la tasse de café ou encore le grain de café. Effectuer un traitement automatique pour déterminer quelle représentation est la bonne grâce au contexte nécessite le recours à des ressources tierces, comme par exemple un arbre d'ontologie complet du français, et reste un véritable challenge.

6.1.2. Analyse des besoins

L'objectif déclaré de l'outil LICI est d'aider les collégiens dyslexiques dans leurs tâches scolaires. Plus particulièrement dans la manipulation et la compréhension des textes auxquels ils sont confrontés. Cela inclut, de façon non exhaustive :

- l'apprentissage de leurs leçons, que ce soit sur un livre scolaire, un document distribué par le professeur, ou une leçon dictée par le professeur,
- les travaux de documentation qu'ils sont amenés à faire, notamment sur internet en lisant des articles (actualités, wikipédia, site internet consacré à un thème étudié au collège, etc...)

- les exercices d'analyse de texte, pour lesquels les élèves doivent lire puis répondre à des questions

C'est ce besoin que l'on retrouve avec la "bête à cornes", représentée sur la Figure 6.1.

A qui le produit sert-il ?

Sur quoi agit-il ?

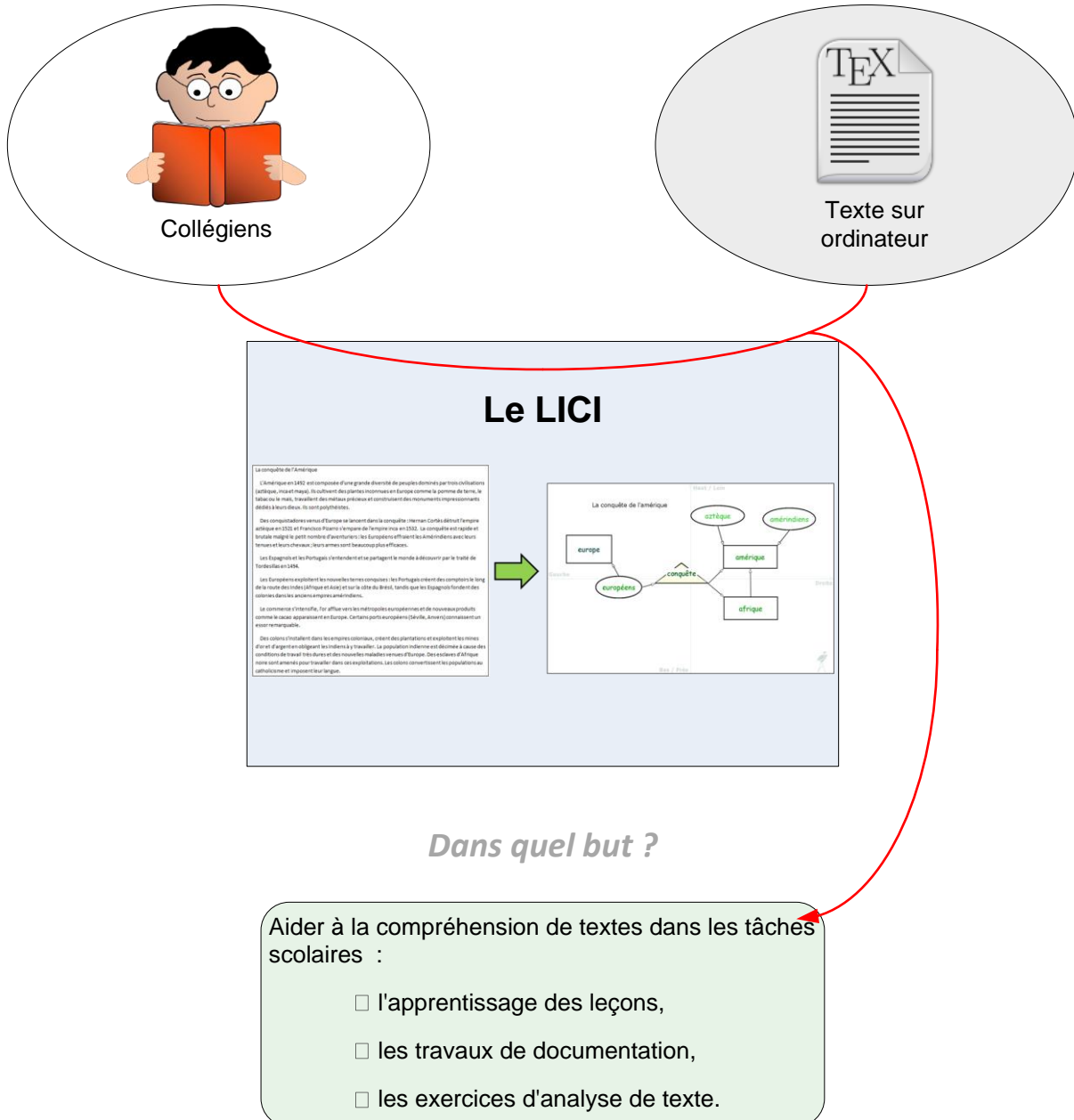


Figure 6.1 La "bête à cornes" décrivant l'analyse du besoin pour le projet LICI

De façon basique, le LICI doit être capable de recevoir un texte en entrée, le traiter de façon "intelligente", c'est à dire calculer un ensemble de termes clés et fournir une représentation schématisé du texte sous forme de carte heuristique comprenant ces mots-clés. Ceci afin de

soulager les utilisateurs d'une partie de la tâche d'assimilation du texte et afin de contourner la représentation linéaire de l'information pour une représentation davantage spatiale et multimodale.

6.1.3. Fonctionnalités principales

Le LICI doit contenir un certains nombres de fonctionnalités minimales, dites principales (notées FP suivi d'une numérotation) et doit également répondre au plus possible de fonctionnalités complémentaires (notées FC), tout en se pliant à des contraintes.

Dans les fonctionnalités principales, on retrouve d'abord la capacité d'extraire les termes-clés d'un texte (FP1) et d'organiser ceux-ci sous la forme d'une carte heuristique (FP2). Deuxièmement, la capacité d'accéder directement par un clic au texte original à partir de la carte générée automatiquement, pour créer une cohérence entre la carte et le texte (FP3). Troisièmement, de pouvoir modifier la carte générée de façon dynamique, afin de l'adapter à la vision de l'utilisateur (FP4). Ceci inclut la possibilité d'ajouter ou de supprimer des nœuds, de modifier des nœuds, de les déplacer, de changer les couleurs, les polices, l'espacement entre les caractères, etc. Enfin, le LICI doit être capable d'extraire automatiquement les phrases clés d'un texte et de les proposer *via* un lien hypertexte (FP5), cette fonctionnalité venant se substituer à celle qui était disponible auparavant dans la barre d'outils Médialexie mais qui était jugée peu pertinente, de par son statut de fonctionnalité isolée.

6.1.4. Contraintes techniques

Concernant les fonctionnalités complémentaires, on retrouve tout d'abord des fonctionnalités très importantes, mais qui étant déjà disponibles avec les autres outils de Médialexie n'auront pas à être redéveloppées. En effet, il suffit que le LICI permettent d'accéder à celles-ci pas des liens hypertextes ou des menus *via* un clic sur certains éléments. Il s'agit notamment de la possibilité de consulter des dictionnaires et des dictionnaires des synonymes à partir d'un mot donné, mais aussi de pouvoir faire lire un mot, un groupe de mots ou une phrase par le lecteur de synthèse, sans sortir de l'interface du LICI (FC1). En plus de cette compatibilité avec les outils, l'outil développé doit générer une carte suivant un format de fichier qui permet d'être affiché dans l'interface de l'*Imagineur* (FC2). Cette contrainte est à la fois un avantage et un inconvénient. Un avantage car l'interface est d'ores et déjà développée et propice à l'intégration avec les autres outils de Médialexie. Un inconvénient car le format de fichier nécessaire est un format XML complexe qui ne respecte pas les standard XML, mais aussi parce que respecter ce format limite les possibilités d'idées novatrices qui seraient propres au LICI en terme d'interface.

Enfin, dernier pôle de fonctionnalités complémentaires, plus que l'intégration à la barre d'outils Médialexie, le LICI doit permettre des échanges avec les autres outils, que ce soit

ceux existants ou les outils futurs. Ainsi, les résultats des fonctions de calcul du LICI doivent être disponibles à l'extérieur du moteur de calcul lui-même, pour pouvoir être utilisées dans un autre contexte (FC3). Ces résultats sont le produit du logiciel avant affichage, ils doivent comprendre au minimum : une liste de termes clés, une liste de phrases clés, la liste de liens entre les termes clés ainsi que la valeur de ces liens.

Fonctions principales	Fonctions complémentaires ou contraintes
FP1 : Extraire les termes clés du texte	FC1 : Produire un format permettant l'intégration aux autres outils de Médialexie
FP2 : Présenter l'information sous la forme d'une carte heuristique	FC2 : Produire un format permettant l'affichage avec l'interface de l' <i>Imagineur</i>
FP3 : Fournir un lien d'accès direct entre les termes clés et le texte	FC3 : Fournir un accès aux données calculées par l'outil
FP4 : Permettre de modifier la carte dynamiquement	FC4 : Fournir un accès aux réglages des paramètres d'affichages
FP5 : Extraire les phrases clés du texte	FC5 : Fournir un accès aux réglages des paramètres de calculs
	FC6 : Contenir des fonctionnalités novatrices et des procédés exclusifs
	FC7 : Être indépendant et libre en termes de licence

Tableau 6.1 Fonctionnalités et contraintes déterminés par le cahier des charges du LICI.

De plus, un fichier externe au code du programme, au format texte, doit permettre d'effectuer des réglages sur les calculs (FC5) et sur l'affichage des résultats (FC4). Par exemple, les autres développeurs de l'équipe de Médialexie doivent pouvoir changer les préférences en termes de nombre de termes clés affichés pour un texte donné ou encore de nombre de liens maximum affichés sur la carte générée. Ceci permettra d'avoir différents niveaux de complexité pour les cartes générées et il est prévu qu'un utilisateur expert du logiciel puisse choisir entre plusieurs niveaux de complexité préétablis.

6.1.5. Contrainte commerciale

En plus des contraintes techniques, une autre contrainte s'est ajoutée et a influencé le choix de développement de l'outil LICI. L'entreprise Médialexie, avait besoin d'être entièrement propriétaire du logiciel, pour le vendre selon ses propres dispositions. Cela impliquait plusieurs choses. D'une part, il était exclu d'utiliser des fonctions d'autres programmes distribués sous une licence qui impose de donner un accès libre à tout le programme (FC7). C'est notamment le cas des licences des logiciels libres ou de certains logiciels développés par des chercheurs. Je reviendrai sur ce point en donnant des exemples dans le 0, présentant le développement du programme lui-même. D'autre part, l'équipe de Médialexie souhaitait disposer d'une exclusivité sur au moins une partie du programme afin que celui-ci ne puisse pas être reproduit tel quel par une personne extérieure consultant des

publications de mes travaux de recherche (FC6). Le Tableau 6.1 rassemble l'ensemble des fonctions et contraintes déterminées à l'origine du projet. Il permet aussi de dessiner le diagramme de la "pieuvre", Figure 6.2, qui délimite le périmètre de la solution et récapitule les éléments et acteurs concernés par l'outil que je devais développer.

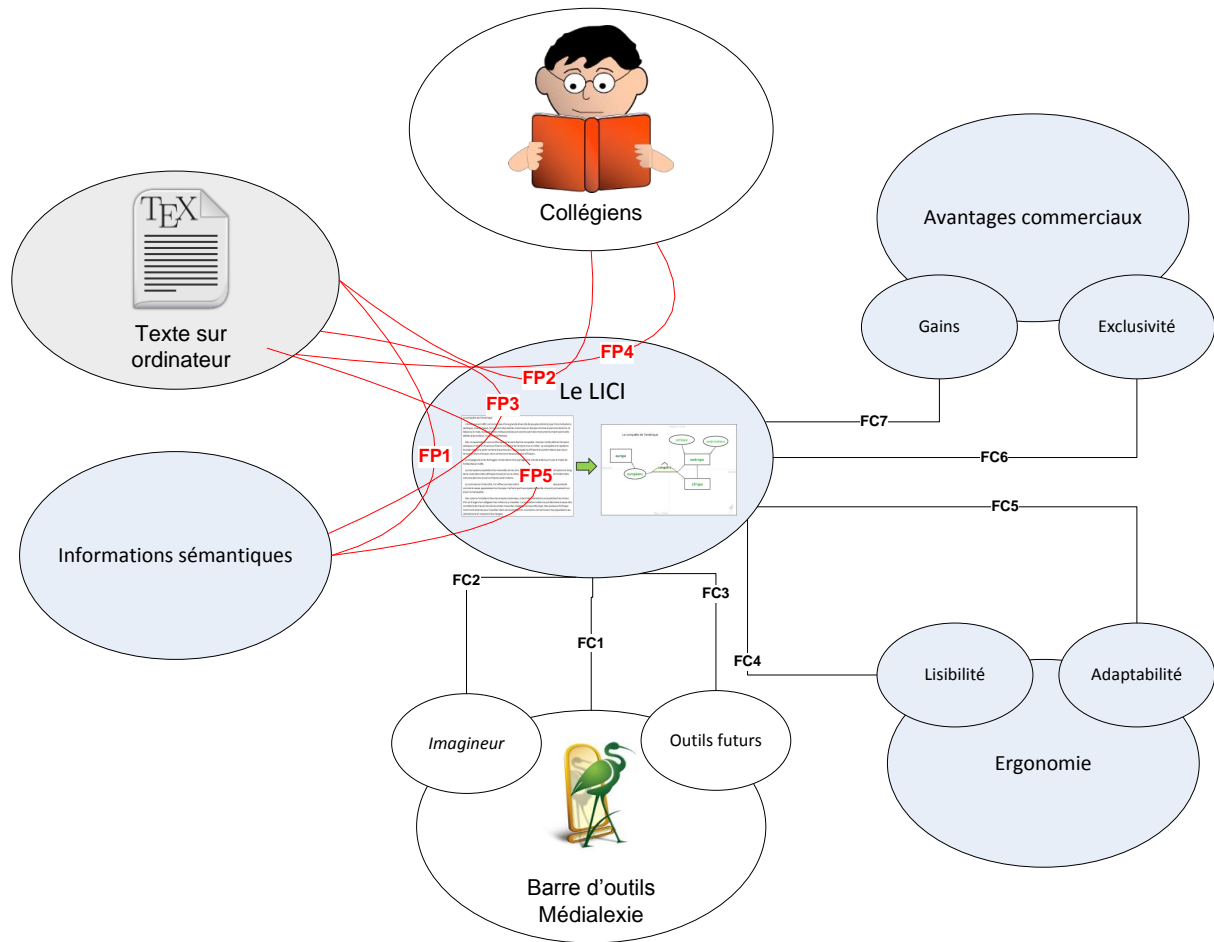


Figure 6.2 Diagramme de la "pieuvre", représentant les fonctions et contraintes attendues pour le développement du LICI.

6.2. Exemplier de textes

Dans l'objectif du développement de l'outil LICI et avant de commencer sa réalisation, j'ai effectué un travail de recherche pour constituer un petit corpus de textes. Ces textes devaient être appropriés pour le futur public de l'outil, c'est à dire des élèves de début de collège, conformément aux objectifs fixés avec l'équipe de Médialexie. Je préfère utiliser le terme d'exemplier de texte, pour ce petit corpus, d'une part au vu de sa taille et d'autre part, par rapport à l'absence de fichiers de métadonnées associés aux textes qui sont essentiels à l'objet "corpus".

6.2.1. Objectifs de l'exemplier

L'exemplier de textes constitué au cours du projet LICl a trois objectifs principaux. D'abord, il servira à calibrer l'outil, c'est à dire à le tester sur des textes crédibles, semblable aux textes qui seront rencontrés par les futurs utilisateurs du LICl. Ainsi, à chaque version du programme, pendant sa conception, afin de tester les différentes étapes de traitement, ou de comparer différentes méthodes de calcul ou d'affichage, l'algorithme sera testé sur tous les textes de l'exemplier. De façon pratique, cela permet, d'une part d'adapter le programme au type de textes sur lequel il sera utilisé, et d'autre part, au fur et à mesure du développement, en se familiarisant avec les textes de l'exemplier, de mieux évaluer la pertinence des cartes générées. En effet, l'évaluation de la justesse de représentation du texte par la carte est difficile si le programme est testé avec un matériel différent à chaque phase. Plus les textes sont maîtrisés, plus il est facile de se faire une idée concrète de ce qui doit être mis en avant sur la carte générée automatique. Enfin, si l'exemplier est d'une taille relativement "grande", par exemple une vingtaine de textes, cela permet d'éviter, au contraire de l'argument précédent, de toujours tester avec un seul texte et de passer à côté de bugs ou de problèmes qui adviennent en condition réelle d'utilisation. Concernant ce dernier point, la méthode que nous avons employée, a été d'ajouter au fur et à mesure des tests du programme, de nouveaux textes, hors de l'exemplier original, afin de tester sa souplesse à d'autres types de texte mais aussi d'autres types d'encodage des caractères. Ces textes étaient proposés par des membres de l'équipe de Médialexie, qui les connaissait bien, afin de pouvoir juger rapidement de la pertinence du LICl, sans avoir besoin de prendre connaissance de mon exemplier original. Parmi ces textes, se trouvaient, par exemple, *Le Petit Chaperon Rouge*, des essais philosophiques, un article de biologie sur les espèces de requins ou encore des extraits du Coran. Puisque ces ajouts ont été progressifs, cela m'a également permis de me familiariser avec ces divers textes. Enfin, ces ajouts ont aussi permis de définir une limite aux types de texte pouvant être traités, puisqu'adapter le programme à de nouveaux types de texte peut à tout moment faire chuter les performances sur l'exemplier original, alors qu'il représente les textes les plus pertinents à traiter.

Concernant ses autres attributions, l'exemplier devait également jouer le rôle de corpus de référence, dans l'hypothèse où les calculs de termes clés effectués par l'algorithme du LICl pour dessiner ses cartes auraient besoin de recourir à un tel corpus. En effet, parmi les méthodes de calculs des mots-clés d'un texte, dans le domaine de la recherche d'information, les algorithmes les plus populaires comparent les fréquences d'apparitions des mots dans un texte à la fréquence d'apparition usuelle de ces mots, en s'appuyant sur un corpus de textes de même type et/ou de texte suivant la même thématique. Je reviendrai sur ces méthodes et sur celles que j'ai finalement employées dans le 0.

Enfin, l'exemplier était aussi une anticipation sur la sélection de textes que je devais faire pour l'expérimentation. Ce sont donc des textes de cet exemplier qui ont servi de matériel,

autant pour les essais préalables que pour l'expérimentation finale, que je présente dans le Chapitre 7.

6.2.2. Constitution de l'exemplier

Pour effectuer la sélection de textes composant l'exemplier, je me suis référé à plusieurs critères. Tout d'abord, un critère thématique, les textes devant au maximum s'approcher de ceux rencontrés par les jeunes collégiens pendant leurs activités scolaires, en classe et à la maison. De la même façon, le niveau de difficulté des textes devait correspondre également au public. Ensuite, l'outil LICI devant être capable de proposer des retours sur des textes relativement courts, tel que les élèves en lisent en cours, l'exemplier devait être constitué en grande partie de texte courts, l'équivalent d'une à deux pages d'un manuel scolaire classique. Enfin, je devais me fournir des textes que je serai libre de partager avec mon outil et avec mes travaux de recherche, surtout dans le cas où l'algorithme de calcul des termes clés, affichés par la carte, s'appuierait sur mon exemplier.

6.2.2.1. Le programme scolaire

Je me suis d'abord renseigné sur les thèmes abordés en classe, principalement en 6ème, en consultant les programmes scolaire (Ministère de l'Éducation Nationale, 2008a). Nous avons déterminé les matières sur lesquelles l'outil devait apporter de l'aide aux élèves avec l'équipe de Médialexie : Français, Histoire et Géographie.

Le programme de français (Ministère de l'Éducation Nationale, 2008b) se concentre sur la lecture de :

- Littérature du moyen âge et de la Renaissance (ex : Romans de chevalerie de Chrétien de Troyes) ;
- Récits d'aventure (ex : Robinson Crusoé, Croc Blanc, L'île au trésor...)
- Poésie (jeux de langage) ;
- Les fables de La Fontaine ;
- Théâtre (la comédie, Molière...).

Je note, ici, plusieurs liens entre mes travaux et les conseils en termes de moyens et de méthodes pédagogiques qui sont mentionnés par le programme scolaire officiel. Premièrement, le programme scolaire préconise l'utilisation des TIC, notamment des traitements de textes. C'est un exercice difficile pour les dyslexiques et les autres élèves sujets à des troubles des apprentissages et/ou des troubles de motricité. Cette préconisation justifie, une fois de plus, l'usage d'outils d'aide informatisés adaptés. Deuxièmement, il est fait mention dans le programme scolaire d'« écrits à partir de supports divers permettant de développer des qualités d'imagination (images, objets, documents audio-visuels), notamment en relation avec les œuvres étudiées dans le cadre de l'histoire des arts. » (Ministère de l'Éducation Nationale, 2008, p.6). Sans les nommer directement, ce conseil

promeut l'utilisation de cartes (ou de schémas). Troisièmement, j'ai relevé un dernier point, très intéressant : le programme de français propose une méthode pédagogique mettant en œuvre la création d'un réseau de mots (clés). C'est justement le travail pour lequel le LICl va assister les élèves en difficulté :

"Pour mettre ce travail en cohérence avec les activités de lecture et d'écriture, le professeur construit des réseaux de mots à partir d'entrées lexicales choisies en relation avec les œuvres étudiées. Il peut, par exemple, privilégier les pistes suivantes :

- le portrait physique et moral ;
- l'univers médiéval ;
- paysages et décors ;
- le rire."(Ministère de l'Education Nationale, 2008, p.5)

Le programme d'histoire aborde les thèmes et périodes suivants :

- Les débuts de l'Islam ;
- L'occident Féodal ;
- Regards sur l'Afrique ;
- Vers la modernité.

Pour finir, le programme de géographie se concentre sur :

- La question du développement durable ;
- Des sociétés inégalement développées ;
- Des hommes et des ressources.

De plus, il est précisé dans le programme officiel que « L'analyse de documents et la maîtrise de l'expression écrite et orale concernent toutes les parties du programme. » (Ministère de l'Education Nationale, 2008a). Ce qui met de nouveau l'accent sur l'impossibilité de contourner le problème de la lecture et de l'écriture dans un parcours scolaire classique et confirme la grande utilité des outils de compensation.

Pour la sélection des textes de l'exemplier, nous avons pris des décisions en commun accord avec mon premier directeur de thèse. Ainsi, j'ai dû trouver des textes qui regroupaient des thématiques communes à deux matières. Dans cette optique, j'ai constitué deux groupes thématiques :

- Le thème de l'univers médiéval (comme suggéré par le programme de français), commun au programme de français et d'histoire ;
- Le thème des pays en développement, dans le programme de géographie, en partie lié avec les textes sur l'histoire Africaine du programme d'histoire.

6.2.2.2. Les sources de textes

La source la plus évidente pour créer l'exemplier que nous souhaitons est évidemment un manuel scolaire. Cependant, les manuels scolaires classiques ne sont pas libres en termes de droit d'utilisation. Ils sont donc d'une part difficiles à partager et d'autre part, ils ne sont pas utilisables en tant que ressource pour un programme vendu par une entreprise, sans un accord commercial adéquat. Après différentes prises de contact, nous avons décidé d'utiliser des textes issus des manuels scolaires libres disponibles sur le site *lelivrescolaire.fr* (Éditions Lelivrescolaire.fr, 2013). Ces manuels scolaires ont été conçus de façon collaborative par une communauté d'enseignants multidisciplinaire. À l'origine 100 enseignants participaient à cette élaboration et ils sont maintenant plus de 1500. Tous ces enseignants sont coauteurs du contenu des manuels. De plus, bien qu'il existe une version papier payante de ces manuels, la version en ligne est interactive, agrémentée de nombreuses illustrations et librement accessible et utilisable. Pour être plus précis, les contenus de ces manuels sont publiés sous une licence Creative Commons (BY SA NC), permettant à chacun de les utiliser et de les modifier. Cependant, une telle licence ne permet pas l'usage commercial, donc ces textes ne pouvaient pas être utilisés en tant que composant du futur outil commercialisé par Médialexie.

A. Les premiers capétiens (x^e-xii^e siècle)

- Sous Hugues Capet, le royaume reste dominé par de grands seigneurs. Le roi ne gouverne directement que le domaine royal, autour de Paris.
- Les grands seigneurs attribuent des **fiefs** à d'autres seigneurs, qui deviennent leurs **vassaux**. En échange, les vassaux leur doivent fidélité et assistance, notamment pour faire la guerre.
- Le roi jouit toutefois d'un grand prestige ([doc. 1 p. 108](#)) : la cérémonie du **sacre** lui permet d'affirmer détenir son pouvoir de Dieu. Les Capétiens étendent le domaine royal par la guerre, par des confiscations, des achats et des mariages ([dossier 1](#)).

B. La construction du territoire national (xii^e-xv^e siècle)

- À partir du XII^e siècle, les rois de France imposent aux grands seigneurs de leur prêter **hommage**. Cette exigence suscite une grande rivalité avec le roi d'Angleterre, qui possède de nombreux fiefs dans le royaume.
- Les rois de France et d'Angleterre s'affrontent pendant la guerre de Cent Ans. Charles VII et Louis XI achèvent de constituer le territoire national ([dossier 2](#)).

C. Un état moderne au service de la monarchie

- Le roi dispose désormais d'une administration ([doc. 2 p. 108](#)) : il envoie des représentants, les **baillis** (au nord) et les **sénéchaux** (au sud), chargés de lever les impôts ([doc. 4 p. 109](#)), de convoquer l'armée et de rendre la justice ([doc. 3 p. 109](#)) en son nom. Il impose ses **ordonnances** dans tout le royaume.
- Le roi se réserve le privilège d'émettre la monnaie et met en place une armée permanente. Il se fait aider par le **Conseil de France**.

Les images

1. London
2. La remise de sceptre
3. La remise de robe
4. La remise de la couronne

Je retiens les personnages importants

- Philippe Auguste (1180-1223)
Il étend le domaine royal et impose son autorité aux grands seigneurs.
- Charles V (1380-1380)
Il transforme l'armée royale et reconquiert une grande partie des territoires perdus aux Anglais au cours de la guerre de Cent Ans.
- Louis XI (1423-1483)
Sacre roi en 1431, il met fin à la guerre de Cent Ans et agrandit le royaume de France.

Figure 6.3 Extrait d'une leçon d'Histoire telle qu'elle est présentée sur *lelivrescolaire.fr* (Éditions Lelivrescolaire.fr, 2013).

J'ai donc sélectionné dans les manuels du *livrescolaire.fr* un ensemble de deux fois 8 textes, rassemblés suivant les deux thèmes transversaux prédéfinis, l'un entre français et histoire et l'autre entre histoire et géographie. De plus, considérant les habitudes des collégiens, qui se rendent souvent sur des sites internet pour se documenter ou compléter leurs connaissances sur un sujet dont ils ont eu connaissance, il m'a semblé pertinent d'ajouter des articles de *Wikipédia* (2013) à l'exemplier. J'ai également extrait des articles de l'encyclopédie en ligne *Vikidia* (2013), une version de *Wikipédia* conçue à l'usage des enfants de 8 à 13 ans, dont j'ai pris connaissance grâce à des travaux de TAL sur la simplification automatique de phrases (Brouwers, Bernhard, Ligozat, & François, 2012). En effet, les articles de l'encyclopédie *Vikidia* sont calqués sur les articles de *Wikipédia*, modulo une suppression de certaines informations et une simplification de toutes les phrases. Cette

simplification est effectuée à la main par les utilisateurs et ceci en fait donc une très bonne base pour entrainer un algorithme d'apprentissage automatique à la simplification de phrases.

The screenshot shows a Wikipedia article titled "Chevalier (Moyen Âge)". The article text includes:

- « Chevalier (Moyen Âge) » expliqué aux enfants par Vikidia, l'encyclopédie junior
- Attention à ne pas confondre ! Pour les sujets ou articles dits homonymes, voir : Chevalier.
- Un chevalier est un homme qui se bat à cheval au Moyen Âge (c'est-à-dire de l'an 1000 à l'an 1500 environ). C'est avant tout un guerrier et un noble. Son premier devoir est de se battre pour son seigneur dont il est le vassal. Il doit aussi obéir à d'autres règles : sens de l'honneur, courage, loyauté envers Dieu.
- Dans les armées, il se distingue des soldats qui se battent à pied (infanterie, piétons, archers, arbalétriers, etc.). Il est le plus important d'une armée médiévale.
- Le chevalier reçoit ses armes au cours de la cérémonie de l'adoubement. Elle peut avoir lieu à partir de quatorze ans. Le jeune garçon reçoit la « paumée » (un coup au visage) pour tester sa maîtrise de soi. C'est à ce moment-là qu'il reçoit le baudrier et l'épée. Son apprentissage a commencé dès dix ans auprès d'un membre de sa famille ou d'un ami de son père.
- L'équipement du chevalier : Il porte une épée, un bouclier, une lance, un casque, une cotte de maille (appelée également haubert) ou une armure et parfois une arbalète ou un grand arc. Souvent, il porte sur son bouclier ou sur son torse un blason qui permet de le reconnaître : c'est l'écu.
- Les activités du chevalier : Son occupation principale est la guerre pour agrandir les terres de son seigneur et pour s'enrichir grâce au butin. Lorsqu'il n'est pas en guerre, il a du temps libre pour chasser, pour participer à des tournois, pour festoyer lors de banquets (qui sont de grands festins, des repas prestigieux). La chasse est un entraînement.
- Il y a deux catégories de chevaliers :
 - le « bachelier » qui n'a pas suffisamment de vassaux pour pouvoir former une « bannière » c'est-à-dire un groupe de guerriers l'accompagnant à la guerre. Le bachelier porte un pennon, sorte de drapeau terminé en pointe.
 - le « banneret » qui a des vassaux (les bacheliers) en nombre suffisant pour former une « bannière ». Le banneret porte une bannière carrée. De plus pour rallier ses hommes pendant le combat le banneret a un « cri d'armes » c'est-à-dire une devise. Ainsi les sires de Montmorency, importants seigneurs d'Ile-de-France, criaient "Dieu aide au premier baron chrétien", le cri de guerre des rois capétiens était "Montjoie Saint-Denis".
- Dans une Europe profondément chrétienne, les chevaliers, comme d'autres corps de métier, se plaçaient sous la protection de certains saints. Les saints patrons des chevaliers étaient saint Michel, saint Georges et saint Maurice.

 On the right side of the article, there is a sidebar titled "Sur les soldats" with a list of related terms: légionnaire romain, hoplite grec, Immortel perse, samourai, chevalier (Moyen Âge), and soldat du Premier Empire. At the bottom right, there is an illustration of a knight on horseback.

Figure 6.4 Extrait de l'article de Vikidia sur le chevalier.

6.2.3. Format TEI Lite et hypothèse méthodologique

Comme je l'ai expliqué précédemment, il était prévu dans un premier temps, d'intégrer pleinement l'exemplaire de texte au fonctionnement du programme. Ainsi, tous les textes que j'avais extraits de *Wikipédia* et *Vikidia*, ont été convertis dans un format XML (*eXtensible Markup Language*) dans un souci de normalisation pour effectuer facilement des traitements automatiques mais aussi dans un souci de partage et de réutilisation possible pour ce petit corpus lors de travaux à venir. Le format TEI Lite (TEI Consortium, 2012) a été choisi. Il s'agit à la fois d'un format standard de la TEI (*Text Encoding Initiative*), mais comportant moins de métadonnées, puisqu'il est réduit aux informations nécessaires et suffisantes pour l'identification de l'origine des textes. Pour effectuer ces changements de format, j'ai créé un programme qui permettait de transformer automatiquement le fichier obtenu lors de l'extraction d'un article de *Wikipédia* ou de *Vikidia*, qui ont leur propre structure XML, en un autre fichier XML au format TEI Lite (voir Figure 6.5).

Cette hypothèse méthodologique que nous avons faites sur le futur algorithme du LICI a également donné lieu à la constitution de paquets de mots-clés, qui devaient permettre d'identifier les thématiques des textes traités. J'ai donc extrait des ensembles de mots-clés liés aux thématiques définies précédemment dans les articles de mon exemplaire. Une possibilité d'utilisation de ces paquets de mots-clés était de pré-construire de petites cartes, cohérentes au niveau thématique. Ces cartes auraient pu être utilisées par le LICI pour venir compléter des informations extraites à partir du texte en cours de traitement. Si ce texte était reconnu comme contenant des informations liées aux thématiques du programme

scolaire, alors un certains nombreux de nœuds et de liens essentiels à la thématique abordée auraient été proposés, raccordés à un ou plusieurs éléments du texte, liés à cette thématique.

```

4 <TEI xmlns="http://www.tei-c.org/ns/1.0">
5 <teiHeader>
6 <fileDesc>
7 <titleStmt>
8 <title>Chevalier</title>
9 </titleStmt>
10 <publicationStmt>
11 <p>
12 Vikidia
13 </p>
14 </publicationStmt>
15 <sourceDesc>
16 <p>
17 Vikidia français
18 Article sur les chevaliers du Moyen Âge
19 http://fr.wikidia.org/wiki/Chevalier_%28Moyen_%C3%82ge%29
20 </p>
21 </sourceDesc>
22 </fileDesc>
23 </teiHeader>
24 <text>
25 <body>
26 <p> Chevalier (Moyen Âge) </p>
27 <p>
28 Un chevalier est un homme qui se bat à cheval au Moyen Âge (c'est-à-dire de l'an 1000 à l'an 1500 environ). C'est avant
29
30 Dans les armées, il se distingue des soldats qui se battent à pied (infanterie, piétons, archers, arbalétriers, etc.).

```

Figure 6.5 La version TEI Lite que j'ai produite de l'article de Vikidia sur le chevalier.

Cet angle de résolution du problème posé par le projet LICI était intéressant, mais difficile à appliquer en accord avec certaines des contraintes que j'ai évoqué dans la section précédente sur le cahier des charges. L'idée d'utiliser le LICI pour une aide plus globale sur un ensemble de cours et pour mieux comprendre le programme d'une matière donnée n'a toutefois pas complètement été abandonné. J'expliquerai comment nous avons rebondi sur cette idée, en fin de projet, en faisant interagir le LICI et des nouveaux outils développés par les autres membres de l'équipe Médialexie, dans le Chapitre 10.

6.3. Réalisation technique du LICI

Une fois le cahier des charges et les contraintes connues et avant de me lancer dans la réalisation du logiciel, j'ai dû déterminer les outils techniques de programmation que j'allais utiliser. J'ai opté pour le langage de programmation Python, avec lequel j'avais déjà développé des programmes de TAL lors de mes stages de Master et pour lequel j'avais connaissance de projets de programmation et de regroupement de fonctions qui me seraient utiles.

6.3.1. Le langage Python

Le LICI est programmé en langage *Python*. *Python* est un langage orienté objet qui est parfaitement adapté aux usages du domaine du TAL. De plus, de nombreuses bibliothèques

de fonctions *Python* (appelées modules) écrites par la communauté des chercheurs et développeurs en TAL ont été utiles pour le développement de l'outil LICI, comme je vais l'expliquer par la suite.

6.3.1.1. Caractéristiques du langage

Python est un langage de programmation qui présente plusieurs caractéristiques particulières. C'est un langage interprété, c'est-à-dire que les instructions inscrites dans le programme sont traitées au fur et à mesure de leur lecture par la machine. Au contraire, la majorité des langages de programmation utilisés sont dits « compilés », ce qui implique une étape intermédiaire de traduction du code écrit par le programmeur vers le langage machine, interprétable par l'ordinateur. De part cette absence de compilation *Python* est plus souple à utiliser mais aussi plus portable, c'est-à-dire que le code en *Python* peut facilement être repris sous différents systèmes d'exploitation, et même inclus à l'intérieur d'un programme codé dans un langage différent. C'est le cas pour la barre d'outils *Médialexie*, codée en langage C, dans laquelle le code du LICI pouvait donc être intégré facilement. D'un autre côté, un programme écrit dans un langage compilé s'exécute beaucoup plus rapidement que dans un langage interprété. Dans le cas du LICI, le temps d'exécution reste très court si le texte traité est court (moins d'une seconde pour le type de texte ciblé par le programme tels que les textes de manuels scolaires et les articles informatifs ou explicatifs).

6.3.1.2. Version

Le LICI a été développé sous la version 2.6.6 de *Python*. Cette version est désormais obsolète mais on peut encore la télécharger depuis le site officiel. Ce choix de version est dû à l'utilisation du module de fonctions *NLTK*, que je présenterai dans le point suivant. Ce module n'avait pas encore été adapté pour la version 3.0 de *Python* à la date de commencement du projet. L'usage de la bonne version est indispensable car à partir de *Python* 3.0 la compatibilité ascendante n'est plus respectée, ce qui veut dire qu'un programme développé sous *Python* 2.6.6 ne fonctionnera pas nécessairement sous *Python* 3.0, sans effectuer des modifications. J'ai donc continué le développement durant tout le projet avec la version choisie au départ afin d'éviter les problèmes de compatibilités qui surviennent, par exemple, lorsqu'une fonction générique change de nom entre deux versions ou alors qu'elle ne fonctionne plus exactement de la même manière (par exemple si elle fait appel à d'autres fonctions qui ont changées de nom ou qu'elle ne renvoie plus le même type de données en sortie). De plus, la documentation sur les fonctions de *NLTK*, qui m'a été utile pour gagner du temps lors du développement, se référait à la version 2.6 de *Python*.

6.3.2. Les bibliothèques

6.3.2.1. NLTK

NLTK (Natural Language Tool Kit) est une bibliothèque de modules pour la programmation en *Python* développée par Steven Bird, elle contient un grand nombre de fonctions spécifiques au domaine du TAL. Celles-ci sont présentées dans le livre "Natural Language Processing with Python" (Bird, Klein & Loper, 2009). De plus, le projet *NLTK* ne se limite pas aux modules en *Python*, puisque le site internet propose également des données langagières (tels des livres de grands auteurs de la littérature anglo-saxonne), accompagnés de métadonnées, de documentation concernant la recherche déjà effectuée sur ces données et enfin des pistes d'analyses, c'est-à-dire tous les éléments d'un corpus prêt à l'usage pour un chercheur en linguistique.

Les fonctions développées pour le projet *NLTK* sont regroupées en modules. Ces modules sont cohérents et contiennent les fonctions dédiées au traitement d'un problème précis. De plus, d'autres fonctions permettant de traiter des problèmes connexes sont parfois ajoutées aux modules. Pour utiliser n'importe quelle fonction comprise dans un module *NLTK*, une fois la bibliothèque installée, il suffit de l'appeler dans le programme avec la commande :

```
import nltk
```

Afin de bénéficier de toutes les fonctions contenues dans cette bibliothèque, et notamment pour celles que j'ai utilisées pour le développement du LICI, il est également nécessaire d'installer *YALM* et *Numpy*, qui sont d'autres bibliothèques de fonctions, avant d'installer *NLTK*.

La version de *NLTK* que j'ai utilisée pour le développement du LICI est la version 2.0.1 (Bird, 2012). Il a aussi été nécessaire d'utiliser la version 32 bits (x86 et pas x86-64), même sur un ordinateur 64 bits, car la version de *Numpy* qui est compatible avec *NLTK* n'existait pas en 64 bits. Ces précisions sont essentielles car il sera nécessaire de respecter ces choix de versions pour toute reprise ou modification avenir du code du LICI.

En plus de ces recommandations, lors de la première utilisation de *NLTK*, il est aussi nécessaire de télécharger les ressources de bases dont certaines sont appelées par le programme LICI. La commande pour ce faire est la suivante :

```
nltk.download()
```

6.3.2.2. YALM

YALM (Simonov, 2012) est une bibliothèque de segmentation de texte, indispensable pour exécuter *NLTK*, il faut l'installer en préalable. Il faut choisir la version adaptée à *Python* 2.6, en 32bits.

6.3.2.3. Numpy

Numpy (Charris208, Jarrodmillman, Kern, Rgommers & Teoliphant, 2014) est une bibliothèque de fonctions de calculs permettant de manipuler des matrices et des tableaux, elle est indispensable à l'exécution de certaines fonctions de NLTK. La version de Numpy utilisée par le LICI est la version 1.8.2 pour Python 2.6.

6.3.3. Génération de l'exécutable

La version exécutable du programme, une fois celui-ci terminé a été générée avec le logiciel Py2exe (Jretz, Mhammond, & Theller, 2008). Il est là aussi indispensable d'utiliser la version de ce programme compatible avec Python 2.6 et toujours de choisir la version 32 bits.

6.4. Intégration du LICI dans la barre d'outils

L'un des enjeux du développement du LICI a été, dès le départ, de prévoir son intégration au sein de la barre d'outils *Médialexie* et, plus spécifiquement, de rendre la sortie produite par le programme compatible avec l'affichage des cartes heuristiques au format de *l'Imagineur*, l'outil de création de cartes de *Médialexie*. Pour cette raison toute la partie affichage du programme, c'est-à-dire toutes les fonctions en relation avec l'interface graphique sont séparées dans une classe de fonction à part entière. Le principe est que les sorties de ces fonctions sont d'une part adaptées au format de *l'Imagineur* et, d'autre part, pourraient être remplacées par d'autres fonctions d'affichage pour un autre projet de recherche, reprenant les autres fonctions du LICI, hors du projet pour la barre d'outils de *Médialexie*.

6.4.1. Structure du programme

Le LICI est séparé en deux fichiers Python. Le fichier « LICI.py » qui contient le programme principal et le fichier « LICI_Classes.py » qui contient les classes et fonctions spécifiques qui permettent son fonctionnement. Le programme principal correspond à l'algorithme global de fonctionnement et il contient des appels aux fonctions spécifiques nécessaires, contenues dans les classes, au fur et à mesure de l'avancée de la chaîne de traitement. La Figure 6.6 permet de visualiser la structuration du programme en fichiers et en classes.

J'ai développé plusieurs versions du LICI. La version non intégrée à la barre d'outils, pour laquelle il n'a pas d'interface utilisateur et qui a servi de prototype, a été terminée en mars 2015. Je la désignerai ici sous le nom de "version recherche" ou encore "version de développement". Elle permet différents réglages *via* des fichiers textes permettant de modifier les paramètres et n'admet pas exactement les mêmes entrées et sorties que les versions suivantes. La version intégrée à la barre d'outils, dite version commerciale, a été réalisée en octobre et novembre 2015, juste avant la sortie officielle de l'outil sous le nom

de « Cartographe ». Enfin, j'ai également développé une variante de cette version commerciale, capable de traiter les textes en anglais, même si cette variante est moins performante et a été moins testée que la version française.

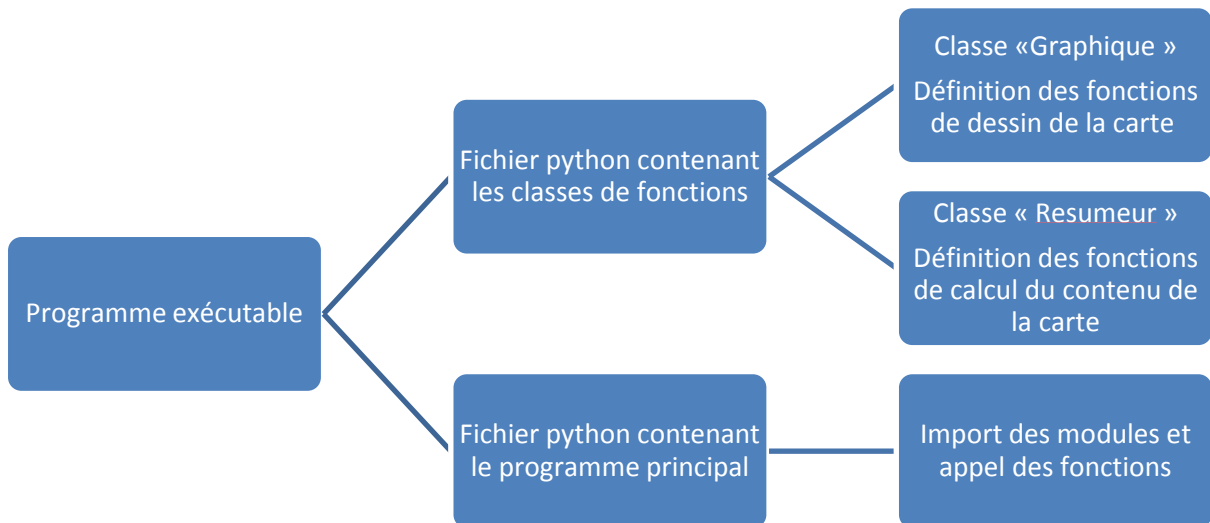


Figure 6.6 Structures des fichiers python permettant le fonctionnement de l'exécutable

6.4.2. Entrées et Sorties

Dans sa version recherche, le LICl prend en entrée un ensemble de fichiers textes, rangés dans un dossier nommé « textes ». L'outil est lancé directement en ligne de commande ou *via* le fichier exécutable généré précédemment grâce au programme *Py2exe*. Tous ces fichiers sont traités les uns après les autres, en une seule exécution du programme.

Dans sa version commerciale, le programme prend en entrée un texte directement copié/collé dans la fenêtre de l'interface *Médialexie*. Une icône pour le *Cartographe* est intégrée dans l'interface de la barre d'outils *Médialexie* et permet de le lancer en un clic (voir Figure 6.7).

Dans sa version recherche, le LICl fournit deux fichiers de sortie : un fichier *txt* qui contient toutes les données calculées par le programme, qui apparaissent sous la forme de listes après une phrase descriptive pour chacune d'elles ; et un fichier *ctm*, qui est un fichier en langage XML permettant d'afficher la carte en respectant le format défini par l'*Imagineur*. Même s'il n'y a pas d'interface utilisateur, ce fichier *ctm* peut être ouvert avec l'*Imagineur* et il est donc possible de profiter de toute l'interface et des autres outils de la barre d'outils par la suite. Le fichier de sortie texte a plusieurs objectifs : tout d'abord il a été utile tout au long

du développement du programme pour vérifier et évaluer les sorties du programme. Ensuite, il peut être exploité par l'équipe de Médialexie à l'avenir pour être intégré dans la barre d'outils et proposer des statistiques textuelles et la liste des phrases-clés aux utilisateurs du traitement de texte de Médialexie.



Figure 6.7 L'icône permettant de lancer le cartographe dans la barre d'outils (plume sur arbre violet).

Le Cartographe, quant à lui, fournit seulement une sortie : la carte, qui apparaît directement dans la fenêtre utilisée pour coller le texte. Mais cette carte est affichée dans une interface similaire à celle de *l'Imagineur* qui permet aussi d'accéder aux autres informations calculées par le programme, comme : les termes-clés, les phrases clés, mais aussi des options supplémentaires telles que les concordances associées à chaque terme de la carte, des dictionnaires, et la lecture de tous ces éléments par synthèse vocale.

La Figure 6.8 résume le fonctionnement global du programme en termes d'entrées traitées et de sorties obtenues.

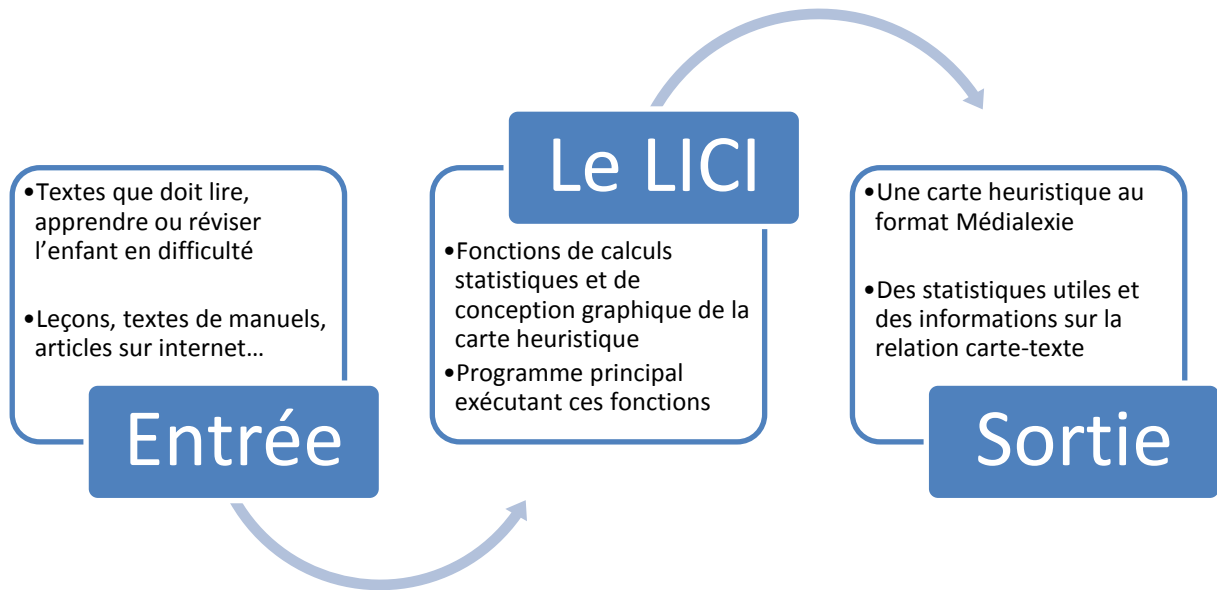


Figure 6.8 Schéma de fonctionnement général du LICl

J'ai décrit dans ce chapitre les choix de réalisation technique que j'ai opérés en fonction des contraintes et du cahier des charges. Ceux-ci ont eux-mêmes été établis en suivant les demandes de l'entreprise. Je détaillerai dans le 0 les choix algorithmiques et le principe de fonctionnement de l'outil, au travers sa chaîne de traitement.

Chapitre 7. L'expérimentation exploratoire : compréhension de texte à l'aide d'une carte

Ce chapitre traite de l'expérimentation exploratoire que j'ai menée au cours du projet LICI. Cette expérimentation devait, d'une part, apporter des éléments de réflexion supplémentaires par rapport aux bases théoriques sur lesquelles je me suis appuyé, particulièrement concernant la remédiation de la dyslexie et l'utilisation des cartes comme aide à la compréhension. D'autre part, l'expérimentation allait me permettre de valider, de contester ou de réfuter certaines hypothèses sur lesquelles se sont fondés le projet LICI et le développement de l'outil LICI.

Dans un premier temps, la partie conception me permettra de revenir sur les éléments de départ qui m'ont poussé à entreprendre cette expérimentation, ses raisons et ses objectifs. Puis, je présenterai le dispositif tel que je l'avais imaginé avant sa réalisation : quel environnement pour les participants, quel public, quels textes, quelles cartes, et enfin, quel type d'évaluation de la compréhension ?

Dans un deuxième temps, la partie instanciation contiendra les détails de la mise en place de l'environnement qui m'a permis de faire passer l'expérimentation aux participants, la réalisation technique des pages de cet environnement, la rédaction des consignes, le matériel que j'ai sélectionné, et le système d'évaluation et de recueil des données que j'ai choisi.

Enfin, la partie résultats exposera en détails les données recueillies, les informations et statistiques concernant les participants et leurs réponses, puis mon analyse et mon interprétation de toutes ces données.

7.1. Conception

La réalisation d'une expérimentation exploratoire a d'abord été imaginée au cours des réunions de travail avec mon premier directeur de thèse, Thierry Chanier. Puis, nous avons soumis cette idée afin de la préciser et de la compléter lors de la réunion de mon comité de suivi de thèse. Cette réunion, effectuée après un peu plus d'un an de travail, sur une plateforme d'échange en ligne, a eu lieu en présence de deux chercheurs extérieurs à l'université Blaise Pascal : André Tricot, professeur en psychologie à l'Université de Toulouse, Laboratoire Travail et Cognition, et Georges Antoniadis, professeur à l'Université de Grenoble-Alpes, Laboratoire LIDILEM. André Tricot a souligné à cette occasion l'un des

aspects original de mes travaux : mon intérêt pour la compréhension de texte par les dyslexiques, davantage que pour leur aptitude à la lecture. Il a également relevé le peu de travaux scientifiques sur l'utilisation des cartes par les dyslexiques et nous a encouragés, avec mon directeur de thèse, à entreprendre cette expérimentation.

L'idée de procéder à une telle expérimentation n'était pas convenue dès le départ du projet LICI, n'étant moi-même pas formé à ce type de démarche, autant en ce qui concerne la conception que pour l'analyse statistique et l'interprétation des résultats. Ainsi, cet exercice et cette partie de mon travail se veulent exploratoires. De plus, il a fallu convaincre l'entreprise partenaire du projet que cette démarche était intéressante et utile, alors qu'elle paraissait superflue et chronophage vue du côté de l'entreprise.

7.1.1. Objectifs

L'expérimentation LICI a pour objectif principal de répondre à l'interrogation suivante :

- Les cartes heuristiques sont-elles un support efficace pour l'aide à la compréhension de textes pour les apprenants dyslexiques ?

Je souhaite, pour répondre à cette question, mesurer l'efficacité de la présence d'une carte heuristique, en complément d'un texte, pour aider le lecteur à accéder au sens de ce texte. Cette efficacité devra être mesurée auprès d'un public dyslexique et aussi d'un public de contrôle, constitué de normo-lecteurs.

Cette expérimentation occupe finalement une place importante dans le projet LICI car elle pouvait confirmer la pertinence de l'outil développé, mais aussi parce qu'elle représentait l'occasion d'entreprendre une démarche pertinente et novatrice pour l'aide aux personnes dyslexiques. En effet, comme nous l'avons vu dans le Chapitre 1, beaucoup d'études se concentrent sur l'origine de la dyslexie, ses symptômes et la compensation qui peuvent lui être apportée, mais peu de recherches traitent directement du problème de la compréhension des textes par les dyslexiques. L'objectif final du projet LICI n'est en effet pas de permettre aux dyslexiques de lire mieux, mais plutôt de mieux comprendre les textes auxquels ils sont confrontés, afin de les soutenir dans leurs activités scolaires. Cette démarche prend donc en compte l'impossibilité de définir correctement une origine unique à la dyslexie et une solution unique correspondante, tout en proposant une aide concrète aux dyslexiques dans leurs apprentissages scolaires. Ainsi, le but est de contourner la difficulté que constitue la représentation linéaire, la suite de mots, qu'est un texte, en conservant l'objectif de l'accès à son contenu.

7.1.1.1. Littérature prise en compte

Puisque, dans la littérature sur la remédiation proposée aux dyslexiques, peu de travaux expérimentaux traitent directement de la compréhension des textes, ce travail se présente avant tout comme exploratoire. Je ne vais donc pas tenter d'analyser ici les capacités de

lecture, mais le lien entre la représentation des informations et leur compréhension. Cette compréhension ne se fait plus en passant seulement par la lecture, mais aussi grâce à une nouvelle source d'information : la carte. De plus, avec cette expérimentation, je souhaite anticiper l'évaluation des futurs avantages de l'outil LICl, puisque le problème de l'efficacité de la carte est séparé du problème de sa conception. En effet, on sait qu'une méthode d'aide à la compréhension ayant recours à la conception de cartes provoque une charge cognitive importante (Stull & Mayer, 2007). Je ne souhaite également pas mesurer la motivation ou l'affinité des participants pour la représentation sous forme de cartes, car ces critères ne permettraient pas de conclure sur l'efficacité réelle du dispositif (Jamet, 2008).

D'un autre côté, des éléments de la littérature plaident en faveur d'un effet positif de l'ajout d'une carte pour la compréhension de texte. D'abord, il est postulé que l'intégration des informations contenues dans le texte est réalisée par la création en mémoire d'un schéma de représentation cognitive (Coirier et al., 1996). La représentation sous forme de carte pourrait donc servir de suggestion et de modèle afin de venir appuyer et faciliter la création de ce schéma. Ensuite, il est également sûr que la difficulté à lire est grandement réduite par l'aération du texte, le faible nombre de mots à lire et l'absence de la proximité d'autres mots (Evans et al., 1994; Zorzi et al., 2012).

Enfin, il est nécessaire d'être vigilant à certains paramètres, la carte serait davantage bénéfique si elle est présentée tôt dans le processus de compréhension (Amadiou & Salmeron, 2014) mais elle peut avoir un effet négatif, notamment sur la compréhension de la micro-structure, si elle est présentée avant le texte (Hofman & van Oostendorp, 1999). Le phénomène de désorientation, lui, peut être réduit par l'usage de cartes hiérarchisées (Amadiou, van Gog, et al., 2009). D'autres biais peuvent aussi survenir, causés par l'ordre des tâches à effectuer ou l'ordre des propositions de réponses à une question, mais je reviendrai sur ce problème.

7.1.1.2. Hypothèses

En plus de la question principale à laquelle je souhaite répondre grâce aux résultats de l'expérimentation, j'ai émis plusieurs hypothèses, que je souhaite vérifier :

- (1) Les dyslexiques obtiennent de meilleurs résultats au test de compréhension lorsqu'ils peuvent accéder à une carte pour les aider à comprendre le texte ;
- (2) En l'absence de carte, les résultats des normo-lecteurs sont significativement meilleurs en termes de temps : leurs temps de lecture et leur temps pour répondre aux questions sont significativement plus rapides ;
- (3) La présence ou l'absence de carte pour l'aide à la compréhension ne provoque pas de différence significative sur les résultats des normo-lecteurs.

Et, de façon secondaire :

- (4) La présence d'une carte et sa lecture provoque un temps de lecture supplémentaire qui est proportionnellement moins important pour les dyslexiques.

Pour conclure sur les objectifs, je considère que les résultats de cette expérimentation sont importants pour ma recherche, mais également pour l'entreprise Médialexie, car ils sont susceptibles de modifier l'orientation du développement de ses outils à venir.

7.1.2. Dispositif envisagé

Je vais décrire en premier lieu le dispositif envisagé pour l'expérimentation : le déroulement général, le protocole prévu, le choix du support, du matériel, et la récupération des traces souhaitées. Je caractériserai ensuite plus précisément le public concerné.

7.1.2.1. Déroulement général

L'expérimentation doit permettre de constater l'apport à la compréhension de texte, pour un public d'élèves dyslexiques. Des élèves dyslexiques vont donc être confrontés à un texte tel que ceux qu'ils sont amenés à lire en cours, puis ils vont devoir répondre à un ensemble de questions de compréhension. Il est également nécessaire qu'un deuxième groupe d'élèves dyslexiques lisent le même texte, cette fois accompagné d'une carte présentant les idées principales du texte, réalisée avec un logiciel de dessin de carte heuristique. Puis, ces élèves répondront aux mêmes questions de compréhension que le premier groupe, afin de comparer leurs performances. Je souhaite évaluer les performances des deux groupes autant en termes de rapidité de lecture qu'en termes d'exactitude de leurs réponses aux questions. Enfin, pour mener à bien l'expérimentation, il est nécessaire de rassembler deux groupes d'élèves normo-lecteur, de même effectifs et de même âge que les dyslexiques, qui devront réaliser les mêmes tâches afin de servir de groupes de contrôle.

Les élèves dyslexiques étant difficiles à réunir en nombre pour mon expérimentation, chaque participant va lire deux textes et répondre à deux séries de questions de compréhension, afin de maximiser le nombre total de résultats. Tous les participants seront donc exposés une fois à un texte seul, et une autre fois à un texte accompagné d'une carte d'aide à la compréhension. Afin d'éviter un biais sur la différence de difficulté entre les deux textes, les élèves se verront attribuer aléatoirement le texte pour lequel ils auront accès à la carte. Cette procédure permettra aussi de comparer qualitativement les résultats avec et sans l'aide d'une carte pour un élève donné.

De plus, toujours à cause de la difficulté de rassembler le public nécessaire à l'expérimentation, chaque élève va travailler sur les deux textes l'un à la suite de l'autre, pour ne pas avoir besoin de mobiliser deux fois chaque élève. En effet, il faut éviter les risques d'abandons en cours d'expérimentation qui pourraient subvenir si celle-ci était passée en plusieurs sessions éloignées dans le temps. Afin d'éviter un autre biais sur les résultats, qui pourrait être causé soit par un effet d'entraînement, soit par un effet de lassitude ou de fatigue, entre les réponses données au premier et au deuxième texte, l'ordre

de présentation des deux textes sera également aléatoire. Il y a donc finalement quatre situations possibles pour chacun des deux publics d'élèves : dyslexiques et normo-lecteurs, pour un total de 8 groupes. Les groupes sont identifiés par une lettre et un chiffre, la lettre est D pour "dyslexiques" ou N pour "normo-lecteurs" et le chiffre correspond à l'une des 4 situations expérimentales. Les textes sont appelés Texte H ou TH pour le texte d'Histoire et Texte G ou TG pour le texte de géographie. Ces situations sont résumées dans le Tableau 7.1.

Dans la situation 1, le texte d'Histoire est présenté en premier, accompagné de la carte heuristique, puis vient le texte de géographie sans carte. Dans la situation 2, le texte de géographie est présenté en premier, avec la carte, puis le texte d'Histoire seul. Dans la situation 3, c'est d'abord le texte de géographie sans la carte qui apparaît, puis le texte d'Histoire accompagné de sa carte heuristique. Enfin, dans la situation 4, le texte d'Histoire est présenté en premier sans carte, puis vient le texte de géographie avec la carte.

En résumé, chaque participant à l'expérience sera identifié d'abord suivant son appartenance au groupe des dyslexiques ou au groupe des normo-lecteurs, puis il se verra attribué aléatoirement l'une des quatre situations possibles.

	La carte est disponible avec le Texte H		La carte est disponible avec le Texte G	
Ordre des textes	TH puis TG	TG puis TH	TH puis TG	TG puis TH
Groupes de Dyslexiques	D1	D3	D4	D2
Groupes de Normo-lecteurs	N1	N3	N4	N2

Tableau 7.1 Répartition des groupes pour l'expérimentation

7.1.2.2. Protocole

L'expérimentation sera mise en place sur support numérique et plus particulièrement sur une plate-forme en ligne, permettant d'afficher à l'écran successivement des consignes, des textes, des cartes et des questions.

Chaque élève sera installé devant un ordinateur et devra suivre le protocole suivant :

- remplir quelques informations personnelles (prénom, âge, sexe, niveau scolaire)
- lire les consignes
- lire un texte (puis visualiser la carte pour les participants qui l'auront au premier texte)
- répondre aux questions de compréhension
- lire un deuxième texte (puis visualiser la carte pour les participants qui l'auront au deuxième texte)
- répondre aux questions de compréhension

De plus, le texte (et la carte si disponible) restera toujours accessible pendant la phase de réponse aux questions et les consignes générales. Les consignes pour répondre aux questions, seront accompagnées d'un bouton permettant la lecture d'une version audio, enregistrée spécifiquement pour l'expérience. L'accès à une version audio des consignes permet d'alléger la charge cognitive nécessaire à la lecture pour les participants dyslexiques et assure leur bonne compréhension des consignes. Pour la même raison, les questions seront des questions dites fermées, c'est à dire une question avec plusieurs réponses possibles et une case à cocher devant chaque réponse. Une seule réponse sera possible et une seule proposition sera correcte pour chaque question. Les questions seront courtes et elles apparaitront une à une à l'écran, répondre et valider sa réponse permettant de passer à l'écran suivant.

Les textes seront courts et issus de manuels scolaires, mais ils ne seront pas disponibles en version audio. Cela avait aussi été envisagé, mais considérant les études menées sur la différence entre la compréhension écrite et la compréhension orale pour les dyslexiques, nous savons que l'écart entre les normo-lecteurs et les dyslexiques serait en partie compensé grâce à une présentation orale du texte et des questions. Cela aurait pour conséquence d'améliorer toutes les performances, de resserrer tous les résultats et ainsi de rendre difficile la mesure de l'apport de la carte sur la compréhension écrite. Pour ces raisons, il a été choisi de maintenir dans le cadre de l'expérimentation les difficultés de lecture, affectant par suite la compréhension, éprouvées par les dyslexiques en situation d'apprentissage scolaire usuelle.

Enfin, les temps écoulés sur chaque page, pour la lecture des consignes, la lecture du texte, la lecture de la carte, et les réponses aux différentes questions, devront être enregistrés afin d'apporter un critère déterminant pour l'analyse des performances des participants.

7.1.2.3. Choix du support

Le questionnaire devra être disponible en ligne. L'utilisation d'une plate-forme en ligne a de nombreux avantages. Cela permet de faire passer l'expérimentation en même temps à tout un groupe de participants, par exemple dans un établissement scolaire, sans avoir à procéder d'abord à des multiples installations ou copies de l'environnement sur différents postes de travail. Ensuite, cela permet aussi d'avoir un environnement identique pour tous les participants, à condition de se reposer sur les technologies de base de tous navigateurs internet (le langage html, par exemple). Enfin, il est potentiellement possible d'avoir des participants à l'expérimentation qui se trouvent dans un endroit trop éloigné géographiquement pour se rendre sur place (par exemple au Canada), sans avoir à multiplier les échanges, à condition que des personnes compétentes soient présentes pour les encadrer. L'environnement choisi devra permettre l'affichage de différents types de contenus dont : du texte, des images et un questionnaire, du type QCM. L'idéal à atteindre étant d'avoir un simple lien internet qui emmène les élèves directement sur

l'environnement de l'expérimentation dans lequel tous les éléments sont présents : recueil des informations sur le participant, explications de la procédure, textes, cartes et questions.

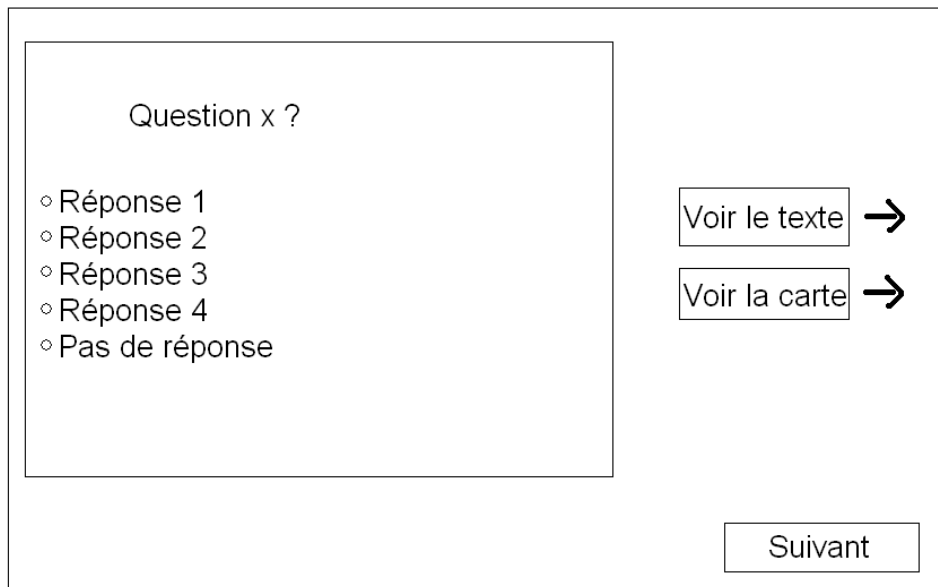


Figure 7.1 Illustration d'une interface simple et intuitive pour l'accès au texte, à la carte et à la question suivante.

L'interface devra être suffisamment paramétrable pour pouvoir obtenir des pages lisibles :

- Les textes doivent être clairs, ils doivent bien se détacher du fond, la police doit être facile à lire, la couleur du texte bien démarquée de celle du fond de page ;
- Les boutons de navigations doivent être intuitifs et le moins nombreux possible ;

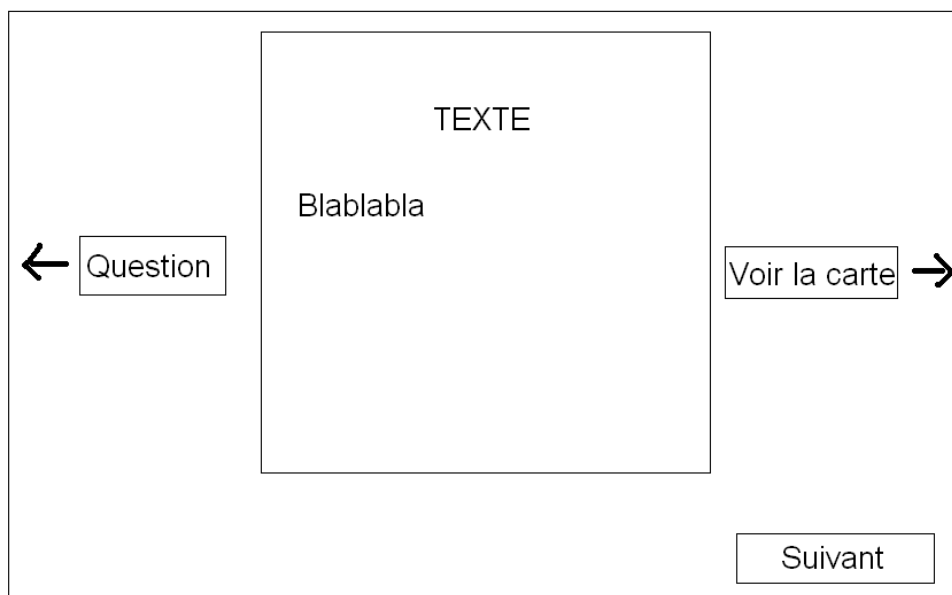


Figure 7.2 Illustration de l'interface simple et intuitive, du point de vue du texte.

- Le passage des questions au texte et à la carte doit être facile et intuitif, mais chacun devra être affiché en plein écran pour plus de lisibilité. On peut imaginer un système d'affichage qui se déploie sur la largeur, comme une porte coulissante, contenant le texte ou la carte, venant se superposer à la question en cours (voir Figure 7.1 et Figure 7.2).

Enfin, la plate-forme choisie devra permettre de recueillir facilement, et sous un format exploitable, les différentes traces : informations générales, réponses aux questions et temps écoulés pour chaque étape.

7.1.2.4. Choix des textes

Concernant le choix des textes pour l'expérimentation, plusieurs critères rentrent en jeu. Tout d'abord, les textes doivent se rapprocher au maximum des textes que l'on souhaite pouvoir traiter à l'avenir avec l'outil *LICI*. Il s'agit donc de textes issus de manuel scolaire, du niveau correspondant aux participants (que je vais définir davantage lorsque je vais caractériser le public).

Le choix de texte signifie aussi un choix parmi les matières enseignées. Après que nous nous soyons concertés avec l'équipe de Médialexie, il a été décidé de se concentrer sur les matières pour lesquelles les utilisateurs de la barre d'outils Médialexie semblent utiliser le plus souvent l'*Imagineur* et qui semblent donc les plus propices à la future utilisation de l'outil *LICI* : l'Histoire et la géographie. En effet, ces textes sont généralement des textes informatifs. D'une part, ils respectent une construction relativement standard et le sens de chaque leçon est porté par le texte indépendamment des autres leçons du même cours, contrairement aux leçons de mathématiques par exemple. D'autre part, on retrouve dans ces leçons une structure en paragraphes, des idées amenées les unes après les autres et des éléments clés qui peuvent être des groupes nominaux, des dates, des lieux et des noms propres. Enfin, ces matières se prêtent davantage à la schématisation dans l'enseignement, par exemple sous forme de hiérarchie ou de chronologie.

7.1.2.5. Récupération des traces

Certaines données devront être nécessairement recueillies sur chaque participant lors de la passation de l'expérimentation :

- Un numéro unique pour chaque participant, qui servira d'identifiant;
- L'âge, qui permettra d'évaluer les performances et les difficultés de façon relative;
- Le sexe, qui peut entrer en corrélation avec l'aptitude à résoudre l'ensemble de la tâche (c'est un paramètre qui est systématiquement recueilli dans les expérimentations en psychologie, et comme évoqué dans le Chapitre 1, les difficultés en lecture n'ont pas la même prévalence selon les sexes);
- Le niveau scolaire, différent de l'âge qui fournit un autre indice de comparaison relative des performances.

Puisqu'il était au départ envisagé de solliciter des contacts de Médialexie à l'étranger, notamment Belgique, Suisse et Canada, le questionnaire devait intégrer les équivalents français des niveaux scolaires qui nous intéressent. Pour ce faire, je me suis référé aux tableaux d'équivalence entre les systèmes scolaires trouvés sur différents sites éducatifs en ligne. Par exemple la 6^{ème} française correspond à la 6^{ème} année de primaire en Belgique et au Québec et à la 6^{ème} de transition en Suisse et les niveaux de 5^{ème}, 4^{ème} et 3^{ème} sont respectivement les 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} années du secondaire autant au Canada, qu'en Suisse ou en Belgique.

De plus, il est nécessaire de pouvoir accéder, évidemment, à l'ensemble des réponses des participants, mais aussi de pouvoir connaître le temps passé sur chaque page, que ce soit les textes, les cartes ou les questions. Enfin, il est également intéressant de savoir si, au cours d'une question, un élève a dû relire le texte ou a souhaité revoir la carte, et ce, au bout de combien de temps.

7.1.3. Public

7.1.3.1. Caractérisation

Le public de l'expérimentation a été défini précisément pour correspondre aux futurs potentiels utilisateurs de l'outil *LICI*. Selon l'équipe de Médialexie, les personnes les plus concernées sont les utilisateurs de *l'imagineur*, ayant réclamé le développement d'un nouvel outil, soit principalement des élèves de début de collège. Vis à vis des difficultés d'adaptation au collège rencontrés par de nombreux élèves de 6^{ème} ayant des difficultés de lecture, il a été décidé de réunir, si possible, des participants en classe de 5^{ème}. C'est donc des textes issus de leçons d'Histoire et de géographie d'un manuel scolaire de 5^{ème} qui seront utilisés pour la tâche de compréhension.

De plus, j'ai déjà souligné à la fois l'imprécision du diagnostic de la dyslexie, avec ses critères par défaut, la possibilité que certains élèves dyslexiques n'aient pas été repérés comme tels, et enfin, la volonté de produire des outils pour aider toutes les personnes en difficulté de lecture, quelle qu'en soit l'origine. Ainsi, il a été décidé que tout élève présentant des difficultés de décodage, repérés par un test de lecture, et qui est suivi pour ce problème (par exemple par un orthophoniste) serait éligible pour participer à mon expérimentation en tant que participant "en difficulté de lecture". Ceci s'applique donc à un élève ayant des troubles de la lecture qu'il soit ou non officiellement reconnu comme dyslexique. Le groupe de participants auquel je fais référence par l'appellation "dyslexiques" tout au long de la présentation et de l'analyse de mon expérimentation comprend donc tous les élèves reconnus comme étant "en difficulté de lecture".

J'aurai également pour tâche de trouver autant de participants normo-lecteurs, afin de constituer le groupe contrôle et permettre une analyse comparative de la tâche. Enfin,

même si le public nécessaire sera difficile à réunir uniquement sur la classe de 5ème, il est impératif que chaque participant soit scolarisé au collège. L'objectif reste de minimiser les écarts d'âge et de niveau scolaire entre les participants et de coller au mieux au public cible du *LICI*.

7.1.3.2. Nombre

Considérant le public cible pour notre expérimentation, en l'occurrence des collégiens reconnus et suivis pour leur difficultés de lecture, il est beaucoup plus difficile de réunir un nombre élevé de participants que si l'on souhaitait réunir uniquement un groupe de normo-lecteurs. En se référant aux effectifs de groupes adoptés pour des expérimentations semblables, notamment celles que j'ai présentées dans le Chapitre 3, considérant le côté exploratoire de l'expérimentation et les conseils apportés à ce sujet par André Tricot, nous avons décidé qu'un effectif de douze personnes par groupe, pour chaque condition expérimentale, serait nécessaire et suffisant. Ce qui porte le nombre nécessaire de participants en difficultés de lecture à 48, pour l'ensemble de l'expérimentation, et donc à autant de collégiens normo-lecteurs, d'un âge proche, pour constituer les groupes de contrôle.

7.1.3.3. Répartition des groupes

Chaque participant à l'expérimentation devra être assigné aléatoirement à l'une des conditions expérimentales que j'ai résumées dans le Tableau 7.1.

L'intégration d'une fonction de tirage aléatoire d'un groupe, pour chaque participant, avait d'abord été envisagée, mais puisque je souhaitais répartir au mieux l'effectif total des participants sur chacune des quatre conditions, j'ai décidé de procéder de façon systématique. Ainsi, le premier participant à se connecter à la plate-forme, dans l'ordre chronologique, réalisera l'expérimentation suivant la condition 1 du Tableau 7.1., le deuxième suivant la condition 2, ... , le cinquième suivant la condition 1, etc.

7.1.3.4. Recrutement

Les élèves dyslexiques seront recrutés par le biais de différents organismes ou associations. Tout d'abord *via* les contacts de Médialexie et notamment la filiale canadienne, dont les employés sont en contact régulier avec des utilisateurs du logiciel, pour tester de nouvelles fonctionnalités par exemple. De plus, les représentants de Médialexie au Canada travaillent en collaboration étroite avec certains orthophonistes. Ils ont également plus de facilité à trouver des participants à une expérimentation de ce type qu'en France, compte tenu de la grande place et de la légitimité accordée à la recherche en sciences humaines ainsi qu'aux logiciels d'aide et de compensation au Canada.

Ensuite, j'ai été en contact avec le réseau APEDYS (Association des Parents d'Enfants Dys), la plus célèbre association française dédiée à la cause des différents dys. J'ai rencontré notamment la vice-présidente à l'occasion d'un colloque, qui m'a proposé de nous aider

pour regrouper le public de collégiens en difficulté de lecture. Enfin, je souhaitais éventuellement réunir des participants *via* l'INSHEA (Institut National Supérieur de formation et de recherche pour l'éducation des jeunes Handicapés et les Enseignements Adaptés), institution dont l'objectif est de mener des recherches pour l'aide aux personnes handicapées en France. L'INSHEA conduit régulièrement des expérimentations sur de nouveaux outils ou de nouvelles méthodologies auprès d'élèves en difficulté.

Afin de compléter le public recruté par ces différents moyens, je souhaitais contacter directement des établissements scolaires (pour les normo-lecteurs) et des orthophonistes (pour les collégiens en difficulté de lecture).

7.1.4. Planning prévisionnel

Voici l'ordre des opérations que j'ai suivi pour mener l'expérimentation à bien, depuis les préparations préalables jusqu'à l'analyse de l'expérimentation :

- Conception du matériel de l'expérimentation :
 - choix des deux textes
 - réalisation des deux cartes
- Design de l'expérimentation :
 - rédaction des consignes
 - organisation de la chaîne d'actions pour effectuer les tâches
- Choix de plate-forme :
 - tests dans deux environnements : *Moodle* et *LimeSurvey*
 - implémentation dans les deux environnements
 - tests auprès de personnes en "conditions réelles"
- Recrutement des participants :
 - contacter les différents partenaires
 - rédaction de courriers électroniques formant un protocole de contact auprès des orthophonistes et des collègues
- Ouverture de la plateforme aux participants
- Passation de l'expérimentation
- Recueil des résultats et des traces souhaitées
- Analyse des résultats

Dans la partie suivante, concernant l'instanciation, donc la mise en place réelle de mon expérimentation exploratoire, je préciserai les aménagements qui ont été nécessaires entre ce qui avait été prévu en amont et ce qui a été fait.

7.2. Instanciation

7.2.1. Matériel

7.2.1.1. Textes

Comme je l'ai expliqué précédemment, l'outil LICl se destine en priorité à un public d'élèves au collège, le public de l'expérimentation sera donc composé de collégiens, en priorité en classe de 5^{ème} et les textes utilisés pour la tâche de compréhension seront donc adaptés au mieux à ce public. J'ai présenté dans le Chapitre 6 un exemplier de texte, que j'avais constitué dans l'intention de pouvoir tester et calibrer le programme au fur et à mesure de son développement. J'ai logiquement utilisé des textes issus de cet exemplier comme matériel pour l'expérimentation.

J'ai choisi un premier texte pour réaliser les tests et l'implémentation sur les deux plateformes présélectionnées : *Moodle* et *LimeSurvey*. Ce texte est issu du manuel scolaire libre d'Histoire-géographie 6^{ème}, sur *lelivrescolaire.fr* (Éditions Lelivrescolaire.fr, 2013). Il s'agit de la leçon « Les Cités-États Grecques ».

" Les Cités-États Grecques

Les Grecs habitent de nombreuses cités-Etats, indépendantes les unes des autres, réparties autour de la mer Egée. À partir du VIII^e siècle avant J.-C., ils fondent des cités de plus en plus éloignées, autour de la mer Méditerranée et de la mer Noire : c'est la colonisation.

La colonisation

Différentes raisons poussent les Grecs à quitter leur cité d'origine pour fonder des colonies.

Le relief de la Grèce est formé de montagnes encadrant d'étroites plaines littorales. Les terres à cultiver ne permettent plus de nourrir une population qui augmente au IX^e siècle avant J.-C. Cette situation pousse les Grecs à partir chercher de nouvelles terres.

En s'installant sur les rives de la Méditerranée et de la Mer Noire, ils empruntent les routes commerciales et échangent leurs productions issues des cultures du blé, de la vigne et de l'olivier.

Métropoles et colonies

Avant de coloniser de nouvelles terres, les Grecs interrogent les dieux, et notamment la Pythie à Delphes afin d'avoir l'oracle. Puis ils s'élancent sur la mer à bord de navires à voiles et à rames tels que les birèmes. Les trières ne sont utilisées que pour la guerre.

Ils doivent souvent faire face aux peuples installés dans la région dans laquelle ils arrivent. Une fois fondée, la nouvelle cité devient indépendante de la cité d'origine, appelée métropole. Cependant, les colonies grecques conservent de nombreux points communs avec leur métropole : temples pour les dieux, place du marché appelée l'agora, théâtre, murailles.

Vocabulaire associé au texte :

Une colonie : nouvelle cité fondée par des Grecs en dehors de la Grèce.

Une métropole : cité qui fonde une colonie (du grec polis « cité » et mêter : « mère »).

Un oracle : réponse d'un dieu à une question posée."

Les deux autres textes, que devaient lire les participants au cours de l'expérimentation, proviennent aussi du site *lelivrescolaire.fr*. Un premier texte est issu du manuel scolaire libre d'Histoire-géographie 5^{ème}, sur *lelivrescolaire.fr*. Il s'agit de la leçon « Vivre dans la seigneurie ».

" La vie dans la seigneurie

Le seigneur, maître de la terre

La plupart des paysans travaillent une terre dont ils ne sont pas propriétaires. Les terres de la seigneurie se partagent en deux ensembles: d'un côté la réserve, terre que le seigneur exploite directement, en particulier grâce aux corvées, et de l'autre, les tenures, terres réparties entre les paysans.

En contrepartie, les paysans doivent verser au seigneur le cens et de nombreux prélèvements sur les récoltes.

Le seigneur, maître des paysans

En cas de danger, les paysans de la seigneurie trouvent refuge derrière les remparts du château fort. En échange de cette protection, le seigneur dispose du droit de ban, c'est-à-dire du droit de commander, de contraindre et de punir.

Dès le XI^e siècle, il contraint la communauté villageoise à faire usage d'installations collectives (moulin, pressoir, four banal) et exige pour cela des taxes, les banalités.

Cette pression constante sur leur vie quotidienne pousse certaines communautés paysannes à se soulever, en particulier aux XIV^e et XV^e siècles.

Vivre au village

La vie quotidienne du paysan est rude, rythmée par les travaux agricoles et souvent très précaire car les rendements des récoltes sont faibles et varient en fonction des aléas climatiques. À base de céréales, son alimentation connaît de fréquentes périodes de disette, voire de famine.

Entre le XI^e et le XIII^e siècles, les campagnes parviennent à nourrir plus d'hommes grâce à l'amélioration des pratiques agricoles : recours à la jachère, usage de la charrue, attelages améliorés. L'essor démographique qui en résulte ouvre la voie à un mouvement important de défrichements.

Vocabulaire associé au texte :

Banalités : redevances versées par les paysans pour l'usage, obligatoire, des outils collectifs appartenant au seigneur.

Cens : taxe payée par le paysan en échange de la terre qu'il cultive.

Corvée : travaux gratuits exigés des paysans par le seigneur.

Seigneurie : ensemble de terres, ainsi que des droits et des redevances qui leur sont attachés, appartenant à un seigneur, laïc ou ecclésiastique."

Un second texte est également issu du manuel scolaire libre d'Histoire-géographie 5^{ème}, sur *lelivrescolaire.fr*. Il s'agit de la leçon 1 : « La croissance démographique dans le monde ».

"La croissance démographique dans le monde

L'augmentation de la population mondiale

La population mondiale connaît une très forte croissance depuis 1900. Il y avait 1,5 milliard d'hommes au début du siècle, 2,5 milliards en 1950 et presque 7 milliards d'hommes en 2010. La population mondiale continuera à croître pour atteindre 9 milliards d'hommes en 2050.

Depuis 1950, ce sont principalement les pays en développement qui ont vu leur population augmenter.

Expliquer cette croissance

Au XX^e siècle, en raison des progrès sanitaires, la population mondiale a très rapidement augmenté. L'espérance de vie s'est allongée (45 ans en 1950, 68 ans en 2010) et le taux de mortalité a diminué.

Actuellement, cette croissance continue, mais à un rythme moins soutenu. L'indice de fécondité est en train de se réduire, passant de 5 enfants par femme en 1950 à 2,5 en 2010 (moyenne mondiale).

L'explosion de l'urbanisation

La croissance de la population mondiale s'est traduite par une explosion urbaine. En 2010, plus d'un homme sur deux vit en ville, contre seulement un sur trois en 1950.

Dans les pays développés, les trois quarts de la population est urbaine. La population urbaine progresse peu mais les villes s'étendent spatialement.

L'Amérique latine est un continent anciennement urbanisé alors que l'Afrique reste encore très rurale. Partout dans les pays pauvres les très fortes croissances urbaines sont alimentées par un important exode rural.

De nouveaux besoins

Dans les pays développés, des structures doivent être mises en place pour faire face au vieillissement de la population.

Dans les pays pauvres, l'accroissement démographique génère des besoins grandissants. La pression sur les ressources s'accroît.

Vocabulaire associé au texte :

Espérance de vie : durée de vie moyenne d'une personne à sa naissance.

Indice de fécondité : nombre moyen d'enfants par femme en âge d'avoir des enfants.

Taux de mortalité : nombre de décès par an pour 1000 habitants.

Urbanisation : croissance des villes."

7.2.1.2. Cartes

Les cartes utilisées pour l'expérimentation ont été dessinées en utilisant le logiciel *FreeMind* (Müller et al., 2004). Elles ne correspondent bien sûr qu'à ma propre perception du contenu des textes, thématiques et mots-clés, au moment où je les ai dessinées et elles sont tout à fait perfectibles. La première carte, sur les Cités-États Grecques, utilisée pour les tests constitue la Figure 7.3. Sur cette carte, apparaissent principalement les lieux importants et quelques éléments historiques évoqués par le texte. Sur la deuxième carte, dessinées à partir du texte sur la vie dans la Seigneurie, j'ai séparé les éléments en deux branches principales, une pour le Seigneur, une pour les paysans. J'ai ensuite rassemblé les droits et les propriétés du Seigneur d'un côté et les devoirs et les tâches des paysans, de l'autre. J'ai

ajouté des liens entre les deux branches de manière à souligner qui agit sur quelles entités de l'autre branche (voir Figure 7.4). Lorsque j'ai dessiné cette carte, je prévoyais déjà de poser des questions en rapport avec ces liens supplémentaires, pour voir s'ils auraient une incidence sur la compréhension de ces éléments précis du texte.

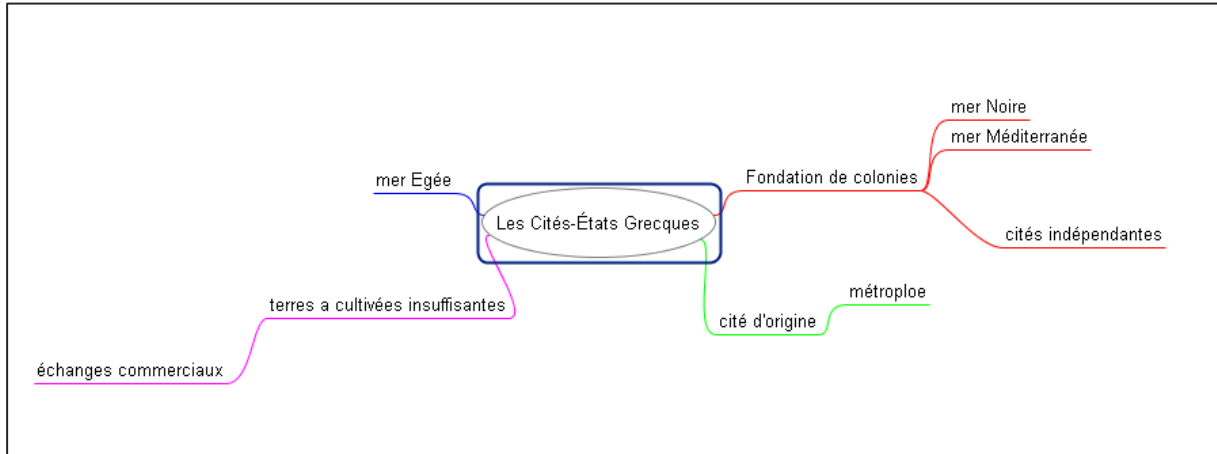


Figure 7.3 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur les Cités-États Grecques.

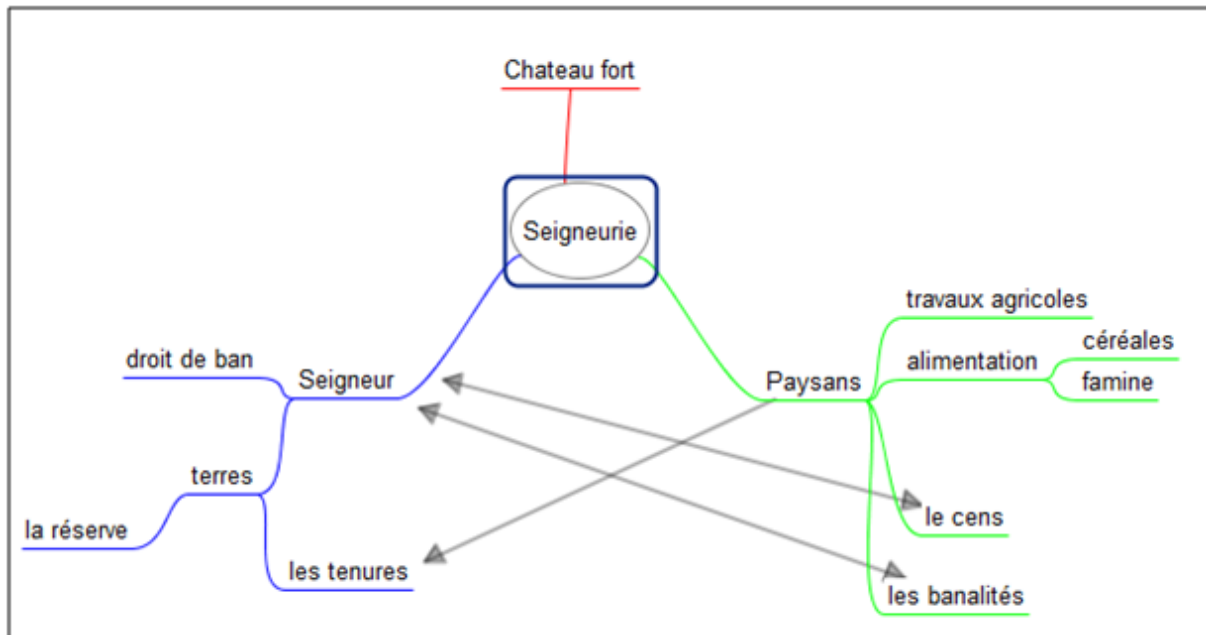


Figure 7.4 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur la vie dans la Seigneurie.

Enfin, sur la dernière carte, Figure 7.5, j'ai représenté les principaux éléments du texte sur la croissance démographique dans le monde. J'ai fait figurer l'opposition pays développés/pays en développement et j'ai ajouté d'autres branches avec les autres notions importantes du texte : la fécondité et la croissance. J'ai sur cette carte aussi, essayé d'inclure un élément graphique différent, cette fois un nuage qui résume l'évolution de la population en fonction du temps. Comme pour la carte précédente, l'objectif est qu'une question de compréhension porte directement sur cet élément mis particulièrement en valeur par la

carte, pour mesurer si celle-ci a un impact fort, sur la faculté à répondre correctement et/ou rapidement aux questions.

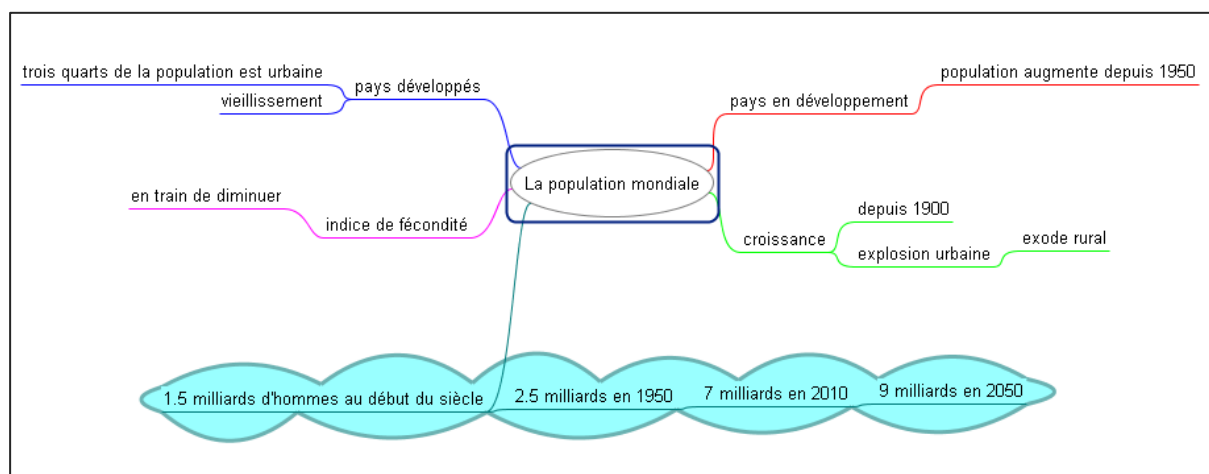


Figure 7.5 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur la croissance démographique dans le monde.

Pour toutes les cartes, j'ai volontairement utilisé uniquement des mots ou suite de mots extraites du texte, tels quel. En effet, je connaissais déjà le principe basique du fonctionnement du *LICI*, que j'étais en train de développer et je souhaitais que le contenu des cartes se rapproche au maximum de ce que pourrait être un contenu généré automatiquement par mon algorithme. Si je n'avais pas réalisé les cartes avec cette intention, et que j'avais voulu réaliser une carte sur le thème du texte lu, j'aurais certainement rassemblé plusieurs idées dans des branches que j'aurais renommées en utilisant des termes englobant toutes les notions voulues. C'est à dire que je me serai rapproché d'une carte conceptuelle, mais aussi que tous les éléments n'auraient pas seulement été extraits du texte, mais de mes propres connaissances. Or, ici, non seulement je souhaitais m'approcher de la carte générée automatiquement par le *LICI*, mais je souhaitais aussi n'exposer que le contenu du texte, sans aucune de mes connaissances associées. L'idée est d'évaluer la compréhension de ce texte et seulement de ce texte. Pour aller plus loin sur la compréhension de texte, il serait possible d'imaginer un texte contenant des informations absurdes, ou encore fantastiques, sans aucun lien avec la réalité et ainsi éviter que des biais sur les connaissances générales des lecteurs n'interfèrent dans les réponses aux questions. Ce n'était cependant pas mon objectif ici et la volonté de réaliser l'expérimentation avec du matériel réaliste et crédible correspondant à la situation rencontré en milieu scolaire était plus importante.

7.2.1.3. Évaluation de la compréhension

Pour évaluer la compréhension des textes par les élèves participants à l'expérimentation, j'ai rédigé une série de questions pour chaque texte. Les questions posées sont des questions fermées. C'est à dire que les participants choisissent leur réponse parmi une liste de propositions et ne sont jamais appelés à rédiger. Ce choix, bien que facilitant l'établissement

d'un barème afin de calculer les scores de compréhension de chaque participant, est avant tout du à la volonté de ne pas ajouter de difficulté pour le public dyslexique. En effet, l'activité de rédaction, l'expression écrite, est problématique pour la plupart d'entre eux, qui sont généralement dysorthographiques, et elle peut créer un blocage, pouvant aller de la perte de temps à l'abandon total en cours de questionnaire. La forme des questions est donc semblable à celle d'un questionnaire à choix multiple (QCM), cependant une et une seule bonne réponse figure dans les propositions et le participant ne peut pas en sélectionner plusieurs. De plus, au niveau du barème, il s'agit d'une situation d'évaluation par conformité stricte : la bonne réponse rapporte un point et une autre réponse n'en rapporte pas. Toujours par souci d'éviter l'abandon des participants, le nombre de questions comprises dans le QCM devait être limité, de manière à éviter une charge cognitive trop importante, pouvant provoquer une fatigue importante et un décrochage des participants avant la fin du questionnaire. L'estimation du nombre maximal de questions par texte, appuyée en partie par l'expérience pratique de l'équipe de Médialexie, était de 5 ou 6. J'avais au départ jugé que ce nombre était trop faible pour mesurer les différents éléments de compréhension que je souhaitais tester et j'avais rédigé 9 questions pour le texte d'histoire et 10 questions pour le texte de géographie. Mais après test de ces questions par l'équipe de Médialexie, il a finalement été décidé de se limiter à 6 questions, pour chaque texte :

- 3 questions avec des choix de réponses textuels, et 3 questions du type vrai/faux, qui sont moins fatigantes à traiter pour les élèves en difficulté, concernant le texte d'Histoire ;
- 4 questions avec des choix de réponses textuels, et 2 questions du type vrai/faux, pour le texte de géographie.

Chacune des questions a pour objectif d'évaluer un des éléments importants pour la bonne compréhension du texte ; ces questions concernent différentes échelles et différents niveaux de difficultés. Ces éléments, que l'on essaye d'évaluer dans les deux QCM, sont notamment : la compréhension générale, le sens d'une phrase, le sens d'un mot, la lecture du vocabulaire associé au texte, la présence ou l'absence d'une information dans le texte. Ces éléments peuvent être extraits directement par la bonne lecture du texte, mais à plusieurs échelles, allant de la macro-structure à la micro-structure. La compréhension de la macro-structure implique une intégration des informations et donc la création d'une structure sémantique en mémoire, tandis que les questions sur les mots et le vocabulaire permettent, elles, d'évaluer la précision et l'exhaustivité de la lecture. Ces dernières peuvent être qualifiées de *text-based* comme je l'ai développé précédemment dans le point 3.3.3.3. Ainsi, des questions sur tous ces éléments permettent déjà d'évaluer différents aspects de la compréhension de texte; cependant, je souhaite aussi faire varier le niveau de difficulté et c'est pourquoi d'autres questions porteront : sur la capacité à lire et à interpréter correctement des nombres (notamment des dates) et sur la capacité à faire des inférences; c'est à dire à croiser des informations issues de différents paragraphes, de façon logique, pour en déduire un lien conceptuel et un sens commun. Les questions qui requièrent une

activité d'inférence, sont un bon moyen pour évaluer la compréhension des lecteurs, suivant les principes du modèle situationnel de Kintsch (1988). Cependant, comme je l'ai expliqué précédemment, il faut veiller à ce que le questionnaire ne nécessite pas le recours aux connaissances préalables du lecteur, pour évaluer la compréhension du texte et non la culture générale des participants. De plus, il existe plusieurs types de questions possibles interrogeant les capacités d'inférences des lecteurs, puisque les liens conceptuels à retrouver peuvent être aussi bien des relations causales, des relations spatiales ou des relations temporelles (Amadiou et al., 2010).

A la lumière des objectifs d'évaluation et donc des types de questions que je viens de déterminer, je vais revenir sur le questionnaire de chacun des textes. Je vais d'abord donner le texte et les propositions pour chaque question et évoquer rapidement la réponse attendue et la capacité de compréhension à laquelle le lecteur doit faire appel pour y répondre. Enfin, je préciserai le rôle potentiel de l'accès à la carte heuristique pour les questions affectées. L'objectif étant d'anticiper les effets positifs et négatifs que les cartes heuristiques disponibles pourraient avoir sur des questions précises et ainsi, poser des hypothèses qui pourront être vérifiées ou infirmées lors de l'analyse des résultats.

7.2.1.4. Questions du texte 1

Voici les questions du premier QCM, réalisé pour évaluer la compréhension du texte « *La vie dans la seigneurie* », que j'ai désigné, dans l'affectation des groupes et le recueil des résultats, comme le texte 1 :

- (1) **Ce texte se rapporte à :**
- A Les guerres menées par les seigneurs au XI^{ème} siècle.
 - B *La vie des paysans à l'époque de la seigneurie.*
 - C L'alimentation des seigneurs et des paysans.
 - D La vie des paysans juste avant la révolution française.

La réponse attendue est la proposition B. Il s'agit d'une question de compréhension globale du texte. Cette question permet de voir si le lecteur a bien compris le thème du texte et ne s'est pas focalisé seulement sur les détails. Elle permet également de voir si, d'autre part, le lecteur ne va pas extrapoler et se faire piéger par de fausses informations qui ne sont pas présentes dans le texte. Si le lecteur a accès à la carte heuristique, la présence du mot Seigneurie au centre de celle-ci pourrait le conforter dans la bonne réponse et éventuellement accélérer sa décision.

- (2) **La taxe payée par le paysan en échange de la terre qu'il cultive s'appelle :**
- A La gabelle.

- B La banalité.
- C *Le cens.*
- D La corvée.

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur le vocabulaire associé au texte, qui est présenté en dessous du texte. Il faut lire les notes en dessous du texte pour pouvoir répondre à cette question. Elle contient tout de même des pièges possibles, à la fois en rapport avec le texte où plusieurs taxes sont présentées mais aussi en rapport avec la culture générale du lecteur, qui peut l'amener à nommer une taxe qui n'est pas présentée dans le texte. Le terme de cens est bien présent sur la carte heuristique, mais son rôle n'est pas clair, la flèche vers le seigneur pourrait même rendre la question confuse.

(3) Comment appelle-t-on les terres louées aux paysans sur une seigneurie ?

- A Les locatures.
- B Les bans.
- C *Les tenures.*
- D La réserve.

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur le sens d'une phrase et d'un mot. Cette question nécessite la compréhension de la deuxième phrase du texte, qui est relativement complexe. La carte heuristique contient la réponse à cette question de façon quasi-explicite.

(4) Chaque paysan peut construire son propre moulin.

- A Vrai.
- B *Faux.*
- C Je ne peux pas répondre.

La réponse attendue est la proposition B. Il s'agit d'une question de déduction, demandant l'analyse d'une information portée par le texte. En effet, il est écrit que le seigneur contraint les paysans à utiliser des installations collectives, les paysans ne peuvent donc pas mettre en place leurs propres installations. Pour cette question, la réponse C peut être considérée, lors de l'analyse qualitative des réponses d'un participant, car l'ambiguïté de la forme verbale "peut", pourrait laisser penser que les droits théoriques des paysans sont différents de ce qu'ils peuvent réellement entreprendre.

(5) Les paysans sont sous le contrôle du seigneur, lui-même sous le contrôle du roi.

- A Vrai.

B Faux.

C *Je ne peux pas répondre.*

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur l'absence ou la présence d'une information sur le texte. Cette question est piège puisqu'elle semble faire appel à la culture générale voire à une certaine logique hiérarchique que pourrait avoir le lecteur, mais aucune information concernant le roi et son rôle ne se trouve dans le texte. Il est à noter que le roi est absent de la carte et cela pourrait conforter le lecteur dans l'idée que celui-ci n'est pas mentionné dans le texte.

(6) Le droit de ban est le droit que le seigneur obtient grâce au versement des banalités.

A Vrai.

B *Faux.*

C Je ne peux pas répondre.

La réponse attendue est la proposition B. Il s'agit d'une question demandant la mise en œuvre de la capacité à croiser des informations issues de différents paragraphes. Cette question nécessite d'avoir intégré le vocabulaire de deux paragraphes différents pour pouvoir répondre sans se faire piéger par l'apparente similitude étymologique des deux termes.

7.2.1.5. Questions du texte 2

Voici une analyse similaire pour chaque question du deuxième questionnaire, permettant d'évaluer la compréhension du texte 2, « *La croissance démographique dans le monde.* » :

(1) Ce texte se rapporte à :

A La mondialisation.

B L'évolution de l'économie.

C *La démographie.*

D La migration des habitants d'Amérique latine.

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur la compréhension générale du texte. Cette question est similaire à la question (1) pour le texte 1. Elle permet d'une part de vérifier si le lecteur a bien saisi l'objectif du texte, s'il a intégré les informations en une vue d'ensemble et ne s'est pas arrêté à la micro-structure du texte. D'autre part, la question permet de vérifier que le lecteur ne va pas se faire piéger et imaginer qu'il aurait manqué les fausses informations présentes parmi les propositions. La carte heuristique n'est d'aucune aide pour répondre à cette question.

(2) Le nombre moyen d'enfants par femme en âge d'avoir des enfants c'est :

- A Le taux d'urbanisation.
- B Le taux de natalité.
- C *L'indice de fécondité.*
- D L'indice de démographie.

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur le vocabulaire associé au texte. De même que pour la question (2) du premier questionnaire, le lecteur répondra correctement s'il a lu les notes en dessous du texte. Cette question comporte aussi des pièges d'une part en proposant d'autres expressions présentes dans le texte et d'autre part, en proposant des réponses crédibles provenant de la culture générale. La bonne réponse est la seule, parmi les propositions, à figurer sur la carte heuristique.

(3) L'augmentation de la population mondiale :

- A 4 milliards au début du XXème siècle, 2,5 milliards en 1950, 7 milliards en 2010.
- B 1 milliard en 1800 et 7 milliards en 1950.
- C *1,5 milliards au début du XXème siècle et 7 milliards en 2010.*
- D 1 milliard au début du XXème siècle, 2 milliards en 1950, 9 milliards en 2050.

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question sur le sens d'une phrase ou d'un mot. Cette question nécessite un tri des informations, au sein d'une phrase longue. Choisir la bonne réponse est cependant très facile pour un lecteur qui n'éprouve aucune difficulté avec les dates et les ordres de grandeurs. La carte heuristique contient la réponse de manière explicite et elle est même mise en avant par le nuage bleu. Le seul problème possible réside dans l'usage, dans le texte, de l'expression "au début du siècle", alors que le siècle évoqué est en fait le siècle dernier...

(4) Que peut-on trouver dans les pays développés :

- A Un accroissement démographique important.
- B *Une forte urbanisation.*
- C Un fort taux de mortalité.
- D Un indice de fécondité important.

La réponse attendue est la proposition B. Il s'agit d'une question réclamant l'analyse d'informations portées par le texte. Trouver la bonne réponse exige une bonne compréhension et un travail de tri parmi plusieurs informations possibles, mais qui sont

toutes clairement infirmées ou affirmées par le texte. L'accès à la carte heuristique peut être un vecteur d'erreur pour cette question. En effet, la forte urbanisation n'apparaît pas dans la carte, mais en plus, il est fait référence au vieillissement, qui pourrait être associé à tort à un fort taux de mortalité.

(5) La population chinoise a doublé entre 1950 et 2010.

A Vrai.

B Faux.

C *Je ne peux pas répondre.*

La réponse attendue est la proposition C. Il s'agit d'une question portant sur l'absence ou la présence d'une information sur le texte. Elle évoque une information qui se trouve être exacte, mais qui est absente du texte. Le lecteur qui connaîtrait cette information doit respecter les consignes de l'expérimentation et ne pas faire appel à ses connaissances préalables pour répondre.

(6) Depuis 1950, l'espérance de vie mondiale a augmenté de plus de 20 ans et la population mondiale a augmenté de plus de 4 milliards.

A *Vrai.*

B Faux.

C Je ne peux pas répondre.

La réponse attendue est la proposition A. Il s'agit d'une question qui fait appel aux capacités d'inférences du lecteur. Il est nécessaire de faire un parallèle entre les chiffres donnés dans deux paragraphes différents pour répondre. Si le lecteur n'est pas attentif ou ne souhaite pas passer du temps à chercher, il va supposer que l'information n'est pas présente dans le texte.

Les questions que j'avais préparé et qui ont finalement étaient écartées des questionnaires se trouvent dans le volume d'*Annexes* (B-1). Enfin, lors de l'élaboration des deux questionnaires sur les textes respectifs, j'ai tenté de conserver un niveau de difficulté similaire. Cependant, considérant les différentes capacités à mettre en œuvre pour répondre, qui ne sont pas symétrique pour les deux textes, il est possible que l'un soit plus difficile que l'autre. Cela devra être déterminé et analysé statistiquement dans la partie présentant les résultats.

7.2.1.6. Consignes

Afin d'être complet concernant les conditions pour passer l'expérimentation, j'ai aussi extrait le texte des consignes qui étaient données aux participants, avant de lire les textes et de

répondre aux questions. Voici le texte des consignes, qui est évidemment affiché de façon plus lisible dans l'environnement final de l'expérimentation :

"Vous allez passer un test permettant de mesurer votre compréhension de deux textes.

Vous devez lire chaque texte, d'une traite, mais sans vous presser, de manière à le comprendre le mieux possible.

Chaque texte est accompagné d'un vocabulaire associé. Il s'agit de la définition de certains mots techniques présents dans le texte.

Vous devrez ensuite répondre à des questions à choix multiples. Vous devez choisir une seule réponse pour chaque question, qui vous semble être la bonne réponse. Si vous n'êtes pas sûr ou que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à relire le texte, qui peut être affiché en dessous des réponses. Vous avez toujours la possibilité de passer une question trop difficile, mais vous ne pourrez pas y revenir.

Pour l'un des deux textes que vous allez lire, vous aurez accès à une carte heuristique. Il s'agit d'un schéma contenant les mots clés du texte, reliés entre eux en fonction de leurs relations dans le texte. Cette carte permet de mettre en évidence les points importants du texte sans avoir à le lire entièrement."

A chaque question, si besoin, vous pouvez afficher la carte en plus du texte, lorsque celle-ci est disponible."

Comme je l'ai précisé auparavant, toutes les consignes, celles-ci, celles concernant les informations personnelles et les consignes intertextes étaient disponibles à l'écoute en format audio.

7.2.2. Environnements

L'environnement d'abord prévu pour héberger l'expérimentation était la plate-forme *Moodle*, mais au vu des difficultés initiales, un autre environnement a été testé et comparé avec *Moodle* : l'environnement de conception de questionnaires en ligne *LimeSurvey*.

7.2.2.1. Moodle

Moodle (Moodle Pty Ltd, 2016) est une plate-forme d'apprentissage en ligne, très pratique, couramment utilisé au sein du LRL pour mener différentes formations en ligne. Elle permet d'accueillir des participants sur inscription, comme un forum et intègre d'ailleurs des forums et un ensemble d'outils pratique pour partager des ressources, déposer des documents, gérer des espaces de dépôts de travaux par les participants, avec la possibilité de paramétrer des limites de dates. Cependant, dans la version de la plate-forme que je devais utiliser pour héberger l'expérimentation du projet *LICI*, il n'était pas possible de recueillir directement le temps passé sur chaque page d'une activité par les utilisateurs. Cette option étant impérative dans le cadre de la récupération des traces de l'expérimentation, j'ai cherché une

solution. Afin d'intégrer un questionnaire comme ressource extérieure dans *Moodle*, la solution était d'utiliser une ressource ou une activité extérieure, dans laquelle la récupération de toutes les traces nécessaires est possible. La norme SCORM permet de concevoir de telles ressources ou activités. Je ne vais pas détailler ici les origines et les caractéristiques de SCORM, mais j'évoque ces questions dans le volume d'*Annexes* (B-3).

J'ai dû passer par un logiciel intermédiaire, *Hot Potatoes* (Half-Baked Software Inc., 2013), afin de créer un questionnaire au format SCORM qui permettait de répondre à mes attentes en termes d'interface et de recueil des traces. Je l'ai ensuite importé en tant qu'activité dans ma plate-forme *Moodle*. Toutefois, l'environnement final obtenu est assez complexe et beaucoup d'étapes sont nécessaires à chaque participant pour passer l'expérimentation. En effet, il est d'abord nécessaire de se connecter à la plate-forme *Moodle*, de créer un compte en donnant une adresse mail et en choisissant un login et un mot de passe. L'administrateur doit ensuite valider chaque compte pour que les participants puissent agir dans la plate-forme. Ils doivent ensuite naviguer dans l'interface sous forme de forum pour trouver l'activité à effectuer, ici le questionnaire *Hot Potatoes*. Ensuite, lorsque l'activité a été complétée, le résultat de chaque participant est déposé dans une section à laquelle seul l'administrateur peut accéder et il va alors pouvoir récupérer les réponses et les traces, de chaque participant une à une, pour ensuite les organiser en tableaux afin de les analyser statistiquement.

7.2.2.2. LimeSurvey

LimeSurvey (Schmitz, 2016) est un logiciel *open source* destiné à effectuer des enquêtes statistiques ou des sondages. Il peut être géré à partir d'une interface directement sur un navigateur internet et il comprend un éditeur de texte pour rédiger et mettre en page les consignes, questions et réponses. L'ensemble des données d'un questionnaire est géré et stocké dans une base de données SQL. Le logiciel contient des modèles de design préconstruits, parmi lesquels l'utilisateur peut choisir, et il permet aussi d'insérer sur chaque page des zones libres en langage HTML, ce qui est utile pour personnaliser l'interface, insérer des liens, des images ou des vidéos.

LimeSurvey nécessite d'être installé sur un serveur, ce qui peut être contraignant, mais d'autres membres de l'équipe Médialexie l'avaient déjà utilisé pour effectuer des sondages auprès de leurs utilisateurs et je pouvais donc bénéficier de cette installation préalable. Je n'avais donc à me soucier que de la création du questionnaire pour mon expérimentation, en utilisant les outils disponibles à partir du logiciel *LimeSurvey*. Une fois connecté à l'interface du logiciel sur le serveur, un compte administrateur permet d'accéder à toutes les options pour créer et éditer un questionnaire. Une fois le questionnaire prêt, l'administrateur peut déterminer des dates de début et de fin d'accès au questionnaire, les traces qu'il souhaite recueillir, comprenant les réponses aux questions et tous les temps passés sur chaque page du questionnaire. Parmi les options pratiques pour mon

expérimentation, j'ai choisi de mettre en place un système de détermination aléatoire pour l'ordre d'affichage des propositions à chacune des questions. Ainsi, aucun schéma ne vient biaiser les choix de réponses des participants, même lorsque ceux-ci ont choisi une proposition au hasard pour l'une ou l'autre question. Il peut aussi être décidé si la réponse à une question est obligatoire ou encore déterminer des cheminements conditionnés par les réponses choisies. Cette dernière option a été utilisée pour les options comme "revoir le texte" ou "revoir la carte" qui sont disponibles en dessous respectivement de la carte et du texte, après leur première lecture et avant que le participant se lance dans les questions. L'interface de *LimeSurvey* inclut aussi par défaut un affichage de la progression dans le questionnaire, en haut à droite, permettant de savoir, grâce à une barre de progression et aussi des numéros de pages, combien de pages ont été parcourues et combien de pages sont restantes. Ceci est très appréciable pour les enfants en difficultés qui pourraient se sentir perdus et se trouvent rassurés par la visualisation de leur avancée dans le questionnaire. Enfin, *LimeSurvey* permet d'exporter les réponses et les traces dans différents formats.

La Figure 7.6 permet d'avoir un aperçu de l'interface d'édition d'un questionnaire *LimeSurvey*. Chaque questionnaire est divisé en groupes de questions, chacun divisé à son tour en questions, qui comprennent elles-mêmes plusieurs éléments. Ces éléments sont : la question elle-même, saisie dans un champ à part, accompagné d'un ensemble de spécifications et de conditions, qui déterminent son affichage et son comportement; puis, d'autres champs, textuels, éditables grâce à un traitement de texte intégré au logiciel et qui peuvent contenir du langage HTML afin d'intégrer des liens ou des éléments multimédia.

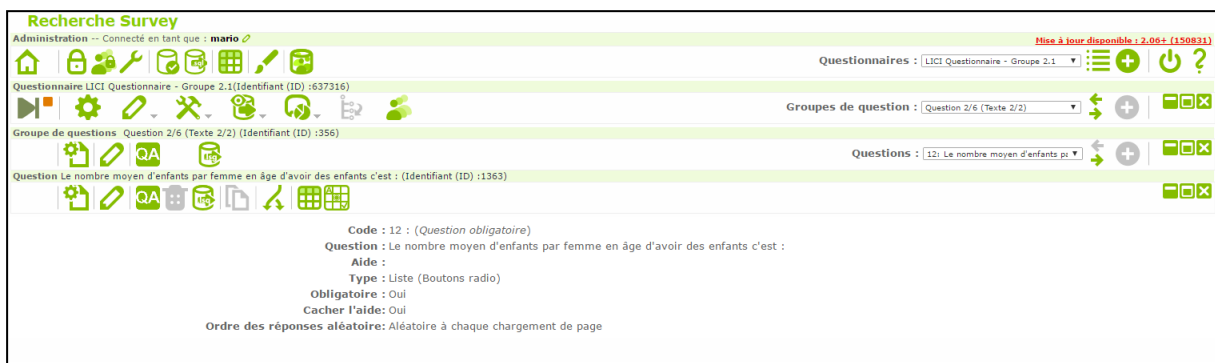


Figure 7.6 L'interface permettant d'éditer mes questionnaires avec LimeSurvey (Schmitz, 2016).

Ainsi, *LimeSurvey* permet de respecter la plupart des souhaits formulés, à propos de la plateforme d'accueil de l'expérimentation, dans la partie conception. L'un des avantages réside dans le fait que les participants, contrairement au cas d'usage de *Moodle*, n'ont pas besoin de s'inscrire sur un site, ils peuvent accéder au questionnaire et commencer à le compléter immédiatement en cliquant simplement sur un lien. En effet, lorsque l'administrateur a fini de construire le questionnaire et a choisi ses préférences en termes de récupération des traces et de dates d'ouverture du questionnaire, il dispose d'un lien internet, unique, qui

permettra à n'importe qui d'accéder à la plate-forme et de répondre au questionnaire. Grâce à un suivi des adresses ip, une même personne ne pourra pas passer deux fois le questionnaire. Le seul prérequis pour les participants sera d'avoir un navigateur internet intégrant un lecteur *Flash* pour lire les parties audio ou vidéo. J'ai intégré les consignes audio du questionnaire grâce au logiciel *Dewplayer* (2013), qui permet d'insérer un lecteur audio dans un champ HTML, grâce à un lien respectant une syntaxe spécifique, qui pointe vers un fichier audio hébergé par ailleurs. Certaines opérations supplémentaires ont été nécessaires lors de la création du questionnaire, pour répondre aux choix déterminés dans la partie conception de l'expérimentation. Il a fallu, par exemple, cacher les boutons et les textes d'aide sur chaque question, afin d'alléger les pages des informations superflues. En effet, sur l'interface par défaut de *LimeSurvey*, apparaissent des informations du type « Veuillez sélectionner un choix de réponse : ».

Un questionnaire *LimeSurvey* peut être exporté sous plusieurs formats :

- au format "lss" qui est le type de format géré par *LimeSurvey*, ainsi il peut être sauvegardé en l'état et rechargé plus tard en cas de problème ou encore rechargé sur un autre serveur ;
- aux formats "xml" et "txt", si l'on souhaite récupérer son contenu, soit avec une structure XML pour l'utiliser dans un autre logiciel, soit sans sa structure, simplement pour sauvegarder les textes de consignes, questions et réponses.

Enfin et surtout, les résultats du questionnaire peuvent être visualisés directement dans l'interface du logiciel ou être exportés sous différents formats : directement sous la forme d'un fichier R, dans un fichier de commande SPSS ou plus simplement au format d'une application au choix parmi Excell, Word, lecteur PDF ou lecteur CVS. Les résultats peuvent ainsi être exploités sur toutes les interfaces d'analyses de résultats populaires.

7.2.2.3. Choix

Après les tests effectués auprès de l'équipe de Médialexie et avec mon directeur de Thèse, mais surtout par rapport aux avantages et aux inconvénients de chaque environnement, il a été décidé de mettre en place l'expérimentation sur l'environnement *LimeSurvey*. Il faut dire qu'en plus du processus relativement long et complexe que j'ai décrit non seulement pour mettre en place l'activité dans *Moodle* mais aussi pour passer l'expérimentation en tant que participant, l'interface du questionnaire avait été jugée plus agréable et plus lisible dans sa version *LimeSurvey*, de façon unanime par mes collègues du laboratoire comme par l'équipe de Médialexie.

La vie dans la seigneurie

1) Le seigneur, maître de la terre

La plupart des paysans travaillent une terre dont ils ne sont pas propriétaires. Les terres de la seigneurie¹ se partagent en deux ensembles: d'un côté la réserve, terre que le seigneur exploite directement, en particulier grâce aux corvées², et de l'autre, les tenures, terres réparties entre les paysans.

En contrepartie, les paysans doivent verser au seigneur le cens³ et de nombreux prélèvements sur les récoltes.

2) Le seigneur, maître des paysans

En cas de danger, les paysans de la seigneurie trouvent refuge derrière les remparts du château fort. En échange de cette protection, le seigneur dispose du droit de ban, c'est-à-dire du droit de commander, de contraindre et de punir.

Dès le XIe siècle, il contraint la communauté villageoise à faire usage d'installations collectives (moulin, pressoir, four banal) et exige pour cela des taxes, les banalités⁴.

Cette pression constante sur leur vie quotidienne pousse certaines communautés paysannes à se soulever, en particulier aux XIVe et XVe siècles.

3) Vivre au village

La vie quotidienne du paysan est rude, rythmée par les travaux agricoles et souvent très précaire car les rendements des récoltes sont faibles et varient en fonction des aléas climatiques. À base de céréales, son alimentation connaît de fréquentes périodes de disette, voire de famine.

Entre le XIe et le XIIIe siècles, les campagnes parviennent à nourrir plus d'hommes grâce à l'amélioration des pratiques agricoles : recours à la jachère, usage de la charrue, attelages améliorés. L'essor démographique qui en résulte ouvre la voie à un mouvement important de défrichements.

Vocabulaire :

1. Seigneurie : ensemble de terres, ainsi que des droits et des redevances qui leur sont attachés, appartenant à un seigneur, laïc ou ecclésiastique.

2. Corvée : travaux gratuits exigés des paysans par le seigneur.

3. Cens : taxe payée par le paysan en échange de la terre qu'il cultive.

4. Banalités : redevances versées par les paysans pour l'usage, obligatoire, des outils collectifs appartenant au seigneur.

Figure 7.7 Un des textes de l'expérimentation tel que présenté dans le questionnaire LimeSurvey.

Le principal défaut, et presque le seul, qui a subsisté dans l'interface de *LimeSurvey*, par rapport aux souhaits formulés dans la partie conception, concerne la disposition de la carte et du texte sur l'écran pendant la présentation des questions. Je souhaitais qu'un bouton permette de les afficher par-dessus la question puis de les cacher à tout moment. Finalement, cela n'a pas été possible et j'ai dû me contenter d'avoir la question, puis la carte heuristique (si disponible pour les questions en cours) puis le texte, les uns en dessous des autres, ce qui obligeait les participants à utiliser l'ascenseur à droite de l'écran ou la molette de la souris, pour faire défiler la page. Au niveau du confort et de l'ergonomie, c'est une situation bien moins souhaitable, puisque consulter la carte et le texte était plus coûteux que prévu. Cependant, un phénomène intéressant a été déclenché par ce problème, lorsque la carte était disponible, elle se trouvait au-dessus du texte et était donc visible sur l'écran en même temps que la question, ce qui incitait les participants à s'y reporter.

Malgré les nombreux avantages de *LimeSurvey*, l'implémentation des questionnaires sur son interface a été très longue. En effet, j'ai tenu compte des suggestions faites par mes collègues en retour aux tests de l'environnement et j'ai dû réaliser plusieurs versions successives pour chacune des 4 situations, en modifiant la mise en page, les consignes, les polices de caractères et autre, avant d'obtenir une version finale satisfaisante.

7.2.3. Protocole

Concernant les différentes situations possibles, correspondant aux différents groupes définis dans le tableau Tableau 7.1, j'ai décidé de procéder suivant la méthode de répartition systématique parmi les groupes décrite dans le point 7.1.3.3. J'ai donc créé 4 questionnaires différents sur *LimeSurvey* et j'ai donc réparti les liens d'accès de façon égale entre les participants. Tout au long de la période d'ouverture du questionnaire, j'ai vérifié si les informations recueillies en terme d'adresse *ip* correspondaient bien aux participants qui avaient confirmé leur participation, lorsque je ne me trouvais pas sur place.

Figure 7.8 Écran de consignes générales pour le questionnaire.

L'environnement final est donc un questionnaire *LimeSurvey* comprenant :

- Une page de présentation (présentation du projet LICI, objectif non détaillé de l'expérimentation et logos des organismes et entreprises partenaires).
- Une page avec les consignes générales (voir Figure 7.8).
- Une fiche de renseignements à compléter (prénom, âge, classe et deux questions sur les pratiques des élèves : Sont-ils aidés par leurs parents pour leur devoirs scolaires ? Connaissent-ils les cartes heuristiques ?).
- Les consignes pour répondre aux questions.
- Un premier texte (puis l'accès ou non à la carte associée) (voir Figure 7.7).
- Un QCM de 6 questions (avec accès au texte et à l'éventuelle carte) (voir Figure 7.9).
- Répétition des deux étapes précédentes.
- Une page de remerciements, contenant les informations pour me contacter et les licences des différents matériels et logiciels utilisés.

LICI Questionnaire - Groupe 2.1

0% 100%

Question 2/6 (Texte 1/2)

* La taxe payée par le paysan en échange de la terre qu'il cultive s'appelle :

La gabelle.
 La banalité.
 La corvée.
 Le cens.

Le diagramme illustre la structure d'une seigneurie. Au sommet se trouve le 'Chateau fort' qui abrite la 'Seigneurie'. Le Seigneur possède le 'droit de ban' et les 'terres' (composées de 'la réserve' et 'les tenures'). Les 'Paysans' travaillent les terres et fournissent au Seigneur 'le cens' et 'les banalités'. En retour, le Seigneur fournit aux Paysans 'l'alimentation' (céréales) et évite la 'famine'. Les 'travaux agricoles' sont effectués par les Paysans.

Figure 7.9 Écran de présentation de l'une des questions de l'expérimentation, avec la carte disponible (le texte se trouve plus bas).

7.2.4. Recrutement

Le recrutement de participants pour l'expérimentation a finalement été beaucoup plus compliqué que prévu. Les partenaires pressentis se sont tous désistés pour diverses raisons, sur lesquelles je reviendrai plus tard. Finalement, les participants sont originaires principalement de deux collèges : un collège qui a fourni la majorité du public de normo-lecteurs et un autre qui a fourni la majorité du public de lecteurs en difficulté. Le premier est un collège public classique, tandis que le second est un collège privé, spécialisé dans l'accueil des enfants en difficulté scolaire, et plus particulièrement des dyslexiques. J'ai eu l'occasion de m'entretenir avec le directeur du collège pour en savoir davantage. Ce collège comporte trois classes de 6^{ème}, l'une suit le programme standard défini par l'éducation nationale, tandis que les deux autres suivent des programmes adaptés, afin que les élèves puissent faire la transition plus facilement entre primaire et collège. Dans ces classes, le programme scolaire prévu est réalisé en deux ans au lieu d'un. Chaque année une cinquantaine d'élèves est présentée au brevet des collèges pour une moyenne de 3 échecs. Cela montre une réussite assez convaincante des adaptations mises en place. Beaucoup d'élèves du collège travaillent avec des logiciels d'aide et de remédiation et ils passent un maximum d'heures de leur temps de présence au collège accompagné par un enseignant. La répartition des effectifs est de seulement 8 élèves pour un enseignant.

Dans le cas des deux collèges, j'ai d'abord contacté l'administration en expliquant mon projet, puis j'ai eu un rendez-vous avec le directeur de chacun des établissements, qui a délivré son autorisation pour faire passer l'expérimentation au sein de son établissement. Ensuite, j'ai été dans les deux cas en contact avec la documentaliste de l'établissement à qui j'ai expliqué le protocole et qui a surveillé les élèves qui ont passé l'expérimentation par groupe, dans une salle équipée de postes informatiques. A chaque fois, j'ai préalablement vérifié que les ordinateurs répondaient bien au pré-requis techniques pour répondre aux questionnaires dans de bonnes conditions. J'ai également modifié les limitations empêchant les réponses multiples à un questionnaire à partir du même poste, afin que plusieurs élèves puissent répondre successivement en utilisant le même ordinateur. De plus, j'ai rédigé un contrat de consentement éclairé, à l'intention des participants à l'expérimentation, précisant leurs droits et leurs devoirs. Ce contrat a été transmis aux parents ou aux représentants légaux des élèves, pour les informer et obtenir leur accord, avant le lancement de l'expérimentation.

Lors de mes rencontres avec les directeurs des deux collèges, j'ai proposé de faire une intervention en classe devant les élèves pour les remercier de leur participation à mon expérimentation. Cette intervention pouvait se dérouler suivant les modalités et le thème souhaité par le directeur. J'ai ainsi présenté mon parcours universitaire, le métier de chercheur et un aperçu de mes travaux de recherche devant des élèves du collège public. Ils ont ensuite pu me questionner sur ces activités dont ils ignoraient totalement l'existence. Cette expérience a été bénéfique et enrichissante pour chacun et a permis de donner un aspect convivial à la participation des collégiens à mes travaux de recherche.

Finalement, pour compléter l'effectif minimum requis, j'ai également contacté directement de nombreux orthophonistes et des responsables de centres d'aide spécialisés pour les enfants sujets à des troubles des apprentissages. Le protocole de contact a été constitué d'un premier courriel d'explication du contexte de recherche et de l'objectif de l'expérimentation (le document utilisé est disponible dans le volume d'*Annexes*, B-2). Un deuxième courriel a été envoyé ensuite aux personnes répondant positivement, avec les détails concernant les conditions nécessaires à la participation à l'expérimentation et les précisions sur le public recherché afin de connaître le nombre de participants potentiel. Enfin, une fois la participation d'un ou plusieurs patients ou élèves confirmée, les liens directs vers la plateforme de l'expérimentation ont été renvoyés. J'ai alors supervisé, en présentiel ou à distance, suivant les cas, toutes les participations individuelles à l'expérimentation.

Au total, la plate-forme de l'expérimentation est restée en activité d'avril à décembre 2014. Les premiers accords ont été conclus avec le collège public. Les élèves participants ont passés l'expérimentation entre le 10 et le 24 avril 2014. Les élèves du collège privé ont, eux, passés l'expérimentation entre le 4 et le 11 décembre 2014. Entre avril et décembre, ce sont

les autres participants, principalement les patients d'orthophonistes que j'ai contacté directement, qui ont répondu aux différents questionnaires.

7.3. Résultats

7.3.1. Participants

Au collège public, j'ai recueilli les résultats de 41 normo-lecteurs et de 6 dyslexiques. Au collège de privé, j'ai recueilli les résultats de 27 normo-lecteurs et de 37 dyslexiques. En plus du public réuni par le biais des collègues, les contacts directs auprès d'orthophonistes et d'autres professionnels de santé ont permis de rassembler 12 participants sujets à des troubles de la lecture supplémentaires. Au total les effectifs sont de 68 normo-lecteurs et de 55 dyslexiques. Finalement, malgré les contacts avec l'étranger qui avaient été envisagés au départ, tous les participants habitent en France. Je rappelle que j'utilise, dans ce chapitre, le terme de "dyslexique" pour désigner tous les individus du groupe qui est en réalité composé d'élèves en difficulté de lecture, que ceux-ci aient été diagnostiqués « officiellement » ou non.

7.3.2. Données recueillies

Bien avant de commencer l'analyse des résultats, j'ai procédé à une observation des réponses données dès les premiers questionnaires remplis, en avril 2014. Mon objectif était de vérifier que les scores obtenus par les élèves étaient suffisamment variés pour pouvoir mesurer des différences de performances. En effet, des scores tous très élevés ou tous très faibles auraient immédiatement indiqués que les textes que j'avais choisi ou que les questions que j'avais rédigées n'étaient pas adaptées à mon public et à l'évaluation des compétences que je souhaitais effectuer. J'avais donc considéré la possibilité, en ultime recours, de modifier différents paramètres après les premiers résultats. Heureusement, la variabilité des scores comme celle des temps de lecture recueillis m'a immédiatement conforté dans l'idée que le matériel et les questions que j'avais définies étaient adaptés à mes objectifs. J'ai donc pris la décision de pousser l'expérimentation exploratoire en l'état, avec les éventuels défauts dus à mon manque d'expérience dans le domaine, jusqu'à ce que j'aie obtenu suffisamment de réponses. Je reviendrai sur ces défauts en fin de chapitre, après avoir présenté les données recueillies ainsi que les analyses quantitatives et qualitatives que j'ai effectuées.

7.3.2.1. Informations personnelles

Les 55 participants dyslexiques, 16 filles et 39 garçons, sont âgés de 11 à 16 ans, avec une moyenne de 13,4 ans. 9 sont en classe de 6ème, 19 en 5ème, 19 en 4ème et enfin 7 en 3ème. L'un des participants a indiqué n'être dans aucune de ces classes, mais probablement

par erreur car il a passé l'expérimentation au sein de l'un des collègues et a 14 ans. 6 dyslexiques n'ont pas indiqué leur âge, cette donnée était obligatoire mais ils ont rempli par erreur la case avec une autre information (leur nom de famille pour la plupart, alors que celui-ci n'était pas demandé).

L'effectif de normo-lecteurs est de 68, 36 filles et 32 garçons, leur moyenne d'âge est de 13,2 ans et ils ont tous entre 12 et 16 ans. 20 d'entre eux sont en classe de 5ème, 37 en classe de 4ème et 9 en classe de 3ème. 7 normo-lecteurs n'ont pas indiqué leur âge, pour les mêmes raisons que les participants dyslexiques.

La disparité d'âge et de classe parmi les participants est malheureusement trop grande pour tirer de réels enseignements en termes de comparaison entre les deux groupes, cependant une analyse qualitative peut tout de même être sérieusement considérée. De plus, si le niveau scolaire des élèves n'est pas réparti similairement pour les deux groupes et que les normo-lecteurs sont d'un niveau moyen plus élevé, l'âge moyen, lui, reste très proche. De ce fait, je constate d'une part que les dyslexiques sont en moyenne moins avancés que les normo-lecteurs dans les niveaux scolaires au même âge, et d'autre part, je serai amené à faire une comparaison des performances non pas en termes d'âge réel mais en termes de niveau scolaire.

Parmi les participants dyslexiques, 23 sont aidés par leurs parents hors du collège pour leurs devoirs scolaires, 25 sont suivis par un(e) orthophoniste et 2 par un(e) ergothérapeute. Pour les collégiens normo-lecteurs, 20 sont aidés par leurs parents et 1 est suivi par un(e) orthophoniste. Seulement 3 dyslexiques ont déjà utilisé des cartes heuristiques avant de participer à l'expérimentation, et aucun des normo-lecteurs !

7.3.2.2. Cohérence des temps de passation

Le premier travail que j'ai réalisé sur les résultats a été de calculer les moyennes de temps passé par les différents groupes de participants sur les différents textes ; et ce, afin de déterminer si l'un des textes était plus long à traiter mais aussi de comparer la durée de la tâche pour les normo-lecteurs et les dyslexiques.

Avant de considérer les moyennes obtenues par chaque groupe, il a été nécessaire de vérifier que le temps passé sur l'expérimentation par chaque individu pris un à un semblait cohérent. En effet, il est possible que certains participants n'aient :

- soit pas réellement tenté de répondre au questionnaire ;
- soit fait face à des difficultés extérieures au moment de remplir celui-ci.

Dans les deux cas, il peut en résulter des temps de réponse, voire des réponses, absurdes qui viendraient fausser les moyennes des groupes auxquels ils appartiennent. Je me suis donc référé au temps passé sur les différentes pages du questionnaire (informations personnelles,

textes, questions...) pour déterminer si certains participants n'avaient pas répondu au questionnaire suivant les conditions et l'objectif convenus.

J'ai tout d'abord décidé d'exclure des moyennes globales les participants ayant répondu trop rapidement au questionnaire pour l'avoir fait correctement. Deux participants sont concernés, leurs identifiants sont 93 et 119, et ils ont passé respectivement 3 minutes 52 et 6 minutes sur l'ensemble de la plateforme de l'expérimentation, lecture des consignes comprises. En fonction des temps passés sur chaque question, il apparaît de façon sûr qu'ils ont simplement cliqué au hasard sur l'une des propositions à chaque fois. Le troisième temps de complétion le plus rapide est de 8 minutes 56, dont 1 minute 40 et 1 minute 20 passées à la lecture des deux textes respectifs, et entre 10 et 20 secondes sur chaque question. Cela semble rapide, mais considérant que plusieurs autres participants ont complété le questionnaire en des temps proches de 9 minutes 30 et qu'ensuite les temps s'étalent de façon assez homogène entre 10 et 23 minutes, j'ai décidé de conserver ce résultat.

De plus, quatre individus se distinguent par un temps passé à répondre aux questionnaires significativement plus long, leurs identifiants sont 55, 53, 23 et 34 et ils sont tous identifiés comme dyslexiques (donc en réalité des lecteurs en difficulté). Leurs temps sont de respectivement 30 minutes, 37 minutes, 44 minutes et 69 minutes. J'ai procédé à une inspection qualitative des temps qu'ils ont passés respectivement sur chaque texte et chaque question afin de déceler une anomalie pouvant expliquer ces temps anormalement long.

Pour le participant 55, le temps passé à la lecture du premier texte présenté, le texte d'histoire, est de 14 minutes, contre environ 3 minute en moyenne. Ce temps supplémentaire suffit seul à expliquer la différence de temps total de cet individu avec le reste des participants. Il est difficile de savoir si ce participant a interrompu sa lecture suite à un problème d'attention, ou s'il a été particulièrement en difficulté pour lire le texte. Cependant, compte tenu des consignes annonçant une expérimentation d'une durée d'environ 30 minutes, il est difficile d'exclure ses réponses des résultats. Concernant le participant 53, ses temps sont anormalement longs sur les pages de transitions, la première page du questionnaire, présentant le déroulement et la page intermédiaire entre les deux textes, qui contient peu d'informations. De plus, ses temps passés sur les pages de questions sont relativement élevés, mais assez équilibrés. Dans son cas, le temps total de 37 minutes reste également raisonnable par rapport aux recommandations de départ. Pour le participant 23, les temps anormalement élevés sont principalement concentrés sur le premier texte qu'il a eu à lire, le texte de géographie, ainsi que sur les premières questions auxquelles il a dû répondre. Il a passé plus de 5 minutes sur plusieurs questions concernant ce texte. Enfin, concernant le participant 34, les temps passés sur chaque page sont plus élevés que la moyenne, notamment sur la lecture des textes. De plus, ce participant est resté 15 minutes sur la page d'informations personnelles.

Au vu des résultats, et de la répartition des temps, il ne fait pas de doute que ces participants ont rempli les questionnaires avec bonne volonté, cependant, les écarts de temps considérables avec la moyenne des participants faussent les valeurs telles que la moyenne et l'écart-type du groupe de lecteurs en difficulté. Notamment si ceux-ci ont parfois interrompu leur tâche pour se consacrer à d'autres activités hors de l'écran. De plus, étant donné leur nombre : 4 sur une population totale de 57, il paraît raisonnable de penser qu'ils ne sont pas des individus représentatifs de la population générale à laquelle ils appartiennent et qu'ils ont pu être dans de mauvaises conditions pour remplir le questionnaire, ou alors, qu'ils souffrent de difficultés supplémentaires tel que des TDA/H ou des troubles moteurs. Ainsi, je prendrai en compte leurs résultats dans les analyses qualitatives mais je les exclurai des analyses quantitatives.

7.3.3. Analyses quantitatives

7.3.3.1. Résultats par classe de sexe

Lors de l'élaboration du questionnaire, j'ai décidé de recueillir les données concernant le sexe des participants dans la page d'informations personnelles. En effet, celles-ci sont souvent utilisées afin de mener des comparaisons dans les analyses d'expérimentation. Cependant, sur le sujet de la dyslexie, la seule hypothèse que j'ai retenue de mes lectures concerne une plus grande prévalence dans la population masculine. Dans les données que j'ai rassemblées, on retrouve un effectif masculin plus important parmi les dyslexiques, tandis que les effectifs sont équilibrés pour le public normo-lecteur. Mais, ceci ne permet pas de conclure quoi que ce soit sur la prévalence supposée de la dyslexie chez les individus de sexe masculin. De plus, je n'ai posé aucune autre hypothèse concernant les performances des participants vis à vis de leur sexe. Je présente tout de même ici les tableaux de résultats généraux des participants, suivant leur groupe d'appartenance et leur sexe. Le Tableau 7.2 permet de constater qu'il n'y a pas de différence significative dans les moyennes globales de scores, selon les sexes.

	F	M
Dyslexiques	6,3 (15)	6,4 (36)
Normo-lecteurs	7,7 (34)	7,8 (31)

Tableau 7.2 Moyenne des scores obtenus et effectif, suivant le sexe et le groupe.

Le Tableau 7.3 montre une faible différence dans les moyennes globales de temps. Pour les dyslexiques, les participantes ont réalisé la tâche en un temps légèrement plus important, une quarantaine de secondes de plus en moyenne.

	F	M
Dyslexiques	1019,7 (15)	972,7 (36)
Normo-lecteurs	912,4 (34)	911 (31)

Tableau 7.3 Moyenne des temps de complétion en secondes et effectif, suivant le sexe et le groupe.

7.3.3.2. Analyse des temps de lecture et de réponse

Le premier paramètre que je vais analyser plus précisément est le temps de lecture des textes, et ce afin de déterminer si un texte présentait plus de difficulté que l'autre, il sera ensuite intéressant de voir si le texte le plus long à lire est aussi celui qui entraîne les plus mauvais scores aux questions de compréhension. Le Tableau 7.4 présente les temps moyens de lecture accordé par les différents groupes de participants à l'expérimentation pour chaque texte et les écart-types associés à ces temps moyens.

Temps de lecture (en secondes)		Texte H	Texte G
Normo-lecteurs	moyenne	110,8	95,3
	<i>écart-type</i>	73,9	74,8
Dyslexiques	moyenne	145,6	142,0
	<i>écart-type</i>	113,6	80,5

Tableau 7.4 Récapitulatif du temps passé, en secondes, à la lecture des deux textes.

Il est possible d'établir certaines hypothèses à la première vue de ces temps moyens de lecture. Tout d'abord, l'écart entre la moyenne de temps de lecture du texte d'Histoire et celle du texte de géographie est très réduit pour les dyslexiques, alors qu'il est plus marqué chez les normo-lecteurs. Dans les deux cas, le texte d'Histoire a été en moyenne plus long à lire et les écart-types sont tous très importants. Ce dernier point implique que les participants ont individuellement des temps de lecture significativement différents les uns des autres. Pour le texte d'Histoire, les temps passés à la lecture s'étendent de 6 à 454 secondes chez les dyslexiques et de 4 à 287 secondes chez les normo-lecteurs. Pour le texte de géographie, les temps de lecture s'étendent de 5 à 312 secondes chez les dyslexiques et de 4 à 343 secondes chez les normo-lecteurs. Contrairement à ce que la vue des temps de lecture les plus rapides pourrait amener à penser, ces résultats n'incluent pas les individus que j'ai choisi de retirer de mes analyses. Ce phénomène s'explique en réalité par la façon dont est conçu le questionnaire. En effet, après la présentation du premier texte et la lecture de celui-ci, les participants ont pu constater que le texte apparaît à nouveau en dessous de chaque question sur toute la durée du questionnaire. Certains d'entre eux ont alors probablement choisi de ne pas lire le deuxième texte sur la page où il apparaît pour la première fois, seul, optant ainsi pour une autre stratégie de réponse aux questions. Au lieu

de lire une première fois le texte et de conserver en mémoire les informations importantes, ils sont allés trouver directement dans le texte les informations nécessaires pour répondre à chaque question au fur et à mesure de leur progression dans le questionnaire.

De plus, un autre biais est en jeu lorsqu'on regarde ce premier tableau de façon isolée. En effet, chaque participant a bien lu les deux textes, mais chacun était soit placé en 1^{ère} position dans le questionnaire, soit en 2^{ème}, suivant la condition expérimentale du groupe d'appartenance (voir Tableau 7.1). Or, le nombre de participants n'est pas exactement le même dans chaque groupe, donc si la position a une influence sur le temps de lecture, il est possible que, par exemple, davantage de normo-lecteurs aient lu le texte de géographie en deuxième position et que cela ait une influence sur les résultats globaux du Tableau 7.4.

Situation :	Carte disponible en 1 ^{ère} position		Carte disponible en 2 ^{ème} position	
	1	2	3	4
Effectif de Dyslexiques	14	14 (+1)	12 (+1)	11 (+2)
Effectif de Normo-lecteurs	20	17	17	12

Tableau 7.5 Répartition des effectifs par situation expérimentale.

Le texte d'Histoire est présenté en 1^{er} dans les situations 1 et 4. Il y a donc, d'après le Tableau 7.5, 25 dyslexiques qui ont lu le texte d'Histoire en 1^{ère} position contre 26 qui l'ont lu en 2^{ème} (les chiffres entre parenthèses représentent les participants que j'ai décidé d'écarter de mes analyses). Pour les normo-lecteurs, 32 ont lu le texte d'Histoire en 1^{ère} position contre 34 en deuxième position. Donc, l'influence de la répartition des groupes est probablement faible, au vu des écarts d'effectifs, 1 participant pour les dyslexiques et 2 pour les normo-lecteurs.

Il est désormais pertinent pour pouvoir comparer les temps de lecture des deux textes, et s'interroger sur leur difficulté respective, de séparer d'abord les temps moyens de lecture en fonction de la position du texte au sein du questionnaire.

Temps de lecture (en secondes)		1 ^{er} Texte	2 ^{ème} Texte
Normo-lecteurs	moyenne	131,1	75,0
	<i>écart-type</i>	69,5	68,8
Dyslexiques	moyenne	184,3	103,3
	<i>écart-type</i>	95,6	83,1

Tableau 7.6 Temps de lecture accordés aux textes selon leur position dans le questionnaire.

Le Tableau 7.6 présente les temps moyens de lecture passés sur un texte selon que celui-ci était placé en 1^{ère} position ou en 2^{ème} position dans le questionnaire. On constate un écart important entre les temps moyens de lecture en fonction de leur position, et ce pour les deux groupes de participants. Les écart-types restent importants lorsqu'il s'agit de la lecture du 1^{er} texte, mais surtout, ceux-ci explosent lorsque le texte est situé en 2^{ème} position dans le questionnaire. En examinant les résultats de tous les participants de manière qualitative, on retrouve une répartition des temps de lecture qui confirme l'hypothèse que j'ai formulée auparavant : pour le deuxième texte d'un questionnaire certains participants ont décidé de passer la page très rapidement (4 ou 6 secondes passées sur la page) ou même de lire le texte en diagonale (on retrouve des temps beaucoup moins importants que pour la lecture du premier texte).

D'après les écarts d'effectifs constatés dans le Tableau 7.5, davantage de participants ont lu le texte d'Histoire en 2^{ème} position. De plus, le Tableau 7.6 montre que le temps de lecture est plus court lorsqu'un texte se trouve en deuxième position, donc si l'écart d'effectifs avait une influence celle-ci devrait être de diminuer le temps de lecture moyen global du texte d'Histoire. Or, dans le Tableau 7.4 on peut voir que le temps de lecture moyen global du texte d'Histoire est plus grand que celui du texte de géographie. Ainsi, la différence d'effectifs entre les groupes ne pourrait que minimiser l'écart de temps de lecture entre les textes et cet écart doit donc être imputé à des éléments relatifs au contenu et à la structure des textes.

D'après les remarques précédentes et les écart-types démesurés retrouvés lorsqu'un texte est présenté en deuxième position, inclure les temps de lecture d'un texte qui se trouvait dans la deuxième partie du questionnaire dans une moyenne n'aurait aucun sens. Ainsi, il apparaît que la meilleure manière de comparer les temps de lecture accordés à chaque texte par les participants est de se concentrer exclusivement sur le temps passé à lire lorsque les textes étaient présentés en première position.

Temps de lecture (en secondes)		Texte H en 1er	Texte G en 1er
Normo-lecteurs	moyenne	136,1	126,4
	<i>écart-type</i>	63,2	75,7
Dyslexiques	moyenne	199,6	169,6
	<i>écart-type</i>	123,3	56,9

Tableau 7.7 Moyennes des temps de lecture des textes respectifs lorsqu'ils sont rencontrés en 1^{er} dans le questionnaire.

Le Tableau 7.7 présente uniquement les temps de lecture des textes lorsque ceux-ci apparaissent en première position dans le questionnaire. L'observation du tableau confirme que le temps de lecture du texte d'Histoire a été plus important, autant pour les participants normo-lecteurs que pour les participants dyslexiques. Comme attendu, le temps

de lecture des dyslexiques est plus important que celui des normo-lecteurs. Plus exactement, ils ont accordé 32% de temps en plus pour lire le texte d'Histoire et 25% de temps en plus pour celui de géographie.

Pour savoir si cette différence est significative, il est nécessaire d'appliquer un test statistique. Ici, il s'agit de comparer la valeur de deux moyennes, il est donc possible d'utiliser le test T de Student à condition que les données suivent une loi normale, ou gaussienne. Pour vérifier que la distribution des données est gaussienne, un autre test doit être appliqué préalablement, comme par exemple le test de Shapiro-Wilk. Or, les données de temps de lecture ne sont pas réparties de façon gaussienne selon le test (p -value = $1.231e-05$ alors qu'elle devrait être supérieure à 0,05 pour valider l'hypothèse de répartition). Cela signifie que les données extrêmes, loin de la moyenne par leur valeur très faible ou très importante, sont trop nombreuses pour appliquer le test T. Il est alors possible d'avoir recours à un test dit « non-paramétrique », c'est-à-dire un test qui ne repose pas sur l'hypothèse d'une distribution. Il existe par exemple le test U de Mann-Whitney. Celui-ci calcule une p -value en s'appuyant sur les rangs au lieu des données brutes. C'est-à-dire que l'on va non pas comparer les temps de lecture des deux populations, mais plutôt classer tous les participants dans l'ordre du temps de lecture le plus rapide au temps de lecture le plus long, puis observer la répartition des dyslexiques et des normo-lecteurs au sein de ce classement.

Selon le test U, la différence entre les temps de lecture des deux groupes, dyslexiques et normo-lecteurs, est bien significative (la p -value est de 0.0009092 donc il y a une probabilité que la différence entre les groupes soit due au hasard de 0,09%). J'ai réalisé ces calculs avec le logiciel *R* (Gentleman & Ihaka, 1997), qui permet également de visualiser graphiquement la différence entre les deux populations sous la forme de boîtes de dispersion (voir la Figure 7.10).

De plus, l'écart entre les temps de lecture des deux textes au sein d'un même groupe de participants est d'environ 7% pour les normo-lecteurs et d'environ 15% chez les dyslexiques. L'écart plus important pour les dyslexiques pourrait être un signe de la surcharge cognitive, ou de la fatigue, éprouvées au fur et à mesure de la lecture d'un texte. Selon cette hypothèse, plus le texte est long et/ou difficile à lire, plus l'écart de temps entre les normo-lecteurs et les dyslexiques s'accroîtrait. Cependant, si l'on applique le test U de Mann-Whitney, on constate que même au sein de la population de dyslexiques ou l'écart semblait important, la différence de temps de lecture entre les deux textes n'est pas significative (p -value = 0.7017 donc une probabilité de 70% que la différence de moyenne soit due au hasard).

Pour aller plus loin dans la comparaison entre les deux textes, il est nécessaire de s'intéresser aux données structurelles. Le texte d'Histoire comporte 328 mots, 15 paragraphes, 36 lignes et 2073 caractères (1761 sans les espaces). Le texte de géographie

comprend pour sa part 312 mots, 19 paragraphes, 38 lignes et 1985 caractères (1691 sans les espaces). Les deux textes sont donc comparables en termes de longueur, le texte de géographie étant toutefois plus aéré. La différence de temps de lecture pourrait donc être due à la fois à cette différence de mise en page du texte mais aussi à un vocabulaire plus ou moins éloigné du langage courant. En effet, le texte d'Histoire contient un vocabulaire davantage spécifique au sujet traité. Il est également possible que le type de texte ait une influence dans la difficulté de lecture. Le texte d'Histoire semble de nature descriptive tandis que le texte de géographie présente les caractéristiques d'un texte explicatif. Il serait nécessaire d'appliquer une méthode de calcul de la lisibilité linguistique à chaque texte afin d'évaluer plus précisément leur niveau de difficulté.

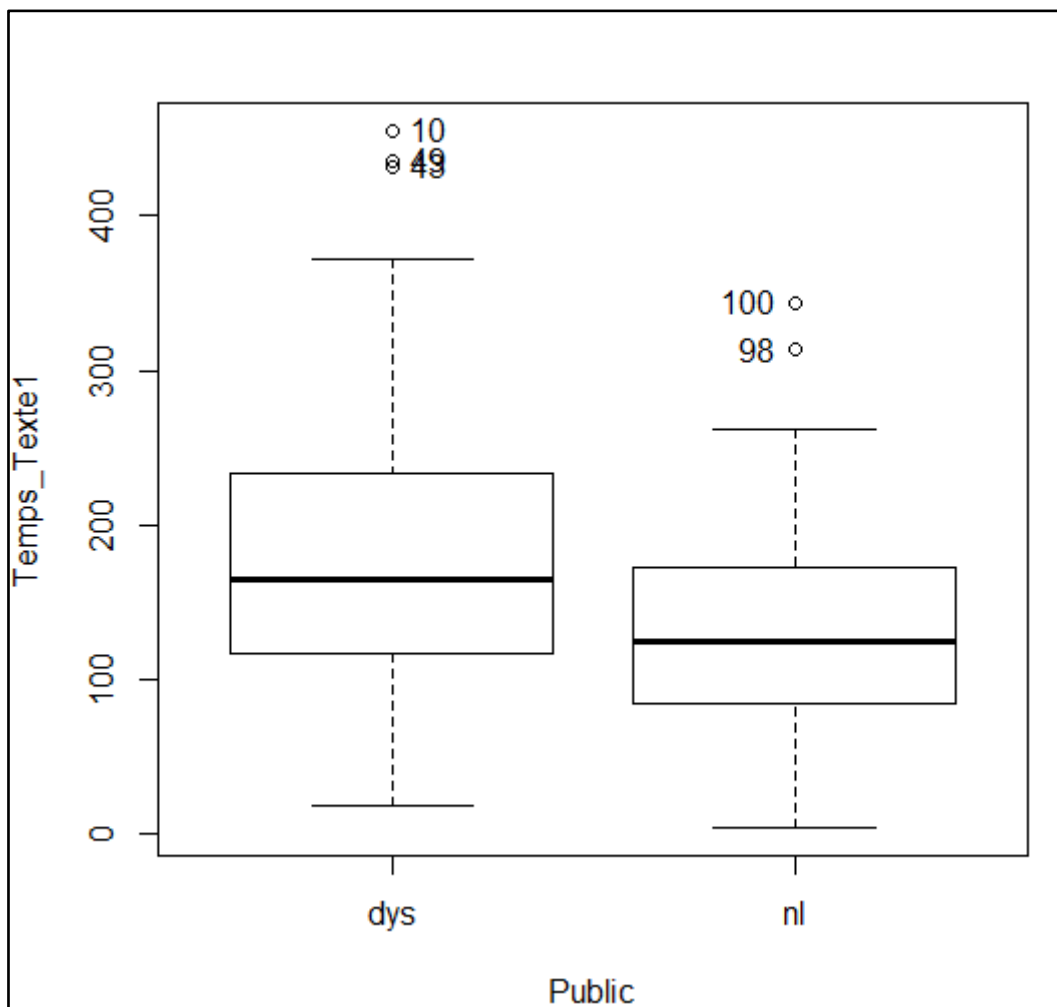


Figure 7.10 Temps de lecture respectifs des deux groupes pour le premier texte, représentés sous forme de boîtes de dispersion avec le logiciel R.

Concernant la question de la fatigue, de la surcharge cognitive ou de la saturation de la mémoire de travail des participants, et notamment pour vérifier l'hypothèse selon laquelle ces phénomènes affecteraient davantage les dyslexiques, il n'est pas possible de s'appuyer sur les temps de lecture des textes en fonction de leur position pour les raisons que j'ai données précédemment. Cependant, il est possible de comparer les temps passés à

répondre aux questions de compréhension d'un texte donné, selon la position de celui-ci dans le questionnaire. Il faudra toutefois prendre en compte la présence ou l'absence de la carte pour aider les participants à répondre aux questions. En effet, les temps de réponses sont aussi probablement dépendants de celle-ci. Ces résultats de temps moyens de réponse aux questions sont présentés dans les tableaux 7.8, 7.9, 7.10 et 7.11. Ils permettent de comparer les temps de réponse pour un même texte et une même condition de présence de la carte, selon que ce texte est présenté en 1ère ou en 2ème position. Ainsi, il est possible d'étudier l'influence de la position du texte dans le questionnaire en évitant les biais induits par les autres variables.

Temps de réponses avec la carte (en secondes)		Texte H en 1er	Texte H en 2ème
Normo-lecteurs	moyenne	248,0	226,7
	<i>écart-type</i>	134,4	91,0
Dyslexiques	moyenne	243,0	177,3
	<i>écart-type</i>	61,9	65,1

Tableau 7.8 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte d'Histoire, avec la carte disponible.

Temps de réponse sans la carte (en secondes)		Texte H en 1er	Texte H en 2ème
Normo-lecteurs	moyenne	249,4	178,5
	<i>écart-type</i>	69,5	46,9
Dyslexiques	moyenne	246,2	139,5
	<i>écart-type</i>	77,1	55,1

Tableau 7.9 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte d'Histoire sans la carte disponible.

Concernant le texte d'Histoire, les temps de réponse sont sensiblement les mêmes que la carte soit disponible ou non, lorsque le texte est présenté en premier. Par contre, lorsque le texte est présenté en deuxième, les temps de réponse sont plus courts, et ce, autant pour les normo-lecteurs que pour les dyslexiques. De plus, ces temps de réponses sont encore plus courts pour les dyslexiques et plus courts lorsque la carte n'est pas disponible, quel que soit le groupe. Selon le test U de Mann-Whitney, la différence entre les moyennes de temps de réponse aux questions d'Histoire en fonction de la position du texte est significative pour les dyslexiques, que ce soit avec ou sans la carte (respectivement : p-value = 0.02016 et p-value = 0.0006766). Cette même différence n'est significative que lorsque le texte est présenté sans carte dans le cas des normo-lecteurs (p-value = 0.004345).

Cette différence de temps moyen est difficile à interpréter sans faire une analyse qualitative et sans comparer les résultats des différents groupes en termes de score de compréhension. En effet, si les temps moyens sont plus courts et que les scores sont plus bas, il est possible que les temps plus courts soient dus à une lassitude ou une saturation de la mémoire de travail, tandis que si les scores sont plus hauts, il pourrait s'agir à l'inverse d'un phénomène d'entraînement qui expliquerait de meilleures performances sur un texte lorsqu'il se trouve en deuxième position.

Temps de réponse avec la carte (en secondes)		Texte G en 1er	Texte G en 2ème
Normo-lecteurs	moyenne	264,6	257,9
	<i>écart-type</i>	118,5	85,7
Dyslexiques	moyenne	222,5	196,1
	<i>écart-type</i>	97,4	82,9

Tableau 7.10 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte de géographie, avec la carte disponible.

Temps de réponse sans la carte (en secondes)		Texte G en 1er	Texte G en 2ème
Normo-lecteurs	moyenne	315,6	222,3
	<i>écart-type</i>	87,3	93,6
Dyslexiques	moyenne	254,3	201,4
	<i>écart-type</i>	100,0	84,0

Tableau 7.11 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte de géographie, sans la carte disponible.

Concernant le texte de géographie, les moyennes de temps de réponse sont également systématiquement plus basses lorsque le texte est placé en deuxième position dans le questionnaire. Cependant, la présence de la carte semble jouer un rôle plus important pour le texte de géographie, puisque les moyennes de temps de réponse sont généralement plus basses lorsque celle-ci est disponible pour une même position du texte dans le questionnaire. Ce n'était pas le cas pour le texte d'Histoire. Au niveau statistique, la différence de temps de réponse n'est significative que pour les normo-lecteurs, en l'absence de la carte (p -value = 0.004832).

Comme pour le texte d'Histoire, il est nécessaire d'étudier les scores des différents groupes dans les différentes situations pour faire des hypothèses plus précises sur les raisons de ces variations de temps moyens de réponse.

7.3.3.3. Analyse des scores

Dans un premier temps, il est intéressant de commenter les moyennes générales de scores obtenues par les deux groupes, selon les textes, telles que les présente le Tableau 7.12.

Scores (sur 6 points)		Texte H	Texte G
Normo-lecteurs	moyenne	3,67	4
	<i>écart-type</i>	1,53	1,48
Dyslexiques	moyenne	3,10	3,20
	<i>écart-type</i>	1,35	1,58

Tableau 7.12 Moyenne globale des scores de compréhension obtenus.

Les moyennes des normo-lecteurs sont supérieures à celles des dyslexiques pour les deux textes, comme attendu selon mes hypothèses de départ. Cette différence est statistiquement significative que ce soit pour le texte d'Histoire ou pour le texte de géographie, en appliquant le test U de U de Mann-Whitney (respectivement p-value = 0.02897 et p-value = 0.01025). Pour les deux groupes, les scores obtenus sont plus élevés pour les questions concernant le texte de géographie. Puisque l'on a vu précédemment que le texte de géographie était aussi celui qui est lu le plus rapidement, il est possible qu'il soit de manière générale plus facile à lire et à comprendre ou que l'un implique l'autre. Concernant les écart-types, ils semblent relativement proches selon les groupes et les textes et surtout aucun des deux groupes ne présente de forte hétérogénéité.

Tout comme pour l'analyse des temps de réponse, il est difficile d'estimer le rôle des différentes variables que sont la position du texte au sein du questionnaire et la présence ou l'absence de la carte pour répondre aux questions. Il est donc nécessaire de séparer ces différentes situations avant d'étudier plus en avant les résultats.

Scores (sur 6 points)		1er Texte	2ème Texte
Normo-lecteurs	moyenne	3,92	3,74
	<i>écart-type</i>	1,49	1,54
Dyslexiques	moyenne	3,04	3,25
	<i>écart-type</i>	1,46	1,47

Tableau 7.13 Moyenne des scores obtenus en fonction de la position du texte dans le questionnaire.

Le Tableau 7.13 permet de comparer les scores obtenus en fonction de la position d'un texte dans le questionnaire. Une fois de plus, je note que les écart-types sont assez réguliers et

qu'il n'y a pas de différence importante entre les deux groupes. Contrairement à mes attentes on peut constater que les scores des normo-lecteurs diminuent dans la deuxième partie du questionnaire, tandis que ceux des dyslexiques augmentent. Cependant il faut prendre en compte les effectifs de chaque groupe. D'après le Tableau 7.5, comme vu précédemment, 34 normo-lecteurs ont répondu aux questions d'Histoire en 2ème position contre 32 en première position. Puisque les questions d'Histoire ont donné lieu à de moins bon scores, il est possible que la variation d'effectif ait joué un petit rôle dans la moyenne des scores observée pour les réponses à la deuxième série de questions. Cependant, pour les dyslexiques, 26 ont répondu aux questions d'Histoire en deuxième position, contre 25 en première et les scores obtenus en deuxième position sont tout de même meilleurs. Il y a donc une vraie différence entre normo-lecteurs et dyslexiques, avec d'un côté un affaiblissement des performances pour la deuxième série de questions et de l'autre, pour les dyslexiques, une amélioration des performances. Toutefois, ce tableau reste imprécis car il ne prend pas en compte la présence de la carte pour répondre aux questions.

Les tableaux 7.14, 7.15, 7.16 et 7.17 présentent les moyennes de scores obtenues par chacun des deux groupes de participants en fonction de la position du texte traité dans le questionnaire. Les tableaux 7.14 et 7.15 concernent le texte d'Histoire, selon que celui-ci était accompagné ou non de la carte heuristique. Les tableaux 7.15 et 7.16 concernent respectivement le texte de géographie.

Moyenne des scores avec la carte (en %)	Texte H en 1	Texte H en 2
Normo-lecteurs	60	56,86
Dyslexiques	44,05	45,83

Tableau 7.14 Moyenne des scores obtenus pour le texte d'Histoire accompagné de la carte, selon sa position dans le questionnaire.

Moyenne des scores sans la carte (en %)	Texte H en 1	Texte H en 2
Normo-lecteurs	65,28	63,73
Dyslexiques	57,58	59,52

Tableau 7.15 Moyenne des scores obtenus pour le texte d'Histoire sans la carte, selon sa position dans le questionnaire.

Pour le texte d'Histoire, les normo-lecteurs obtiennent de meilleurs scores lorsque les questions se trouvaient en première partie, tandis que les dyslexiques ont obtenu de meilleurs scores lorsque les questions étaient en fin de questionnaire. On retrouve ainsi les

mêmes dynamiques que dans le Tableau 7.13. Je note tout de même que statistiquement, l'écart de score pour les dyslexiques entre le texte en 1^{ère} et en 2^{ème} position n'est pas significatif, que ce soit avec ou sans carte.

Pour le texte de géographie également, les dyslexiques obtiennent de meilleurs scores lorsque les questions sont en deuxième partie. Les normo-lecteurs confirment leur meilleur score en première partie de questionnaire pour le texte de géographie accompagné de la carte, mais lorsque celui-ci est présenté seul, une exception à la règle apparaît puisqu'ils obtiennent de meilleurs scores pour les questions en deuxième partie de questionnaire.

Moyenne des scores avec la carte (en %)	Texte G en 1	Texte G en 2
Normo-lecteurs	73,53	62,50
Dyslexiques	47,62	51,52

Tableau 7.16 Moyenne des scores obtenus pour le texte de géographie accompagné de la carte, selon sa position dans le questionnaire.

Moyenne des scores sans la carte (en %)	Texte G en 1	Texte G en 2
Normo-lecteurs	63,73	65,83
Dyslexiques	55,56	58,33

Tableau 7.17 Moyenne des scores obtenus pour le texte de géographie sans la carte, selon sa position dans le questionnaire.

De façon générale, ces résultats confirment que les scores sont meilleurs pour les dyslexiques en deuxième partie de questionnaire. Ceci va à l'encontre de l'hypothèse selon laquelle ils seraient soumis à la fatigue, à une surcharge cognitive ou à un défaut de mémoire de travail. Il faut toutefois rester prudent puisque ces constatations n'expriment qu'une dynamique observée qualitativement, mais pas validée statistiquement ; car, exceptés ceux entre les normo-lecteurs et les dyslexiques, les écarts entre les scores obtenus dans les différentes situations ne sont pas significatifs.

Il semble cependant qu'il y ait une concordance entre les meilleurs résultats obtenus par les dyslexiques et leurs temps de réponse les plus courts. En effet, pour le texte d'Histoire, les dyslexiques obtiennent de meilleurs scores sur la deuxième partie du questionnaire, tout comme ils étaient plus rapides pour répondre sur cette deuxième partie. Et, de la même manière, les scores sont également plus élevés sur cette deuxième partie si la carte n'est pas disponible, tout comme ils répondaient plus rapidement sans la carte. Ceci amène à penser

qu'il y a une corrélation assez directe entre le temps de réponse et la performance pour les dyslexiques. Ce phénomène semble toutefois plus nuancé sur le texte de géographie. Si les scores sont bien meilleurs pour le texte en deuxième position et pour le texte sans la carte, les temps, eux, sont certes plus courts lorsque le texte est en deuxième position, mais ils sont plus longs lorsque la carte n'est pas disponible. Il sera nécessaire de faire une analyse plus qualitative, sur laquelle je reviendrai par la suite, pour comprendre cette dernière observation. Une explication possible serait qu'en présence de la carte, celle-ci ait focalisée l'attention et que le nombre de réponses que l'on pouvait donner en utilisant seulement la carte est plus important pour le texte de géographie.

Pour les normo-lecteurs, les performances sont également meilleures lorsque le texte n'est pas accompagné de la carte, à une exception près, la situation 2, où le groupe N2 a obtenu un score de 73,53 % aux questions de géographie, alors que la carte était disponible. Ce score est meilleur que celui suivant la même situation sans carte (63,73 %) mais il est également de loin le meilleur score obtenu pour un jeu de questions par tous les groupes confondus. Malgré cette exception, il paraît clair que les participants ont été généralement plus performants lorsque la carte n'était pas disponible. L'influence de la présence de la carte sur le temps de réponse semble plus difficile à apprécier chez les normo-lecteurs. De plus, ils ont systématiquement répondu plus vite à une série de questions lorsqu'elle se trouvait en deuxième partie de questionnaire, mais, pour autant, leur score a été plus faible, à l'exception des questions de géographie sans carte (situation 1). La corrélation entre le temps de réponse et les performances semble donc beaucoup moins évidente pour les normo-lecteurs, voire inversée.

7.3.3.4. Scores en fonction du temps

Pour vérifier les interprétations que j'ai formulées sur la corrélation entre les scores obtenus et les temps de complétions de questionnaire, j'ai utilisé *Excel* afin de dessiner des graphes présentant les scores en fonction du temps pour chaque participant. La Figure 7.11 permet de visualiser le score global, sur 12 points, obtenu par chacun en fonction du temps total passé sur l'expérimentation, incluant la lecture des consignes, les temps de lecture et de réponse aux questions. Les carrés rouges correspondent aux participants normo-lecteurs tandis que les losanges bleus correspondent aux dyslexiques. Les droites représentent la régression linéaire obtenue à partir des résultats de chaque groupe. Au vu de la dispersion des individus, cette méthode de régression linéaire ne peut donner aucun résultat significatif interprétable. En effet, cette méthode ne s'applique que si les points représentant les résultats des individus suivent une direction cohérente et se situent à proximité de la droite. Dans ce cas, celle-ci aurait permis d'émettre une prévision sur le comportement de nouveaux individus s'ajoutant aux résultats et d'établir une corrélation forte entre temps et score. La direction des droites n'étant pas significative, je me contenterai de constater que leur position confirme l'obtention de scores supérieurs pour les normo-lecteurs.

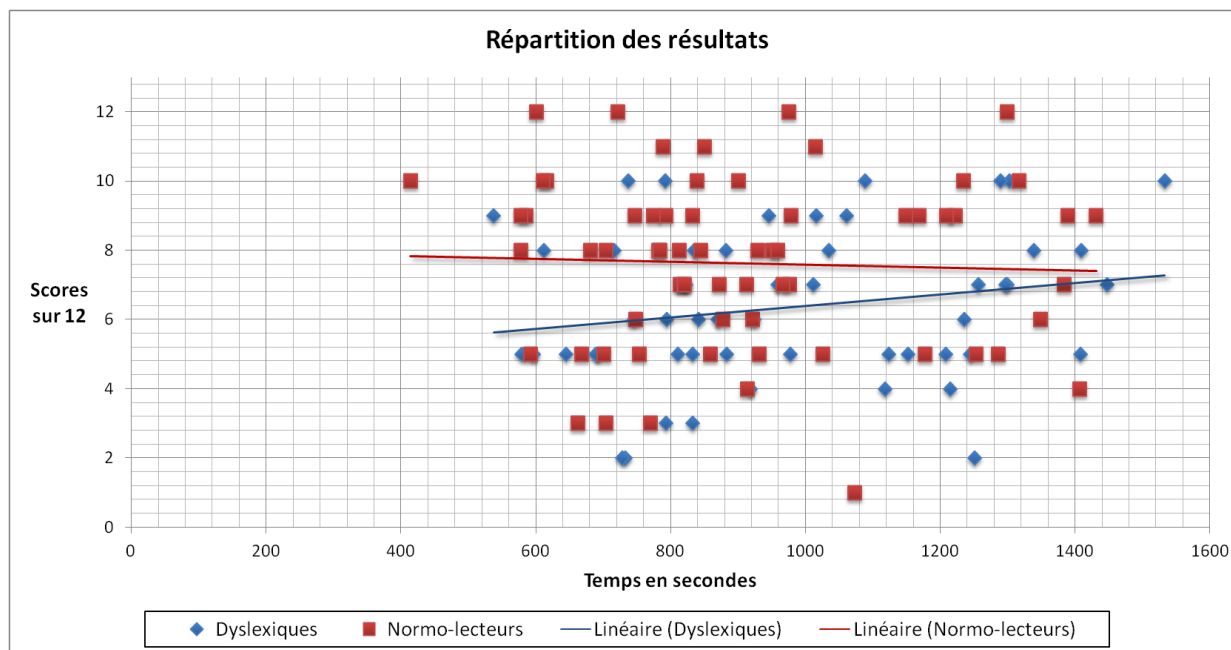


Figure 7.11 Répartition des participants en fonction de leur score et de leur temps de complétion du questionnaire.

Les graphes de répartition des scores en fonctions des temps, séparés pour la réponse aux questions des différents textes, sont présents dans le volume d'*Annexes* (B-4).

Si certaines régularités se dégagent de ces premières analyses et que des différences s'affirment en fonction de la position des textes dans le questionnaire, un autre élément peut avoir une grande influence, c'est le niveau scolaire des participants.

7.3.3.5. Résultats par classe d'âge et de niveau

Les performances des participants en fonction de leur âge peuvent être analysées suivant deux facteurs : l'âge réel et l'âge de lecture. L'âge de lecture est généralement déterminé par des tests de lecture réalisés, par exemple, auprès d'un orthophoniste. Cet âge ne peut être connu à partir des données recueillies dans mon expérimentation, cependant, je connais le niveau scolaire de chaque élève. Ainsi, certains élèves en classe de 5^{ème}, par exemple, ont 12 ans, tandis que d'autres ont 13 ou 14 ans parmi le groupe de dyslexiques. La différence âge réel/âge de lecture est usuellement utilisée pour comparer les publics suivant deux perspectives différentes : d'une part suivant les années d'expériences dans la tâche de lecture et d'autre part suivant les capacités de performance sur cette même tâche. Ces deux perspectives permettent de préciser la nature du retard du public dyslexique et de discuter de l'évolution des performances en fonction de l'âge. Je propose ici, par analogie, bien que les résultats ne soient pas les mêmes qu'avec la mesure de l'âge de lecture, d'utiliser les résultats classés par niveau scolaire et ceux classés par âge des participants pour effectuer une comparaison transversale entre les deux publics.

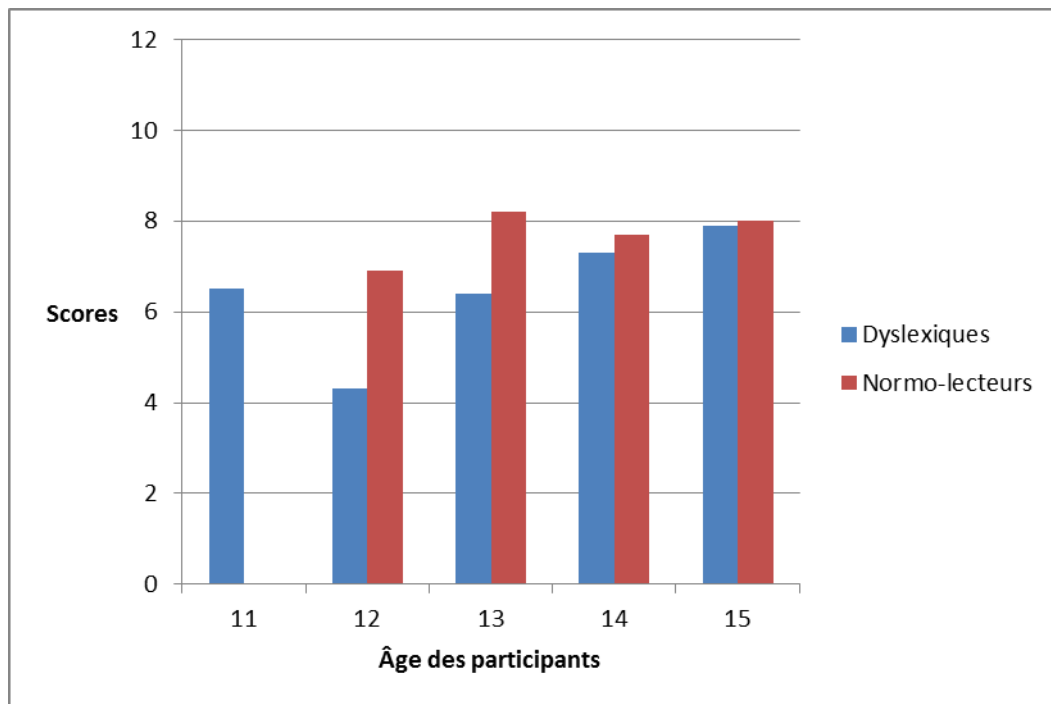


Figure 7.12 Moyennes de score des participants, par groupe, en fonction de leur âge.

La Figure 7.12 présente les moyennes de scores suivant l'âge des participants de chacun des groupes. Le groupe de normo-lecteurs ne contient pas de participant de 11 ans et les deux groupes ne contiennent qu'un seul participant de 16 ans. Les moyennes pour la classe "16" n'ont donc aucune signification et j'ai choisi de ne pas les faire apparaître sur l'histogramme. Il est difficile de dégager une régularité dans les scores obtenus en fonction de l'âge, quel que soit le groupe concerné. Pour les dyslexiques, les participants de 11 ans obtiennent une moyenne supérieure aux participants de 12 et 13 ans, tandis que les moyennes sont croissantes de 12 à 15 ans. Pour les normo-lecteurs, l'évolution est également irrégulière puisque les participants de 13 ans obtiennent la meilleure moyenne, alors que les résultats des autres classes d'âge semblent croissants de 12 à 15 ans. De plus, les différences entre les moyennes sont moins marquées.

Les temps moyen de complétion du questionnaire ne semblent également pas suivre d'évolution logique en fonction de l'âge des participants. Pour les dyslexiques le temps de complétion est croissant de 12 à 14 ans, tandis que le temps moyen des participants de 15 ans est le plus faible et celui des participants de 11 ans le plus important. Pour les normo-lecteurs, le temps de complétion est, au contraire, décroissant de 12 à 14 ans et celui des participants de 15 ans est le plus important.

Cependant, sur la Figure 7.13, représentant les moyennes de score en fonction du niveau scolaire, on constate une progression beaucoup plus régulière. Les dyslexiques comme les normo-lecteurs obtiennent une moyenne de score d'autant plus importante qu'ils appartiennent à un niveau scolaire élevé. Ainsi, si la performance de compréhension de texte évaluée par l'expérimentation n'est pas concluante en fonction de l'âge, elle semble

bien croissante en fonction du niveau scolaire. Dans le cas où l'analogie entre l'âge de lecture et le niveau scolaire serait pertinente, l'augmentation des capacités de lecture seraient en corrélation avec l'amélioration des résultats de compréhension de texte. Concernant les moyennes de temps de complétion du questionnaire en fonction du niveau scolaire, tout comme pour les moyennes en fonction de l'âge, aucune régularité ne se dégage. De plus, les écarts de temps de complétion semblent moins importants entre les catégories de niveau scolaire.

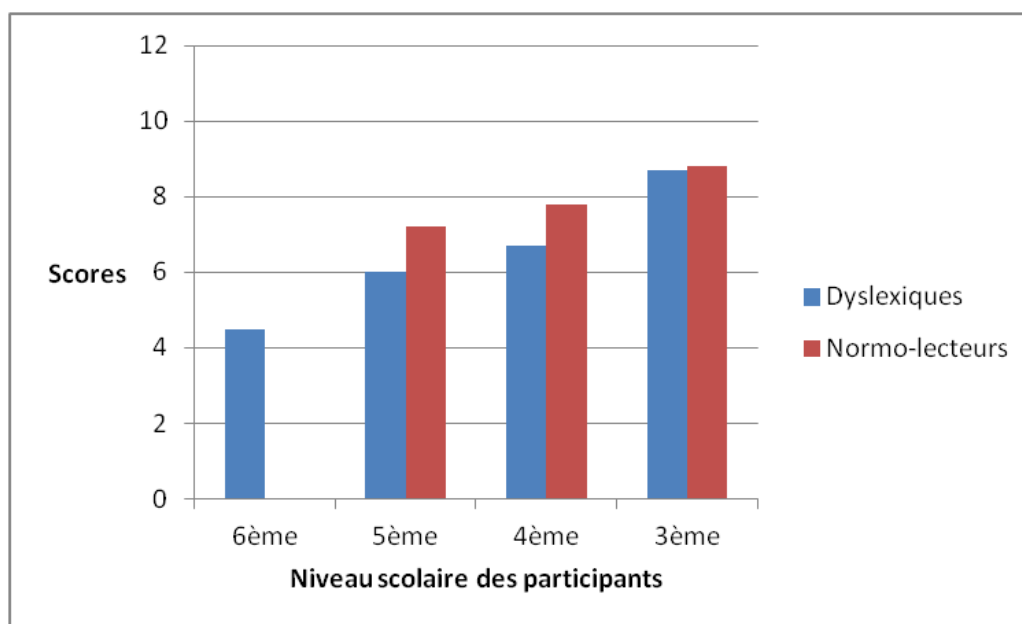


Figure 7.13 Moyennes de score des participants, par groupe, en fonction de leur niveau scolaire.

Il est à noter que puisque les scores sont croissants en fonction du niveau scolaire, l'absence de participants en classe de 6ème dans le groupe de normo-lecteurs agit comme un biais sur la moyenne générale des scores. En effet, on peut supposer que des normo-lecteurs en classe de 6ème auraient obtenu des résultats de peu supérieurs aux dyslexiques de même classe, en observant le motif induit par la Figure 7.13, et que cela aurait resserré l'écart entre les moyennes globales.

7.3.4. Retour sur les hypothèses formulées

Suite à ces différentes analyses quantitatives globales, il est nécessaire de faire le point sur les hypothèses que j'ai formulées en début de chapitre, avant de procéder à des analyses qualitatives pour étudier plus précisément les raisons des observations que j'ai effectuées jusqu'à présent.

7.3.4.1. Hypothèse 1

Tout d'abord, mon hypothèse (1), selon laquelle les dyslexiques obtiennent de meilleurs résultats au test de compréhension lorsque la carte est disponible, ne se vérifie pas. Les scores des dyslexiques sont même systématiquement moins bons en présence de la carte. Il est possible que les dyslexiques éprouvent des difficultés à lire la carte, notamment des problèmes de désorientation, ou encore de surcharge cognitive, lorsqu'ils effectuent des allers-retours entre texte et carte afin de les associer de manière cohérente. Ainsi, les dyslexiques peuvent se retrouver rapidement perdus dans la lecture de la carte, d'autant plus que peu d'entre eux (trois participants) ont déjà été amenés à travailler avec des cartes heuristiques. Enfin, une autre explication possible, serait que les dyslexiques se sont limités aux informations contenues dans la carte pour répondre aux questions lorsque celle-ci était disponible. En effet, cette hypothèse est assez crédible de par la présentation des pages du questionnaire. Lorsque la carte est disponible, celle-ci apparaît directement en dessous de la question posée et le texte est situé encore en dessous de la carte, ce qui oblige le participant à faire défiler verticalement le contenu de la page du questionnaire pour pouvoir accéder au texte.

7.3.4.2. Hypothèse 2

Selon l'hypothèse (2), les normo-lecteurs auraient dû être significativement plus rapides pour répondre aux questionnaires et lire le texte en l'absence de carte. Lorsqu'une série de questions était en deuxième partie, les normo-lecteurs ont en effet répondu plus rapidement en l'absence de carte. Par contre, les temps de réponses sur la première partie de questionnaire sont similaires pour le texte d'Histoire, que la carte soit présente ou non ; et les temps de réponses sont plus courts lorsque la carte était présente pour le texte de géographie. Il semble donc difficile de conclure sur cette hypothèse avec ces seules informations et, une fois de plus, le texte de géographie entraîne plus de variabilité de comportement, en temps comme en scores, que le texte d'Histoire.

Moyenne du temps de lecture du 1er texte, pour les normo-lecteurs (en secondes)		
	Avec carte	Sans carte
Texte d'Histoire	138,7	131,7
Texte de géographie	115,9	137

Tableau 7.18 Comparatif des temps de lecture du texte pour les normo-lecteurs, selon la disponibilité de la carte.

Concernant l'influence de la présence de la carte sur le temps de lecture d'un texte pour les normo-lecteurs, pour laquelle j'avais également émis une hypothèse, la construction du questionnaire ne permet pas de l'évaluer. En effet, les participants ont d'abord été exposés au texte seul sur une page, puis ont accédé à la carte sur la page suivante, il n'y a donc pas

d'influence directe de la carte sur le temps de lecture du texte. Au départ, il était prévu que les éléments soient présentés dans l'autre sens, l'ordre de présentation ayant également une influence sur la façon dont la carte est perçue par les participants, malheureusement je n'ai pas respecté ce précepte important lors de la mise en place du questionnaire en ligne.

Pourtant, d'après le Tableau 7.18, les temps moyens de lecture semblent affectés différemment suivant le texte en fonction des conditions expérimentales. Le temps de lecture est légèrement plus long avec la carte pour le texte d'Histoire et beaucoup plus court pour le texte de géographie. Cependant, ces différences ne semblent relever d'aucun facteur identifiable. En effet, il est difficile d'imaginer que les participants aient anticipé la lecture de la carte et les informations qu'ils allaient en tirer lors de la lecture du texte. Pour cela, il faudrait à la fois qu'ils aient parfaitement intégré les consignes et compris le déroulement des pages du questionnaire, alors même qu'ils n'ont pas d'expérience sur celui-ci (puisqu'il s'agit des temps de lecture du 1er texte), mais aussi qu'ils aient déjà une idée de ce que peut leur apporter une carte heuristique. Or, aucun participant normo-lecteur n'a déjà utilisé cet outil et il est même probable qu'ils ne connaissaient pas la signification de "carte heuristique".

7.3.4.3. Hypothèse 3

Selon mon hypothèse (3), la présence de la carte ne devait pas provoquer de différence significative sur les scores des normo-lecteurs. En réalité, comme je l'ai dit plus haut, pour trois des conditions les scores ont été plus élevés sans la carte et pour l'une d'elle (la condition 2) les scores ont été plus élevés avec la carte. Il est toutefois nécessaire d'effectuer un test statistique pour savoir si ces différences sont significatives. En utilisant toujours le test de Mann-Whitney, l'hypothèse selon laquelle les moyennes de scores sont différentes en fonction de la présence de la carte est rejetée (p -value = 0.8949 donc une probabilité de 89% que les différences de scores soit dues au hasard). L'hypothèse 3 est donc statistiquement validée.

7.3.4.4. Hypothèse 4

La dernière hypothèse, qui reste assez secondaire, était fondée sur l'affinité supposée des dyslexiques avec une représentation spatiale de l'information. Selon cette hypothèse (4), les dyslexiques auraient dû lire la carte plus rapidement que les normo-lecteurs, non pas de façon absolue, mais proportionnellement à leur temps de lecture du texte. De même leur temps de réponse aux questions aurait dû être proportionnellement moins affecté par la présence de la carte.

Pour répondre à la seconde partie de l'hypothèse que je viens d'exposer, il faut consulter les tableaux 7.8, 7.9, 7.10 et 7.11, qui sont récapitulés dans le Tableau 7.19. Tout d'abord, on observe un écart de 0,6% de moins dans le temps de réponse pour les normo-lecteurs sur le texte d'Histoire en 1ère position contre 1,3% de temps en moins pour les dyslexiques.

Lorsque le texte est en deuxième position, les normo-lecteurs affichent 27% de temps de réponse en plus contre 26,9% de temps en plus pour les dyslexiques. Les différences d'influence de la carte sur le temps de réponse aux questions sont donc insignifiantes pour le texte d'Histoire. Pour le texte de géographie en 1ère position, on observe un écart de 16,2% de temps en moins avec la carte pour les normo-lecteurs contre 12,5% de temps de réponse en moins pour les dyslexiques lorsque la carte est disponible. Enfin, pour le texte de géographie en 2ème position, les normo-lecteurs affichent 16% de temps de réponse en plus contre 2,6% en moins pour les dyslexiques. Ainsi, le résultat attendu d'un gain de temps pour les dyslexiques, par rapport au normo-lecteur n'est constaté que pour le texte de géographie en 2ème position. C'est aussi le seul cas pour lequel la tendance est inversée puisque les normo-lecteurs ont un temps de réponse plus long alors que les dyslexiques ont un temps de réponse plus court. Cependant, dans les deux groupes, les participants ont obtenus une moyenne de score inférieur lorsque la carte était disponible, donc ce meilleur temps de réponse des dyslexiques ne peut pas être associé à une meilleure compréhension de la carte ou, en tout cas, pas à une meilleure assimilation des informations contenues par celle-ci.

Temps de réponse (en sec)	Avec la carte				Sans la carte			
	H en 1	H en 2	G en 1	G en 2	H en 1	H en 2	G en 1	G en 2
Normo-lecteurs	248,0	226,7	264,6	257,9	249,4	178,5	315,6	222,3
Dyslexiques	243,0	177,3	222,5	196,1	246,2	139,5	254,3	201,4

Tableau 7.19 Tableau récapitulatif des temps moyens de réponse aux questionnaires suivant les différentes conditions expérimentales.

En ce qui concerne la première partie de l'hypothèse, il est nécessaire de comparer les temps moyens consacrés à la lecture de la carte, présentés dans le Tableau 7.20, avec ceux consacrés à la lecture du texte (Tableau 7.7.). Comme pour le temps de lecture du texte, il est préférable de se concentrer sur le temps de lecture de la carte lorsque celle-ci était en première partie de questionnaire, afin de ne pas subir le biais des résultats des participants qui sont passés directement à la réponse aux questions.

Moyenne du temps de lecture de la carte (en secondes)		
1ère position	Histoire	Géographie
Normo-lecteurs	34,4	36,4
Dyslexiques	47	59

Tableau 7.20 Temps moyen consacré à la lecture de la carte lorsque celle-ci était présentée en première partie de questionnaire.

Les temps de lecture de la carte par les normo-lecteurs correspondent respectivement à 25,3% et 28,8% du temps de lecture des textes d'Histoire et de géographie. Pour les

dyslexiques, les temps de lecture respectifs de la carte correspondent à 23,6% et 34,8% des temps de lecture des textes. Même si le pourcentage est un peu plus faible pour le texte d'Histoire, il est beaucoup plus élevé pour le texte de géographie, cette hypothèse d'une proportion de temps de lecture de la carte plus faible pour les dyslexiques n'est donc, elle non plus, pas validée par les chiffres. Cependant, il faut noter une fois de plus que, puisque seulement trois participants dyslexiques avaient déjà utilisés des cartes heuristiques auparavant, tout bénéfice ressenti par l'usage de ce mode de présentation est probablement minime par rapport à la difficulté éprouvée à manipuler un nouveau type d'objets. De plus, les phénomènes de désorientation et de surcharge cognitive, que j'ai présentés dans le Chapitre 3, peuvent avoir joué un rôle différent selon les groupes de participants.

Il est également intéressant de constater que, contrairement à ce qui pouvait être attendu, les participants n'ont pas passé plus rapidement la page présentant la carte lorsqu'elle était en deuxième position du questionnaire. Le Tableau 7.21 présente les moyennes de temps de lecture des cartes pour les différents groupes lorsque celles-ci étaient en seconde partie. Pour expliquer que ces temps ne sont pas beaucoup plus faibles que lorsque la carte était en première partie de questionnaire, on peut dire que puisque ces participants n'avaient pas eu accès à la carte précédemment, ils ont pris le temps de la lire attentivement comme ils ont pu le faire avec un texte situé en première partie. Cependant, aucune logique d'ensemble ne se dégage des différentes moyennes lorsqu'on compare les tableaux 7.19 et 7.20. Il est simplement possible de constater que les normo-lecteurs ont consulté la carte plus longtemps lorsqu'elle se trouvait en deuxième partie de questionnaire, alors que les dyslexiques l'ont consulté plus longtemps lorsqu'elle se trouvait en première partie.

Moyenne du temps de lecture de la carte (en secondes)		
2ème position	Histoire	Géographie
Normo-lecteurs	49,2	79,9
Dyslexiques	36,2	56,7

Tableau 7.21 Temps moyen consacré à la lecture de la carte lorsque celle-ci était présentée en seconde partie de questionnaire.

Pour conclure sur les hypothèses formulées au départ et les observations faites par l'analyse quantitative de mon expérimentation, la présence de la carte semble avoir peu d'impact sur les performances, autant en termes de temps qu'en termes de scores, pour le texte d'Histoire. Tandis que, la position du texte dans le questionnaire semble jouer un rôle majeur. Pour le texte de géographie, le rôle tenu par la carte reste à préciser par des analyses qualitatives, mais sa présence semble avoir une plus grande influence.

7.3.5. Analyses statistiques avancées

A la suite de ces premières constatations, j'ai utilisé le logiciel *DTM Vic* (Lebart, 2016) pour effectuer un ensemble d'analyses statistiques plus avancées, notamment pour bénéficier de l'outil d'Analyse en Composantes Principales et de la projection de ses résultats sur un graphe, qui permet de visualiser la proximité ou l'écart statistique entre plusieurs classes, déterminés en fonction de caractéristiques données. J'expliquerai le fonctionnement général de cette méthode dans le point 7.3.5.2.

7.3.5.1. Logiciel DTM Vic

DTM Vic est un logiciel d'analyse exploratoire multidimensionnelle de données numériques et textuelles. Ce logiciel est libre, gratuit et en langue anglaise. Un manuel complet en français est disponible, avec des exemples des différents traitements possibles appliqués à divers types de données. La mention "exploratoire" signifie qu'il est adapté pour analyser des données complexes sur lesquelles les connaissances *a priori* sont réduites. L'aspect "multidimensionnel" implique des variables nombreuses et une application des hypothèses statistiques classiques délicate. Dans le cas de mes données, c'est une approche intéressante puisque le grand nombre de variables qui semblent corrélées rend toute conclusion difficile. Les méthodes mises en œuvre par *DTM Vic* sont notamment : l'analyse en composantes principales, l'analyse des correspondances simples et multiples, la classification hiérarchique, les méthodes de partitionnement et les cartes auto-organisées. Ces méthodes permettent de traiter des données diverses et complexes tels que celles réunies dans des enquêtes mêlant questions fermées et ouvertes.

Afin d'utiliser toutes les fonctionnalités de *DTM Vic*, il est nécessaire de fournir un tableau de données en entrée du logiciel, au format csv, en respectant certaines contraintes. J'ai modifié les fichiers de sortie des résultats de mon expérimentation, précédemment obtenus à partir de la plate-forme en ligne *Limesurvey*, pour les adapter au format requis. Parmi les analyses statistiques disponibles dans l'interface de *DTM Vic*, on retrouve le calcul des moyennes de toutes les colonnes, le nombre de valeurs possibles pour les colonnes lorsqu'elles correspondent à un choix parmi une liste de propositions et beaucoup d'autres statistiques basiques utiles pour interpréter les données. Il est ensuite possible d'obtenir des tableaux croisés de données, dans lesquels sont comparées deux séries de données (par exemple type de public et niveau scolaire) en fonction de la valeur d'une variable catégorielle choisie (par exemple score obtenu sur les questions de géographie). Cet outil a été très utile pour obtenir les tableaux qui m'ont servi dans les analyses qualitatives que je présenterai par la suite.

7.3.5.2. Analyse en composantes principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique intéressante pour analyser mes données car elle permet de décrire des classes d'individus suivant certaines

variables (appelées variables supplémentaires) en fonctions des valeurs d'autres variables (appelées variables qualitatives). Cette description se fait plus précisément par une projection sur deux axes des individus ou des classes d'individus, leur position relative les uns par rapport aux autres indiquant la similitude ou non de leur comportement. Ainsi, plus les individus, ou classes, partagent de réponses similaires parmi les variables actives, plus leur position sur le plan sera proche. Les variables supplémentaires doivent être des variables catégorielles, tel que l'appartenance à un groupe défini ou la caractérisation *via* une propriété particulière, parmi une liste finie de propriétés. Pour l'exemple générique, une étude sur les déplacements d'un ensemble d'animaux habitant dans un parc, pourrait faire figurer dans les variables supplémentaires leur région d'origine, leur race, leur âge, etc... Les variables actives, quant à elles, pourraient être la distance qu'ils parcourent par jour, le temps qu'ils passent à se déplacer et la valeur de dénivelé de leurs trajets.

Grâce à la projection sur un graphe, la méthode ACP permet de visualiser de manière efficace la proximité et l'éloignement statistique entre des individus ou des classes. Elle permet à la fois d'explorer les données sans hypothèse *a priori* afin de découvrir des comportements remarquables, mais également de vérifier si un écart entre des individus, ou des classes, est significatif.

Dans le cas de mon expérimentation, les variables supplémentaires seront les caractéristiques sociodémographiques des individus, qui peuvent être regroupées selon différentes classes : des classes d'âge, de niveau scolaire, de type de public (dyslexiques et normo-lecteurs), de sexe ou encore de condition expérimentale suivie (1, 2, 3 ou 4). Les variables dites qualitatives (ou actives) seront leurs performances : scores aux différentes questions, temps passé sur les différents pages du questionnaire, ou encore scores et temps totaux. Il est possible avec DTM Vic d'appliquer l'ACP sur l'ensemble de mes données et d'obtenir un graphe contenant toutes les classes définies, le nom de chaque classe apparaissant alors à l'emplacement de son centre de gravité. Celui-ci est calculé à partir de la position de l'ensemble des individus appartenant à la classe donnée.

Pour une meilleure lisibilité, j'ai partagé la projection suivant l'ACP de l'ensemble des classes possibles sur deux graphes. La Figure 7.14 présente les classes d'âge, de niveau scolaire et de type de public. Chaque code sur la figure est écrit de façon centré sur le point de gravité de la classe correspondante. Les classes de publics sont codées « Public_canl_2 » pour les normo-lecteurs et « Public_cdys_1 » pour les dyslexiques. Les classes de niveaux scolaires sont codées « Niveau_cat 3_1 » pour les élèves en troisième, et respectivement jusqu'à « Niveau_cat6_4 » pour les 6^{ème}. Enfin, les classes d'âge sont codées « Age_cat 11_1 » pour les participants de 11 ans et respectivement jusqu'à « Age_cat16 » pour les participants de 16 ans. Il n'est pas possible de lire la classe des 13 ans sur le graphe, car la classe des 14 ans lui est superposée.

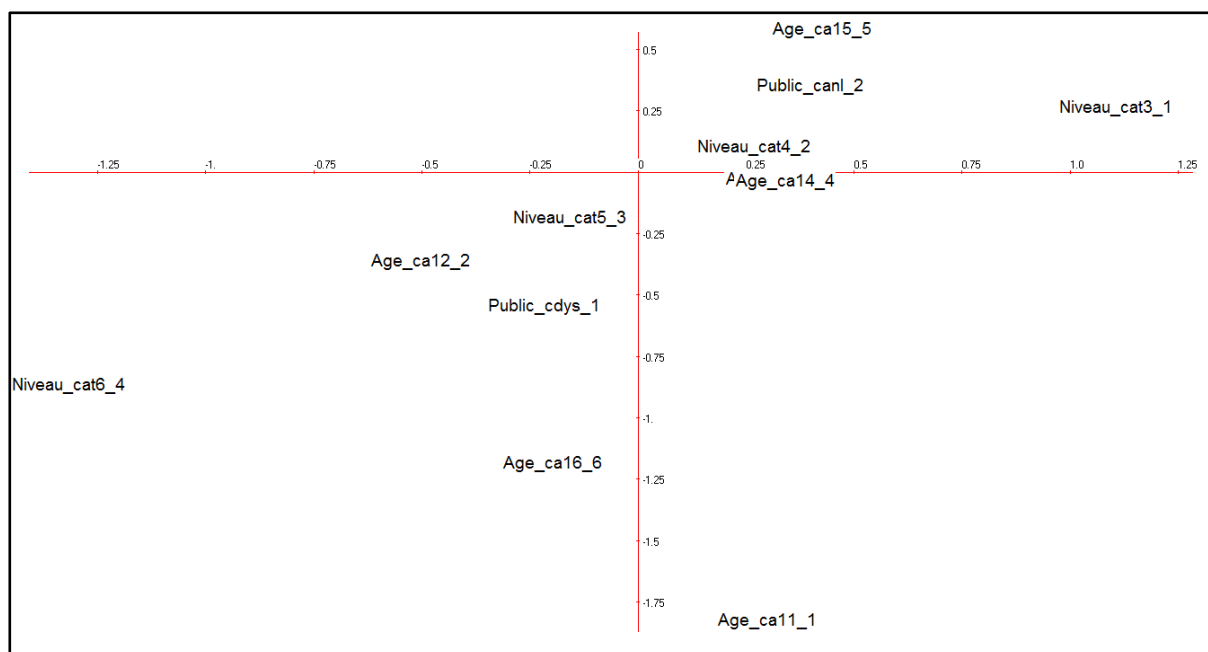


Figure 7.14 Projection sur un plan des classes d'âge, de niveau et de type de public avec l'ACP.

Ce que permet d'observer cette projection suivant l'ACP c'est la similitude ou non des classes représentées en termes de résultats sur les variables actives. Les variables actives que j'ai choisies ici sont : le score total, le score d'Histoire, le score de géographie, le temps de complétion total, le temps de lecture du texte d'Histoire et le temps de lecture du texte de géographie. Ainsi, on peut en conclure que :

- Les deux types de publics se comportent différemment dans leurs performances moyennes, comme attendu, puisqu'ils se retrouvent opposés par rapport à l'origine des axes.
- Les niveaux scolaires sont également une caractéristique déterminante du comportement des individus, puisqu'ils sont disposés de façon croissante, de la 6^{ème}, en bas à gauche, jusqu'à la 3^{ème}, en haut à droite du graphe. De plus, ils sont tous relativement espacés dans le plan.
- Les catégories d'âge se comportent de façon relativement aléatoire, avec les élèves de 11ans en bas à droite, les élèves de 16 ans en bas, ceux de 12 ans, légèrement en bas et sur la gauche, les classes de 13 et 14 ans superposées et enfin la classe des 15 ans, en haut à gauche. La seule conclusion que l'on peut tirer de ces classes d'âge c'est que la position des élèves de 15 ans correspond à la classe d'âge la plus performante, connaissant la position des autres classes les plus performantes sur le graphe (les normo-lecteurs et les élèves de 3^{ème}).

Il est intéressant de constater que cette représentation de l'ACP s'accorde parfaitement avec tous les résultats présentés auparavant.

La Figure 7.15 présente les classes restantes : classe de sexe et classe de situation expérimentale, avec également la présence des classes de type de public, pour rappel.

Puisque le calcul de la position des classes sur le graphe est exactement le même, j'ai choisi de faire apparaître à nouveau les classes de type public afin que les deux projections soient plus faciles à mettre en relation. On constate, puisque les codes « Public_canl_2 » et « Public_cdys_1 » sont situés aux extrémités du graphe que toutes les catégories de sexe et de situation se seraient retrouvées tassées au centre du graphe dans la projection précédente. Cela aurait d'une part rendu la figure illisible, mais permet d'autre part de se rendre compte que les écarts entre ces classes sont en réalité beaucoup moins significatifs. C'est surtout le cas pour les classes de sexe, codées « Sexe_Femi_1 » et « Sexe_Masc_2 », qui sont toutes deux très proches de l'origine des axes, ce qui montrent une quasi-nullité de l'écart entre les centres de gravité des classes de sexe et le centre de gravité général de tous les individus. On peut alors en conclure que cette séparation par classe de sexe n'est pas pertinente dans mon expérimentation.

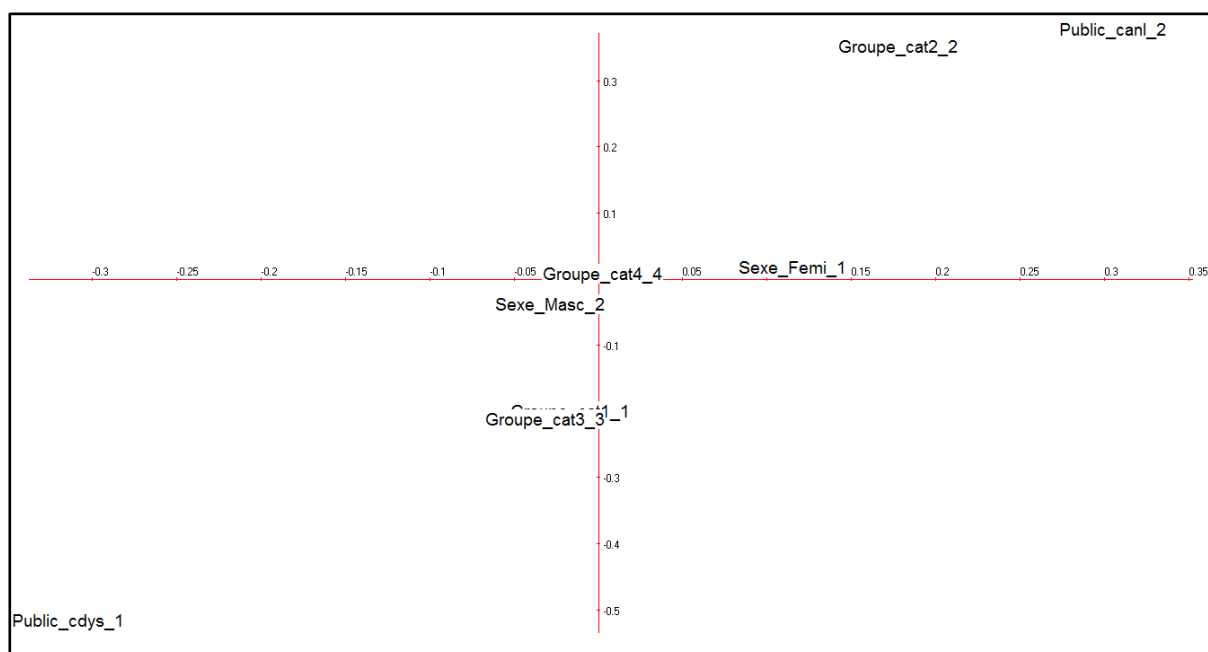


Figure 7.15 Projection sur un plan des classes de sexe, de situation expérimentale et de type de public avec l'ACP.

Les classes de situation expérimentale sont elles aussi très proches de l'origine des axes, particulièrement la classe de la situation 4 dont le centre semble confondu avec l'origine. Les centres de gravité des classes de situation 1 et 3 sont pratiquement confondus (notons qu'il s'agit des deux conditions expérimentales pour lesquelles la carte était disponible avec le texte d'Histoire) et elles sont également relativement proches de l'origine. Enfin, la seule classe de situation dont la position est assez marquée est celle de la situation 2. En effet, elle se trouve relativement proche des résultats moyens de normo-lecteurs, alors qu'elle contient pourtant des dyslexiques. Je reviendrai sur l'éventuelle particularité de cette situation expérimentale plus bas, dans la partie d'analyses qualitatives.

7.3.5.3. Validation par *Bootstrap*

Les graphes obtenus grâce à l'ACP sont utiles pour comparer les classes souhaitées en fonction des variables choisies, cependant les écarts observés n'étant pas quantifiables suivant une unité concrète, il est nécessaire d'avoir un outil supplémentaire pour mieux apprécier la significativité de ces écarts. DTM Vic propose d'utiliser la méthode de validation par *Bootstrap* (Lebart, 2007). Le *Bootstrap* est une méthode d'inférence statistique qui vise à déterminer la sensibilité d'un échantillon de données en s'appuyant sur des sous-ensembles de cet échantillon. Le *Bootstrap* permet donc, par exemple, de mesurer la précision d'une moyenne calculée à partir des données d'un échantillon en simulant d'autres moyennes possibles grâce à un tirage avec remise au sein de l'échantillon. Cette méthode n'utilise donc que les données propres à l'échantillon en puisant de façon itérative dans celui-ci. Chaque tirage de n individus au sein de la classe, avec n l'effectif de la classe concernée, permet donc de simuler une autre moyenne possible pour la classe. En répétant plusieurs fois cette opération, on obtient un ensemble de valeurs possibles pour la moyenne, la dispersion de ces valeurs permettant d'évaluer la consistance de la classe en question. En appliquant la méthode de validation par *Bootstrap* sur l'ACP avec DTM Vic, il est possible de visualiser un intervalle de confiance, sous la forme d'une ellipse entourant le centre de gravité de chaque classe. Cet intervalle de confiance est calculé sur la base des coordonnées des centres de gravité de chacune des simulations par tirage.

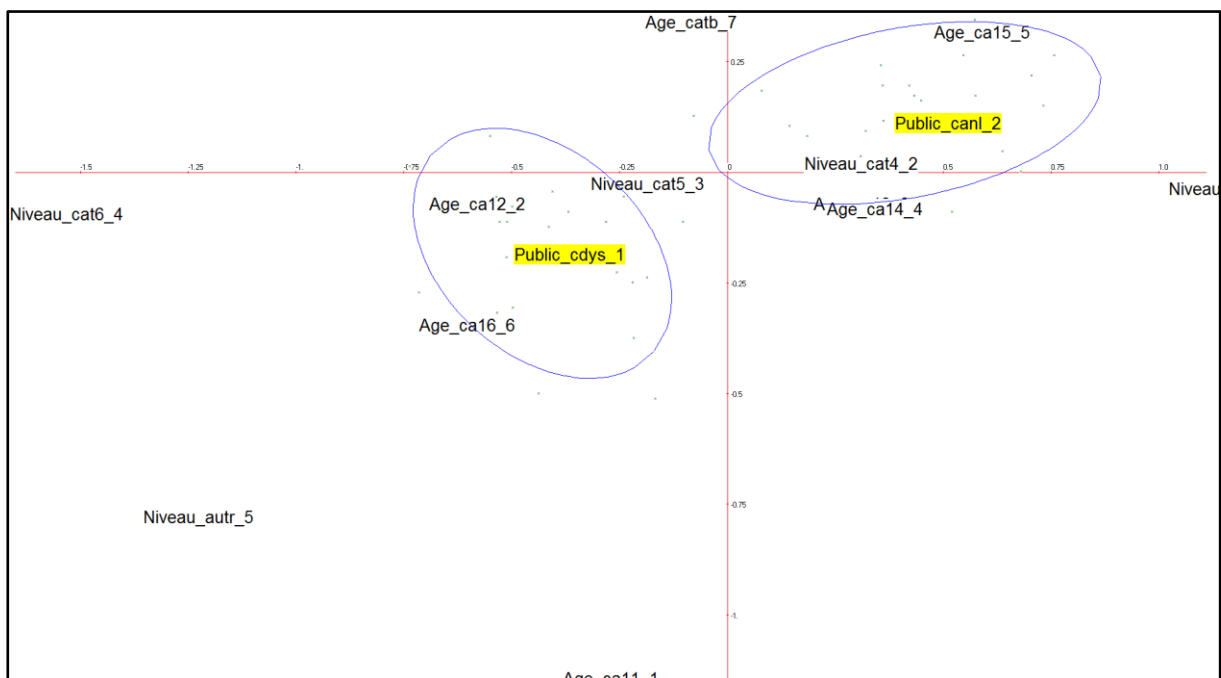


Figure 7.16 Projection de l'ACP avec validation par *Bootstrap* pour les classes de type de public.

La taille de l'ellipse, entourant le centre de gravité d'une classe et ses simulations, peut donc être interprétée comme le niveau de confiance statistique que l'on peut accorder à la position de ce centre sur le graphe. Ce niveau de confiance permet ainsi de faire des

hypothèses sur le comportement de la classe, des individus qui la composent et des résultats d'individus supplémentaires qui viendraient s'ajouter à la classe. Plus l'ellipse autour d'une classe est étendue, moins il est possible d'inférer sur les résultats d'un nouvel individu passant l'expérimentation, en sachant qu'il fait partie de cette classe. De façon respectueuse, plus l'ellipse est étroite, plus la position sur le graphe, et donc le niveau de performance, d'un nouvel individu faisant partie de la classe peut être estimé sûrement.

La Figure 7.16 permet de visualiser le résultat de la méthode de *Bootstrap* appliquée sur les types de public à partir des mêmes données que la Figure 7.14. On constate que les intervalles de confiance pour le public dyslexique et pour le public normo-lecteur sont clairement distincts. De plus, ceux-ci sont relativement étroits, vis à vis de la dispersion des autres classes présentes sur le graphe (niveaux et âges). Enfin, les deux intervalles se trouvent de part et d'autre de l'origine du graphe. On peut donc conclure à une véritable différence significative entre les deux classes dans leurs comportements par rapport aux variables actives utilisées pour cette projection avec l'ACP. Les variables sont ici : le temps de passation du questionnaire, les scores aux questions d'Histoire, aux questions de géographie et les scores totaux. Ainsi, selon ces paramètres les deux publics sont significativement différents et le public de normo-lecteur est plus performant.

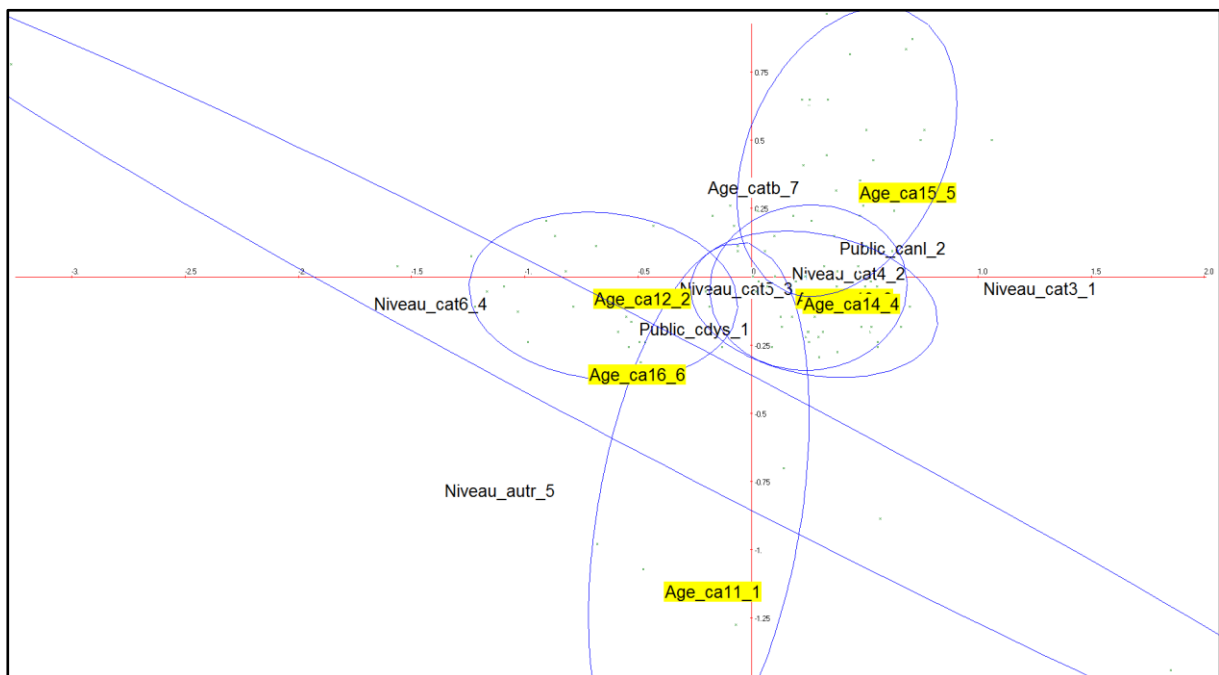


Figure 7.17 Projection de l'ACP avec validation par Bootstrap pour les classes d'âge.

De même, la Figure 7.17 permet de visualiser le résultat de la méthode de validation pour les classes d'âge. Au contraire de la figure précédente, les ellipses représentant les intervalles de confiance sont enchâssés, certaines sont même presque confondues, comme celles des participants de 13 et de 14 ans. De plus, certaines ellipses sont très étendues ce qui montre que les membres de la classes ont eu des résultats très hétérogènes. Cette figure confirme

les résultats discutés précédemment selon lesquels l'âge des participants n'est pas un bon indice pour estimer la performance de ceux-ci, surtout par rapport au type de public ou au niveau scolaire.

Les intervalles de confiance concernant le niveau scolaire sont justement visibles sur la Figure 7.18. On constate que les classes de niveaux sont dans l'ensemble significativement différentes et qu'il y a une progression cohérente entre les niveaux scolaires et les performances des participants. Cependant, on constate que l'écart est plus faible entre les classes de 5ème et de 4ème, tandis que les classes de 6ème, à gauche de la figure, et de 3ème, à droite, se détachent plus fortement. La plus grande dispersion des valeurs générée par le *Bootstrap* sur la classe de 6ème n'est pas étonnante sachant que la classe de 6ème est entièrement constituée de dyslexiques et ceci explique aussi l'écart important avec la classe de 5ème dont les membres sont mixtes (entre dyslexiques et normo-lecteurs).

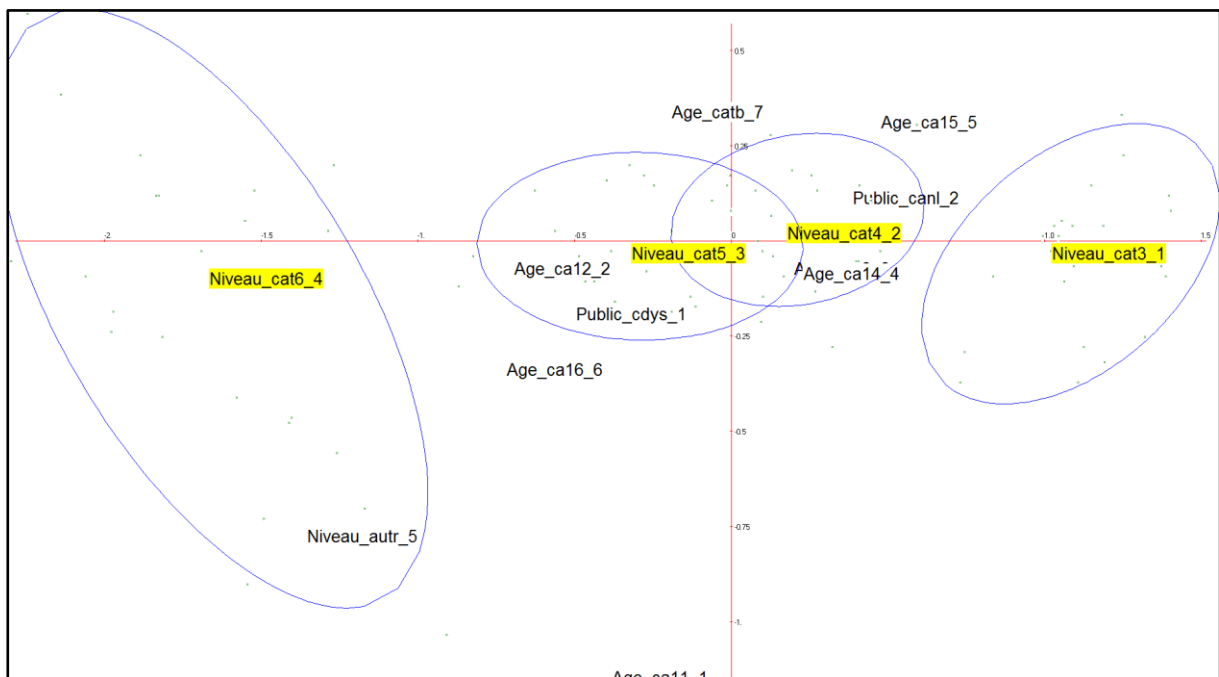


Figure 7.18 Projection de l'ACP avec validation par Bootstrap pour les classes de niveaux.

Ces trois graphes viennent donc confirmer les hypothèses précédentes, tout en apportant une validation statistique concernant la significativité des écarts entre les classes.

7.3.5.4. Taux de succès à une question

Grâce à DTM Vic j'ai également pu obtenir le pourcentage de succès des participants pour chacune des questions (voir Tableau 7.22 et Tableau 7.23).

Il est ainsi possible d'estimer la difficulté à répondre correctement à une question. En observant les taux de bonnes réponses, on constate que la question la plus difficile est la question d'Histoire n°5 pour laquelle il y a seulement 36,44% de réponses correctes et la

plus facile est la question d'Histoire n°1 pour laquelle 86,44% des participants ont bien répondu.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Taux de réponses correctes	86,4	58,5	58,5	55,9	36,4	44,9

Tableau 7.22 Pourcentages de bonnes réponses données par les participants aux questions sur le texte d'Histoire.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Taux de réponses correctes	50,8	66,9	62,7	66,1	62,7	53,4

Tableau 7.23 Pourcentages de bonnes réponses données par les participants aux questions sur le texte de géographie.

A partir de ce constat, j'ai à nouveau appliqué l'outil d'Analyse en Composantes Principales fourni par DTM Vic afin de déterminer le degré de corrélation entre une bonne réponse à la question la plus difficile et une performance globale élevée. Réciproquement, je souhaitais évaluer le lien entre une mauvaise réponse à la question la plus facile et la performance globale des participants, en temps et en score. J'ai donc défini quatre classes : la classe des individus ayant répondu correctement à la question H5 et les trois classes d'individu ayant choisi respectivement l'une des trois mauvaises réponses possibles pour la question H1. Pour appliquer l'ACP à ces classes, j'ai choisi comme variables actives les scores totaux et les temps de complétions du questionnaire, afin de réellement cibler la performance globale des participants et la corrélation entre une seule réponse et celle-ci. La Figure 7.19 présente le résultat de cette analyse avec une validation pour *Bootstrap*. J'ai également fait figurer sur le graphe les classes génériques représentant les types de public, normo-lecteurs et dyslexiques. Ainsi, comme précédemment, plus une classe se situe en haut à droite du graphe, plus elle contient des individus ayant obtenu de bons scores et ayant répondu rapidement au questionnaire.

On observe que la classe des individus qui ont répondu correctement à la question H5, codé « H5_le_t_3 » obtient des scores significativement plus élevés, et des temps de complétion du questionnaire significativement plus rapides, que la moyenne, puisque son centre de gravité est situé plus loin de l'origine que les normo-lecteurs, dans la même direction. De plus, l'ellipse calculée par la méthode de *Bootstrap* est relativement étroite, ce qui montre que les performances de cette classe d'individus sont homogènes. La petite taille de l'ellipse est d'autant plus significative que la classe contient pourtant peu d'individus, puisqu'il s'agit d'à peine plus d'un tiers des participants (36% d'après le Tableau 7.22). Ces différents éléments permettent de conclure qu'un nouvel individu qui participerait au questionnaire, et qui répondrait correctement à la question H5, serait un individu globalement performant.

Au contraire, les individus qui ont choisi l'une des mauvaises réponses à la question H1 forment des classes éparées et inconstantes. Leurs résultats sont plutôt mauvais globalement en termes de score et de temps de complétion et il y a de grandes différences entre les performances de plusieurs individus différents au sein d'une même classe. Cependant, la grande taille des ellipses est au moins autant due au faible effectif de ces classes qu'à l'inconsistance de leurs résultats. Ainsi, d'après la seule Figure 7.19, il est impossible de faire quelques hypothèses que ce soit sur les performances d'un nouveau participant au questionnaire, en sachant seulement qu'il aurait mal répondu à la question H1.

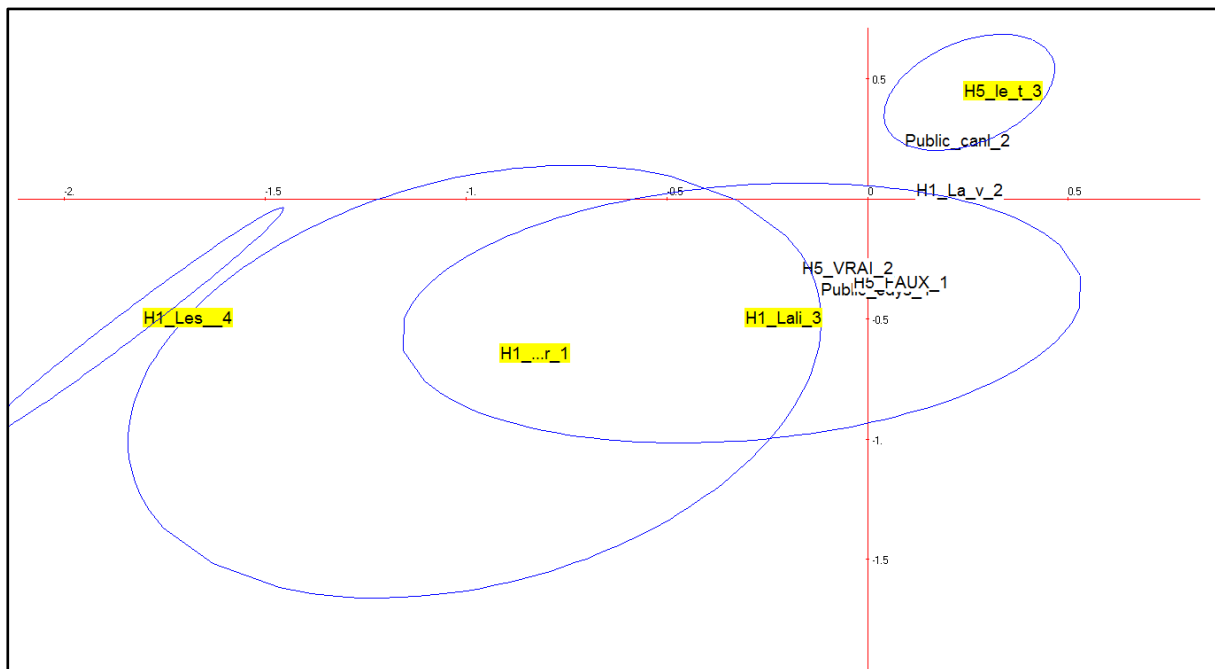


Figure 7.19 Projection des classes de participants ayant répondu correctement à la question H5 et ayant choisi une mauvaise réponse à la question H1, avec la méthode ACP et validation par *Bootstrap*.

7.3.6. Analyses qualitatives

Il convient de revenir dans ce point sur des hypothèses formulées lors de l'analyse globale des données. Tout d'abord, il serait intéressant de montrer les différences entre la carte d'Histoire et celle de géographie qui justifie le fait que, respectivement, l'une ait peu ou pas d'impact sur les temps et scores, alors que l'autre semble avoir une influence, bien qu'irrégulière. Ensuite, je souhaite revenir sur la question de la difficulté des différentes questions, puis rapidement, sur l'impact de la stratégie de lecture choisie sur les scores, et enfin sur la performance des individus en fonction de la situation expérimentale qui leur a été attribué.

7.3.6.1. Questions et contenu des cartes

L'hypothèse que j'ai formulée plus haut concernant la carte de géographie et son influence sur les scores et temps des participants repose sur la possibilité de répondre à certaines questions en consultant seulement la carte. Pour chaque texte, j'ai identifié les questions auxquelles il est possible de répondre en respectant cette règle.

Dans le questionnaire du texte d'Histoire :

- la réponse à la question 2 est présente mais elle n'est pas explicite ;
- la réponse à la question 3 est explicitée par une flèche entre deux éléments de la carte ;
- la carte donne peu d'éléments pour répondre aux autres questions.

Concernant le questionnaire du texte de géographie :

- la réponse à la question 1 n'est pas présente mais celle-ci peut être déduite de l'ensemble des informations présentes sur la carte, contrairement à la question 1 du questionnaire d'Histoire ;
- la réponse à la question 2 est présente mais elle n'est pas explicite ;
- la réponse à la question 3 est directement visible sur la carte ;
- la réponse à la question 4 n'est pas écrite telle quelle mais peut être déduite de la lecture de la carte ;
- les réponses aux questions 5 et 6 ne sont pas contenues dans la carte, cependant, la moitié de la réponse à la question 6 est tout de même déductible à l'observation de celle-ci.

L'analyse du contenu des cartes et la mise en relation avec les questionnaires des deux textes permettent de constater une nette différence. La carte d'Histoire, bien que contenant un nombre comparable d'éléments significatifs pour la compréhension globale du texte, affiche moins d'indices directs pour répondre aux questions de l'expérimentation. Ce constat renforce l'hypothèse selon laquelle les participants auraient répondu au questionnaire en s'appuyant majoritairement sur la carte lorsque celle-ci était disponible et en consultant le texte seulement en deuxième recours. Même si d'autres paramètres ont pu avoir une influence sur les performances des participants, il semblerait que la présence ou non d'une information dans la carte soit un facteur important pour expliquer les variations de scores entre les différentes situations expérimentales.

Pour confirmer cette hypothèse, il convient de s'intéresser aux scores obtenus pour les questions dont la réponse peut être retrouvée d'après la lecture de la carte. Selon le Tableau 7.24 et le Tableau 7.25, les questions pour lesquelles la carte ne contient pas d'informations (H1, H4, H5 et H6) ont effectivement été mieux traitées par les participants lorsque ceux-ci n'avaient pas accès à la carte.

Dyslexiques	H1	H2	H3	H4	H5	H6	Taux Moyen
Carte	67%	54%	62%	46%	23%	18%	45%
Sans carte	93%	53%	47%	72%	43%	43%	59%

Tableau 7.24 Taux de bonnes réponses aux questions d'Histoire pour les dyslexiques.

Normo-lecteurs	H1	H2	H3	H4	H5	H6	Taux Moyen
Carte	92%	62%	63%	51%	35%	49%	58%
Sans carte	100%	64%	63%	56%	40%	64%	65%

Tableau 7.25 Taux de bonnes réponses aux questions d'Histoire pour les normo-lecteurs.

On peut supposer qu'ils n'ont pas été influencés par la vue d'un élément contradictoire sur la carte et qu'ils ont cherché directement la réponse dans le texte.

Les questions H2 et H3 affichent un taux de bonnes réponses supérieur ou égal lorsque la carte était disponible, ce qui confirme aussi les suppositions faites auparavant à partir de l'analyse du contenu des cartes. Pour la question H3, dont la réponse se trouve le plus directement sur la carte, le phénomène d'amélioration de la performance est surtout notable parmi le public de dyslexiques. Les dyslexiques n'ayant pas réussi à répondre correctement à cette question ont tous obtenu un score compris entre 0 et 2 aux questions d'Histoire, pour une moyenne générale de 3,1 sur l'ensemble du groupe de dyslexiques. Il est donc possible que cela découle d'une vraie difficulté de compréhension et d'utilisation de la carte chez ces participants. D'autant plus que leurs scores aux questions de géographie, pour lesquelles ils n'avaient donc pas accès à la carte, sont dans la moyenne du reste du groupe.

Dyslexiques	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Taux Moyen
Carte	54%	41%	52%	63%	44%	43%	50%
Sans carte	48%	57%	58%	58%	51%	70%	57%

Tableau 7.26 Taux de bonnes réponses aux questions de géographie pour les dyslexiques.

Normo-lecteurs	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Taux Moyen
Carte	47%	91%	72%	76%	73%	49%	68%
Sans carte	54%	70%	67%	70%	76%	51%	65%

Tableau 7.27 Taux de bonnes réponses aux questions de géographie pour les normo-lecteurs.

Le Tableau 7.27 permet de confirmer les hypothèses précédentes, puisque les questions G2, G3 et G4 pour lesquelles des indices sont présents dans la carte, affichent un taux de bonnes

réponses supérieur lorsque la carte était disponible. Au contraire, le Tableau 7.26 est le seul à contredire ces hypothèses. En effet, les taux de bonnes réponses pour les questions G2 et G3 sont inférieurs lorsque la carte était disponible. Une analyse plus poussée de ces questions et de leurs difficultés permet de faire ressortir quelques explications.

Pour la question G2, la réponse "l'indice de fécondité" est contenue dans la carte, mais sa définition n'est pas explicitée : il est nécessaire de consulter le texte pour la confirmer. Or, cette définition ne se trouve pas dans le texte lui-même, mais dans les notes de celui-ci, plus exactement dans la section de vocabulaire située en bas de page. Il est possible que la navigation de la carte au texte, puis du texte aux notes de bas de page, ait augmenté le phénomène de désorientation éprouvé par certains participants et que cette difficulté ne soit pas compensée par la présence de l'énoncé de la réponse dans la carte.

La question G3 amène d'autres types de difficultés. Alors que c'est la question dont la réponse est la plus explicitement présente dans la carte, elle contient en réalité plusieurs pièges. Tout d'abord, cette question présente une suite de nombres, écrits parfois en chiffres, parfois en lettres, et c'est une difficulté supplémentaire pour le public dyslexique qui peut inclure de nombreux dyscalculiques, comme je l'ai expliqué dans le Chapitre 1. Ensuite, chaque proposition de réponse contient plusieurs éléments, parmi lesquels certains sont justes et d'autres faux. Par exemple la réponse : "4 milliards au début du XXème siècle, 2,5 milliards en 1950, 7 milliards en 2010", contient deux propositions vraies, pour une seule fautive (la première). Ceci rend la question particulièrement délicate à traiter sans une grande concentration et une mémoire de travail disponible. Or, la faculté de concentration et l'utilisation de la mémoire de travail sont également des difficultés permanentes pour les dyslexiques. Enfin, la question contient ce qui peut être qualifié d'erreur de rédaction dans le texte original où il est fait référence au "début du siècle" pour parler du "début du XXème siècle"; un élément de confusion supplémentaire qui n'est pas négligeable pour un public n'ayant pas (ou peu) vécu au XXème siècle.

7.3.6.2. Difficulté et temps de réponse

Pour compléter cette analyse, on peut estimer la difficulté éprouvée par les dyslexiques pour répondre à la question G3 grâce aux données récoltées sur le temps passé à répondre. D'après le Tableau 7.28, la question G3 semble effectivement demander un temps de recherche beaucoup plus important que la moyenne.

Dyslexiques	Temps G3	Temps moyen
Avec carte	43,9	35,0
Sans carte	42,5	35,1

Tableau 7.28 Temps de réponse des dyslexiques pour la question G3 en comparaison du temps moyen de réponse aux questions.

Afin de savoir comment se place ce temps de recherche de la réponse vis à vis de celui des autres questions, j'ai également établi le Tableau 7.29, contenant les temps moyens maximum et minimum accordé à une question sur l'ensemble du questionnaire.

Temps G3	Temps max (H3)	Temps min (H5)
48,5	49,7	27,8

Tableau 7.29 Temps de réponse moyen pour la question G3 et temps de réponse moyen maximum et minimum.

Le temps de réponse moyen de G3 est supérieur à ceux du tableau précédent car il inclut également les temps de réponse des normo-lecteurs, qui ont été plus lents sur cette question. De plus, le temps de réponse moyen de G3 arrivait en deuxième position des temps de réponse les plus longs, après la question H3, ce qui tend à confirmer la surcharge de mémoire de travail qui peut subvenir face aux pièges de la question que j'ai détaillés plus haut.

Il apparaît que la question H5, celle dont le taux de réponses correctes est le plus faible, est aussi celle qui a été traitée le plus rapidement. Une simple lecture de l'énoncé de la question et des propositions de réponses permet de comprendre pourquoi. L'énoncé est le suivant :

Les paysans sont sous le contrôle du seigneur, lui-même sous le contrôle du roi.

Et les propositions sont "vrai", "faux" ou "le texte ne permet pas de répondre". Or pour cette question la plupart des élèves ont probablement fait appel à leurs connaissances de culture générale pour conclure que la réponse était "vrai" tandis que le texte ne donne en réalité aucune information sur le roi ou son rôle dans l'organisation de la société à l'époque de la chevalerie. Ainsi, si l'on suit les consignes qui demandent de ne se rapporter qu'au texte, le bon choix de réponse est "le texte ne permet pas de répondre". La Figure 7.20 présente la répartition des réponses de l'ensemble des participants pour cette question sous forme d'histogramme. Celui-ci vient confirmer l'hypothèse que j'ai formulée, un nombre plus important de participants ayant répondu "vrai" plutôt que "le texte ne permet pas de répondre". De plus, au vu de la différence entre le nombre d'élèves ayant répondu "vrai" et ceux ayant répondu "faux", on peut estimer que la réponse "vrai" est porteuse d'une signification réelle et qu'elle n'est pas simplement une mauvaise réponse.

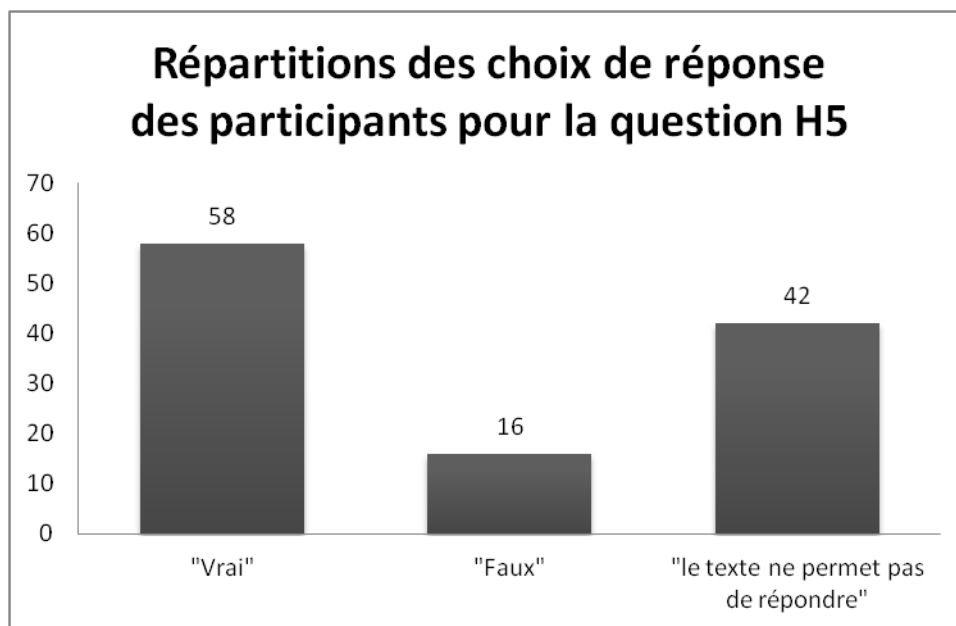


Figure 7.20 Histogramme représentant les effectifs d'élèves pour chaque choix de réponse à la question H5.

Une question similaire était posée dans le questionnaire pour le texte de géographie, il s'agit de la question G5 qui concerne la population de la Chine, alors qu'il n'en ait pas fait mention dans le texte. Cependant, cette question n'a pas eu le même impact négatif en termes de score. La différence pourrait provenir du fait que les connaissances des élèves sur la population chinoise sont plus réduites et qu'ils ont probablement préféré consulter le texte avant de répondre. Pour vérifier cette différence de comportement supposée, il est intéressant de comparer le temps de réponse accordé aux questions H5 et G5. Le temps moyen de réponse accordé à H5 est de 27,8 secondes, tandis qu'il est de 32,4 secondes pour G5. Cette différence de 5 secondes semble bien trop faible pour confirmer mon hypothèse selon laquelle la question G5 amène à lire le texte là où les élèves ont répondu sans relire pour la question H5. Cependant, si l'on s'intéresse plus précisément aux temps de réponse des collégiens à la question H5, suivant leur choix de réponse, on constate que ceux ayant répondu "Vrai" ont répondu en moyenne plus vite. La Figure 7.21 permet de voir que cette différence est beaucoup plus marquée chez les normo-lecteurs avec près de 20 secondes de différence. Il est possible que ce temps supplémentaire ait été utilisé pour relire quelques phrases du texte, ou plus simplement pour vérifier l'absence de mention du "roi" dans le texte.

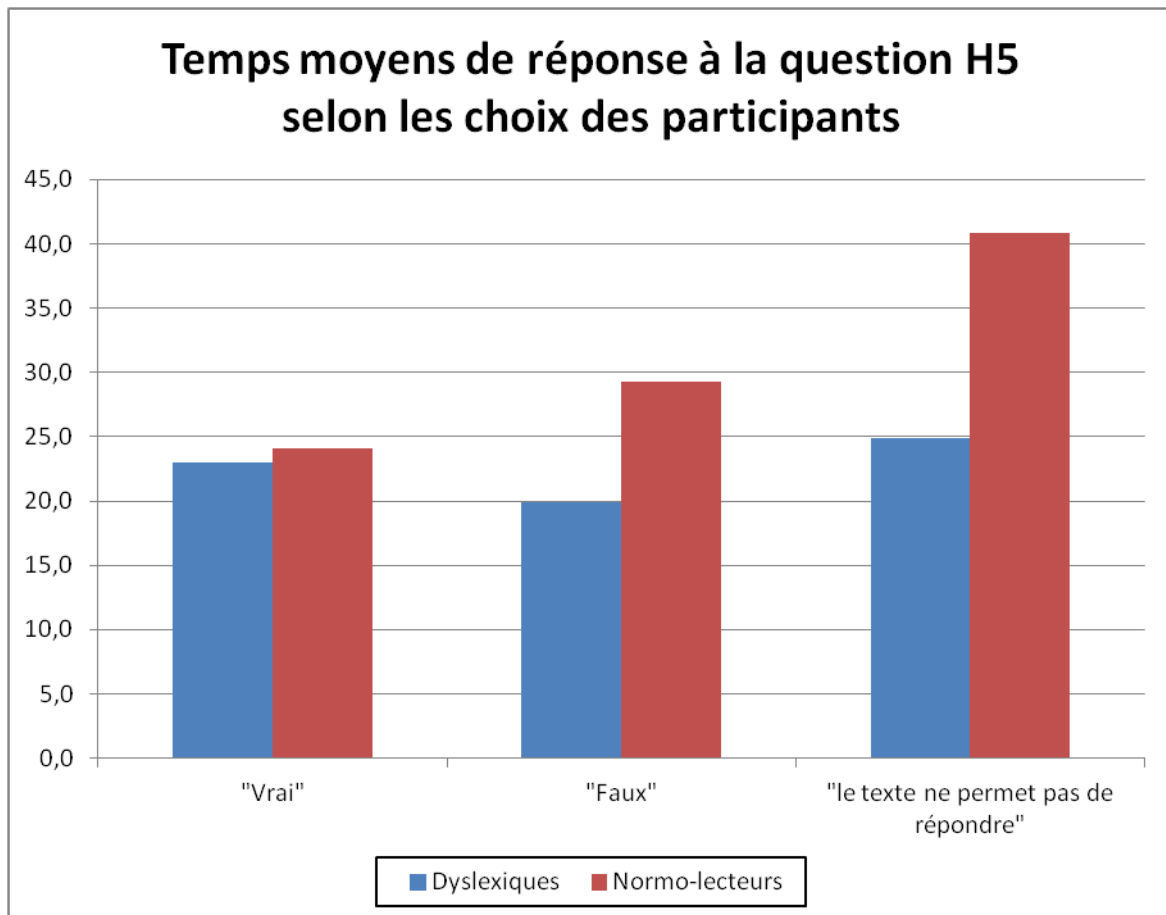


Figure 7.21 Histogramme présentant le temps moyen de réponse, en secondes, des participants suivant leur choix à la question H5.

7.3.6.3. Stratégies de lecture

J'ai procédé à une analyse plus qualitative des résultats des participants selon leurs stratégies de lecture. Pour ce faire je me suis appuyé sur deux paramètres : le temps accordé à la lecture de la carte et l'impact sur les temps et les scores des participants de la stratégie consistant à passer la lecture du texte lorsque celui-ci était en deuxième partie de questionnaire, que j'ai décrite précédemment.

Temps de lecture de la carte	Histoire	Géographie
Normo-lecteurs	41,8	58,1
Dyslexiques	41,6	57,8

Tableau 7.30 Temps moyen accordé à la lecture de la carte, en secondes, selon les groupes.

Le Tableau 7.30 permet de connaître les temps consacrés par les participants à la lecture de la carte. On constate, premièrement, que les participants ont passé plus de temps à lire la carte lorsqu'il s'agissait de celle associée au texte de géographie. Ensuite, on remarque que les temps de lecture moyens sont très similaires pour les deux groupes, ainsi si les deux

publics sont affectés différemment par la désorientation, cela ne se voit pas sur les temps de lecture de la carte pris isolément.

J'ai ensuite inspecté plus précisément les performances en termes de score des participants ayant passé le plus de temps et le moins de temps à lire la carte. Chez les participants dyslexiques, pour la carte d'Histoire comme pour la carte de géographie, aucune dynamique ou corrélation ne se détache lorsqu'on compare le temps de lecture de la carte et les scores obtenus. Il en est de même chez les normo-lecteurs pour la carte d'Histoire. Enfin, pour la carte de géographie, les trois normo-lecteurs l'ayant passé le plus rapidement ont obtenus un score parfait (6/6). Il est possible que d'ignorer les informations contenues par la carte les ait servi, mais rien ne permet de le vérifier, pour émettre une hypothèse plus forte il apparaît d'autant plus intéressant de se focaliser davantage sur le rapport possible entre le fait de passer vite sur la lecture de la carte et du texte et les scores totaux obtenus.

Pour ce faire, je vais distinguer les participants qui ont passé moins de 20 secondes sur la lecture d'un texte, avant de répondre aux questions, des autres participants, et comparer leurs scores moyens.

Histoire	moins de 20 sec.	plus de 20 sec.
Dyslexiques	2,3	3,2
Normo-lecteurs	3,0	3,8

Tableau 7.31 Scores moyens sur les questions d'Histoire en fonction du temps de lecture accordé au texte au départ.

Les tableaux 7.30 et 7.31 permettent de constater que la stratégie de passer la page de lecture du texte seule pour passer directement aux questions ne permet pas d'améliorer les performances. En effet, pour les deux textes et pour chacun des groupes, les scores moyens obtenus par les participants ayant passé moins de 20 secondes sur la page du texte sont sensiblement moins bons. L'écart entre ceux-ci et les participants qui ont pris du temps pour lire le texte avant de répondre est compris entre 0,7 et 1 point, un écart important sur un total de 6 points possibles.

Géographie	moins de 20 sec.	plus de 20 sec.
Dyslexiques	2,6	3,3
Normo-lecteurs	3,1	4,1

Tableau 7.32 Scores moyens sur les questions de géographie en fonction du temps de lecture accordé au texte au départ.

Pour conclure sur les stratégies de lecture et leur impact sur la compréhension de texte, il semble qu'il n'y ait pas de différence entre les comportements des deux groupes normo-lecteurs ou dyslexiques. Si le temps accordé à la lecture de la carte ne semble pas avoir eu

beaucoup d'impact sur les performances des participants, le temps accordé à la lecture du texte avant de commencer à répondre aux questions semble bénéfique. Il est possible que la lecture préalable du texte complet permette de mieux intégrer le sens général du texte et donc de diminuer les chances de produire un contre-sens lors de la recherche de la réponse à une question, *a posteriori*. De plus, cela permet de rencontrer déjà une première fois les éléments du texte et de savoir ce qui fait ou ne fait pas partie des sujets et du vocabulaire traités par le texte.

7.3.6.4. Performances selon la situation ?

Si les différentes situations ont été mises en place, c'est avant tout pour faire face aux éventuels biais produits par l'exécution de deux tâches successives par les participants. Ceux-ci auraient dû idéalement effectuer un seul des deux questionnaires de lecture ayant ou pas une carte à disposition, mais il aurait alors fallu rassembler un public deux fois plus nombreux. Ainsi, les situations devaient théoriquement ne pas provoquer de différences significatives dans les performances des participants, cependant le groupe 2 semble avoir été plus performant que tous les autres groupes.

On peut voir sur la Figure 7.22 que la validation par *Bootstrap* de l'ACP des situations expérimentales montre effectivement une séparation significative entre le groupe 2 et les groupes 1, 3 et 4, qui présentent des ellipses enchâssées, ce qui implique des performances comparables suivant les variables actives (ici scores par textes, scores totaux, temps de complétion du questionnaire, temps de lecture des textes et temps de réponses aux questions), pour les individus appartenant à ces classes.

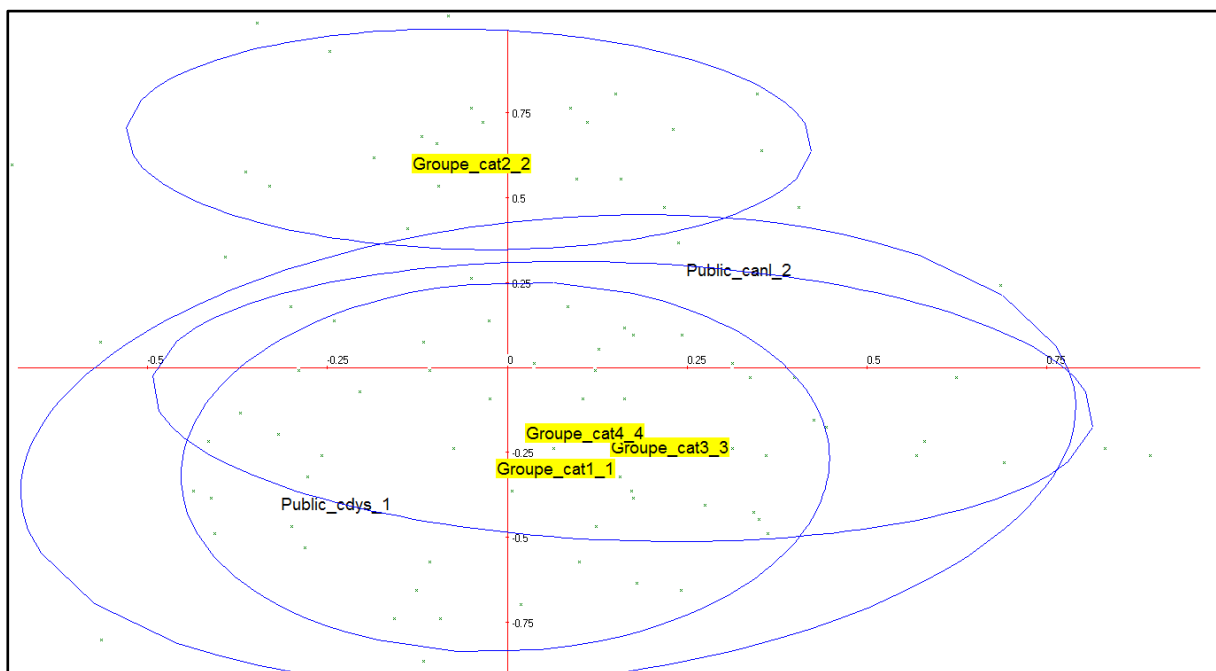


Figure 7.22 Projection de l'ACP pour les différentes situations expérimentales avec validation par *Bootstrap*.

En inspectant de plus près le tableau général des résultats de l'expérimentation, j'ai constaté que 14 dyslexiques et 17 normo-lecteurs ont passé l'expérimentation dans la situation 2. Cette situation présentait le texte de géographie en première position, accompagné de la carte, puis le texte d'Histoire, seul. Au niveau des scores obtenus, les dyslexiques du groupe 2 sont assez proches des scores moyens, malgré des scores bien supérieurs à la moyenne sur les questions d'Histoire, ceux-ci sont compensés par des scores plus faibles sur le texte de géographie. Les normo-lecteurs du groupe 2 présentent également des résultats légèrement meilleurs sur les questions d'Histoire, mais surtout de très bons résultats aux questions de géographie : une moyenne de 4,4 points sur 6, contre 3,9 pour le reste des groupes. Il est très difficile d'estimer si la situation 2 est réellement bénéfique aux participants par rapport aux autres situations. D'après les éléments qui se sont dégagés de l'analyse qualitative des résultats, on peut penser qu'il était effectivement préférable d'avoir accès à la carte de géographie plutôt qu'à celle d'Histoire.

Cependant, il est difficile de s'appuyer sur les scores eux-mêmes pour commenter l'avantage que procurerait une situation puisque le groupe ayant répondu à cette situation représente tout de même un quart des résultats totaux. Ainsi, il est tout à fait possible, compte tenu des effectifs relativement réduits de chaque groupe, que des individus plus performants se soient retrouvés concentrés dans un même groupe de façon fortuite et aient créé un déséquilibre dans les résultats.

7.3.7. Limites, biais et perspectives

7.3.7.1. Limitations méthodologiques

L'expérimentation que j'ai menée au sein du projet LICI est dite exploratoire pour de nombreuses raisons. Tout d'abord, la difficulté de réunir un nombre important de participants, m'a amenée à choisir une méthodologie d'observation limitée :

- l'observation longitudinale était impossible sans avoir un véritable partenariat avec des institutions ou des associations spécialisées ;
- le dispositif mis en place ne permettait pas non plus une évaluation transversale rigoureuse.

De plus, le public réuni est beaucoup trop hétérogène en termes d'âge et de classe pour obtenir des résultats probants. Le matériel prévu étant adapté aux élèves en classe de 5ème il aurait été préférable de réussir à réunir un effectif suffisant uniquement en classe de 5ème, ou alors, à défaut, d'avoir un véritable équilibre entre dyslexiques et normo-lecteurs d'effectifs en fonction des niveaux scolaires, ce qui n'est pas non plus le cas.

Ensuite, un autre défaut important de l'expérimentation est le manque de préparation du public à l'usage des cartes heuristiques. L'objectif principal était de mesurer l'impact de celles-ci sur la compréhension de texte, mais en réalité, puisque seulement 3 participants

avaient déjà manipuler des cartes, la quasi-totalité des participants a découvert l'objet pour la première fois sans aucune explication ni consigne sur la manière de l'utiliser. Ceci explique que les principales différences entre la performance avec et sans carte sont mesurées sur le temps de complétion des questionnaires et pas sur les performances en termes de scores.

Enfin, si j'ai pris le soin de présenter la carte au-dessus du texte sur les pages de questions lorsque les deux étaient disponibles, il aurait fallu, de même, présenter la carte seule avant la première lecture du texte dans le cas des situations avec carte. En effet, comme précisé dans le Chapitre 3, plusieurs études indiquent que plus la carte est présentée tôt dans une tâche, plus elle a une influence positive sur l'apprentissage (Amadiou & Salmeron, 2014).

7.3.7.2. Biais anticipés

Certains biais ont cependant été anticipés, je les ai évoqués dans le point 7.1.2. Tout d'abord un premier biais a été créé par l'enchaînement de deux tâches suivant des conditions expérimentales différentes par chaque participant : une tâche de lecture et de réponse aux questions de compréhension avec carte et la même tâche de lecture sans la carte. Idéalement, chaque participant n'aurait dû faire que l'une ou l'autre et les résultats auraient pu être comparés. Mais bien sûr, il aurait fallu réunir deux fois plus de participants. L'idée pour éviter que les résultats de l'une des deux conditions soit affectée par l'ordre de traitement des deux textes était donc de décider aléatoirement quelle condition (avec ou sans carte) serait présentée en premier. En effet, comme je l'ai déjà évoqué les participants auraient pu éprouver une certaine fatigue, lassitude ou saturation, d'une part, ou au contraire, auraient pu voir une amélioration de leurs performances due à la familiarisation avec l'environnement ou avec la tâche. Ces possibilités constituent un biais notable qui aurait pu affecter les résultats, si les participants n'avaient pas été répartis équitablement entre ces situations afin de pouvoir constater et discuter l'influence de l'ordre des tâches sur les performances.

Ensuite, le deuxième biais anticipé était relatif à la difficulté des textes. Si la compréhension de l'un des deux textes de l'expérimentation était plus aisée ou si les questions de compréhension que j'ai rédigées pour mesurer la compréhension étaient plus faciles et que l'un des deux textes avait été présenté systématiquement sans carte et l'autre avec, il n'aurait pas été possible de conclure sur l'apport de la carte pour répondre aux questions. Il était donc nécessaire que chaque texte ait été autant rencontré avec ou sans carte, tout comme il devait être rencontré autant en première qu'en seconde position dans le questionnaire.

Enfin, le troisième biais possible que j'avais identifié à l'avance concernait la difficulté des questions. Le fait d'avoir un jeu de questions unique pour les deux publics, dyslexiques et normo-lecteurs, alors même que leurs performances risquaient d'être significativement différentes était un grand risque. Il était nécessaire de ne pas proposer des questions trop faciles, afin que les normo-lecteurs n'atteignent pas tous des scores très élevés, ni trop

difficiles afin que les dyslexiques n'obtiennent pas tous des scores très bas (problèmes identifiés respectivement sous les termes "d'effet plafond" et "d'effet plancher", en psychologie). C'est pour cette raison que j'ai rapidement consulté les scores obtenus après les premières passations de questionnaire et les résultats étaient, et ont été ensuite, dans leur ensemble, satisfaisants.

7.3.7.3. Améliorations proposées

Concernant l'évaluation de la compréhension de texte, il serait aussi intéressant dans une telle expérimentation de mettre en place des pré-tests pour vérifier les capacités de compréhension à l'oral de chaque participant. En théorie les dyslexiques ne devraient pas présenter de difficulté de compréhension à l'oral. Ceci permettrait de mieux évaluer, et de confirmer, l'impact de leurs difficultés de lecture sur la compréhension de texte.

Dans le cadre d'une nouvelle expérimentation à venir, le besoin de réunir un groupe de normo-lecteurs peut être remis en question. En effet, celui-ci a été bénéfique car il a permis de confirmer les hypothèses les plus évidentes, mais les hypothèses restantes pourraient être infirmées ou confirmées en faisant seulement appel à un public de dyslexiques. Cependant ce public aurait mérité d'être mieux sélectionné (pré-test de lecture), mieux préparé (avec des séances d'initiation à l'usage des cartes) et mieux connu (pré-test de compréhension à l'oral). Je note qu'il a aussi été utile pour jauger la difficulté des questions de compréhension, et donc vérifier la pertinence du matériel, d'avoir recueilli les réponses de normo-lecteurs.

En plus du manque de préparation du public auquel il faudra remédier, il faut noter que la manière dont j'ai établi le public du groupe contrôle n'est pas satisfaisante. En effet, il s'agit d'une équivalence de niveau scolaire, alors qu'il serait préférable d'avoir une équivalence d'âge ou une équivalence d'âge de lecture; et plus préférablement deux groupes contrôles, répondant chacun à un de ces critères. L'âge de lecture peut être mesuré en utilisant l'un des tests évoqués dans le point 4.2.

Enfin, pour aller plus loin, une autre expérimentation pourrait tenter de répondre à la question : "Est ce que les apports de l'usage d'une carte heuristique pour la compréhension de texte se transfère ensuite sur de nouveaux textes rencontrés sans carte ?". On peut en effet imaginer que des dyslexiques ayant l'habitude de travailler avec une carte vont modifier leur approche d'un texte et d'en traiter d'abord la macrostructure en essayant d'en dégager les termes clés. Ils seraient alors plus performants en termes de compréhension de texte, même en l'absence de carte. Pour répondre à cette question il faudrait mettre en place un pré-test et un post-test : question de compréhension sur un texte, puis tâche d'entraînement à l'usage des cartes heuristiques (par exemple grâce à l'outil LIC1), puis question de compréhension sur un deuxième texte (avec des textes de difficultés équivalentes, proposés tantôt en pré-test, tantôt en post test selon les participants).

7.3.8. Conclusions sur l'expérimentation

Cette expérimentation exploratoire a montré de très nombreuses limites et n'a pas permis de confirmer les hypothèses les plus importantes formulées au départ de sa conception. Comme je l'ai expliqué dans la partie précédente, mon manque d'expérience dans la réalisation d'expérimentation en est grandement responsable. Cependant, les résultats négatifs sont toujours à considérer et peuvent apporter une aide précieuse pour la réalisation d'expérimentation à venir. Voici, en résumé, les quelques éléments qui ressortent de mes analyses.

Tout d'abord, les normo-lecteurs ont été plus performants sur la tâche de compréhension de texte, comme attendu, et ce, tout en étant plus rapides pour compléter le questionnaire. Ensuite, le texte de géographie a été à la fois le texte lu le plus rapidement et celui dont le questionnaire a donné lieu aux meilleurs résultats. Il semble que la difficulté des textes ait donc été légèrement déséquilibrée en faveur du texte de géographie. De plus, c'est aussi le texte de géographie qui a bénéficié de la carte ayant le plus d'influence sur les scores des participants. Il aurait été sûrement intéressant de mieux équilibrer les deux cartes en nombre d'éléments décisifs contenus. J'entends par élément décisif, la présence d'une information permettant de répondre directement à une question. Il semble d'ailleurs que les cartes, même si elles étaient mal connues des participants, ait été généralement utilisée puisqu'on constate des scores inférieurs pour la plupart des questions pour laquelle la carte était inutile, lorsque celle-ci était disponible. Ainsi, lorsque la carte était présente, elle semble avoir aspiré l'attention des participants. Ce dernier résultat est à relativiser à cause de la mise en page du questionnaire, qui présentait le texte sous la carte, ce qui a pu dissuader les participants d'aller le consulter. Toujours sur l'influence des cartes, il est possible que la structure de celles-ci ait joué un rôle. La carte d'Histoire, qui a amené moins de variance sur les résultats, adopte une structure plus proche d'une carte conceptuelle, avec un élément central et une structure en arbres, dont les branches correspondent relativement à des relations hiérarchiques, chaque nœud fils étant un élément caractérisant ou un attribut du nœud de niveau supérieur. Enfin, la carte est agrémentée de flèches entre les branches qui ne sont pas forcément faciles à interpréter, mais qui auraient dû être un rappel pratique des relations entre les éléments une fois le texte lu et compris. La carte de géographie, elle, est davantage structurée comme une carte heuristique. Les branches partent également d'un nœud central mais leur lecture forme presque des phrases, les feuilles de l'arborescence contenant les informations les plus précises. La branche située au centre en bas de la carte est d'ailleurs l'équivalent d'une phrase. Ces différences de structure sont peut être tout aussi responsables des différences d'influence sur le score que le nombre d'éléments d'informations compris dans chaque carte.

Un autre résultat intéressant concerne la relation entre les performances et l'âge des participants. Si la disparité du public en termes d'âge et de niveau scolaire a rendu difficile l'interprétation des résultats, elle a aussi pour avantage de donner des éléments pour voir

comment la compréhension de texte évolue en fonction de l'âge et du niveau scolaire. La population dyslexique comprend de grandes variations d'âge au sein d'un même niveau scolaire, cela étant bien entendu dû aux grandes difficultés éprouvées par certains élèves dès les classes de primaires, auxquels il est demandé de refaire telle ou telle année scolaire. Ainsi, on constate une inconstance des performances si l'on considère un âge donné. Cependant, alors que les élèves normo-lecteurs doivent déjà maîtriser la lecture depuis plusieurs années en classe de 5ème, les participants obtiennent de meilleurs scores d'autant que leur niveau scolaire est élevé, jusqu'à la 3ème et il en va de même pour les dyslexiques. Si l'analogie que j'ai proposée dans l'analyse des résultats entre l'âge de lecture et le niveau scolaire est pertinente, on peut dire que l'amélioration des scores de compréhension suit l'évolution de l'âge de lecture. Sinon, il est possible que bien d'autres facteurs que la performance de lecture pure soit en jeu. Pour le savoir il faudrait procéder à des tests de lecture sur les participants des différents niveaux scolaires mais aussi essayer de déterminer les autres compétences en jeu.

Le phénomène le plus surprenant dans les résultats est certainement la différence de résultats sur un même texte lorsque celui-ci est placé en première ou en deuxième position dans le questionnaire, et ce pour la même condition de présence de la carte. Alors que les scores des normo-lecteurs sont meilleurs pour une série de questions lorsqu'elle était en première partie de questionnaire, c'est l'inverse pour les dyslexiques. Or, ce résultat est complètement opposé à celui attendu. Les dyslexiques auraient dû éprouver plus de difficulté en deuxième partie, notamment à cause de la fatigue et de la surcharge de leur mémoire à court terme. D'ailleurs, si certains d'entre eux n'ont pas lu le texte en deuxième partie de questionnaire, dans le but de le consulter seulement lorsque nécessaire, cela n'a pas augmenté leur performance, comme je l'ai expliqué dans le point 7.3.6.3, lorsque j'ai analysé l'impact des stratégies de lectures. Ainsi, les raisons de leurs meilleures performances restent inexplicables et pourraient faire l'un des objets d'une expérimentation à venir. Ce résultat surprenant est tout de même à modérer, considérant l'écart statistiquement non pertinent entre les scores moyens obtenus dans les différentes conditions expérimentales.

Je me suis enfin intéressé à un dernier élément étudié dans la littérature sur l'utilisation des cartes : l'effet des connaissances préalables. Dans mon expérimentation, c'est le niveau scolaire du matériel sélectionné en comparaison du niveau scolaire des participants qui permet d'estimer leurs niveaux de connaissances préalables. Ainsi, seul les élèves de 6ème ont pu se retrouver en difficulté sur ce critère, n'ayant pas encore étudié les sujets évoqués par les deux cartes respectives. Au niveau des performances, les 6ème sont en effet bien en dessous des autres participants, mais cela ne permet pas de conclure sur le rôle des connaissances préalables, puisque les 6ème sont également tous ici des élèves en difficulté de lecture et que la carte n'a, d'après l'ensemble des analyses, qu'une influence relative sur l'ensemble des performances. Pour ouvrir cette discussion sur la programmation de l'outil

LICI, on peut d'ailleurs constater que, dans son cadre d'utilisation générique, les effets des connaissances préalables du lecteur sur la compréhension de la carte seront relativement réduits. En effet, les cours et les documents rencontrés par les collégiens futurs utilisateurs du LICI, au fur et à mesure de leurs parcours scolaires sont toujours conçus pour venir s'ajouter à l'empilement de connaissances précédent. De cette façon, les élèves vont se spécialiser progressivement sur un sujet donné. Ainsi, si le programme scolaire, dont l'objectif est cet empilement progressif de connaissances, est bien conçu et le scénario pédagogique du cours cohérent, l'apprenant sera à tout moment un lecteur à connaissances préalables satisfaisantes vis à vis des textes auxquels il fera face. Par suite, le collégien utilisateur du LICI aura donc toujours un niveau de connaissances préalables suffisant sur le sujet des cartes qu'il fera générer à l'outil.

Chapitre 8. La cartographie automatique de texte

Dans ce chapitre, je présenterai des éléments théoriques sur le résumé automatique de texte et l'extraction automatique de mots-clés dans un texte, ainsi que leur usage dans le domaine de la remédiation. L'objectif est, dans un premier temps, de repérer plusieurs méthodes algorithmiques pour extraire automatiquement les informations principales d'un texte, puis, d'en sélectionner une applicable au développement du LICl, en fonction du cahier des charges et des contraintes présentés dans le Chapitre 6. Dans un deuxième temps, je présenterai l'algorithme finalement retenu pour le LICl, qui permet de passer du texte à des termes-clés sélectionnés et affichés sous la forme d'une carte.

8.1. Terminologie

Les programmes de TAL mettent en œuvre un algorithme, qui fait appel à un certain nombre de fonctions successives, dans l'objectif de traiter le langage naturel. Dans le cadre du LICl, il s'agit plus précisément de langage naturel écrit. Quel que soit l'objectif recherché, il est nécessaire de procéder par étapes en partant d'un texte brut, que la machine ne sait pas interpréter comme étant du texte et dont elle ne reconnaît pas les unités lexicales qui le compose. Ce texte brut de départ va subir des opérations successives afin de le transformer en somme d'éléments manipulables par des fonctions. Cette transformation séquentielle est appelée chaîne de traitement. De plus, chaque étape de cette chaîne de traitement exige une définition précise des éléments manipulés par les fonctions, il est nécessaire de les caractériser autant à l'entrée, qu'à la sortie de chaque fonction. A ces caractérisations des éléments manipulés correspond une terminologie dédiée.

La terminologie que je vais utiliser est en partie adaptée de la terminologie anglaise utilisée par la communauté *NLTK* (Bird et al., 2009) et en partie empruntée à la statistique textuelle, décrite dans le livre de Lebart et Salem (1994).

La première étape de la plupart des chaînes de traitement en TAL est la segmentation. Il s'agit de séparer automatiquement la chaîne de caractères brute en formes graphiques, que j'appellerai plus simplement graphies. Graphie désigne plus largement la représentation graphique d'un mot ou d'un phonème, ou encore, une manière parmi plusieurs d'écrire un mot. L'usage de ce vocabulaire permet d'éviter l'emploi de « mot » qui est trop imprécis dans le contexte du traitement automatique du langage et qui risque de créer des ambiguïtés de lecture. Le terme graphie désigne ainsi toute chaîne de caractères comprise entre deux caractères délimiteurs. La définition de ces caractères délimiteurs et les règles de segmentation sont l'une des premières étapes importantes dans la chaîne de traitement.

Certains délimiteurs sont intrinsèques aux langues manipulées par le LICl, comme les espaces et la ponctuation. Pour d'autres langues, la tâche serait plus complexe car il n'existe aucun délimiteur visible entre les graphies, comme c'est le cas dans certaines langues asiatiques (Savoy & Abdou, 2006). Pour les langues françaises et anglaises, les difficultés de segmentation vont provenir des caractères accentués, des mots composés et des apostrophes.

Le terme de « forme » désigne le sous-ensemble des graphies ayant la propriété d'être bien formées ou, autrement dit, celles appartenant au dictionnaire de référence de la langue traitée. Cette nuance entre forme et graphie n'a cependant pas beaucoup d'importance dans le cadre du LICl. En effet, les textes bruts reçus en entrée de programme sont généralement sans faute d'orthographe et s'ils contiennent des abréviations inconnues ou des néologismes ceux-ci ne feront pas l'objet d'une normalisation pour être traités. Je traiterai cette question dans la partie 8.3 sur l'algorithme du LICl.

Une forme de normalisation peut néanmoins être utile au cours des traitements, c'est la lemmatisation, qui va permettre de regrouper plusieurs formes distinctes ayant une racine commune. Un lemme est commun à un ensemble de formes, ces formes sont appelées flexions. Ces formes sont lemmatisées différemment selon leur nature. L'ensemble des formes fléchies d'un verbe a pour lemme le verbe à l'infinitif. Les formes élidées ont pour lemme la forme correspondante sans élision. Les substantifs sont lemmatisés au singulier et les adjectifs au masculin singulier. La lemmatisation va permettre des regroupements intéressants en termes de statistique textuelle mais elle est plus difficile à effectuer qu'un travail direct à partir des graphies ou des formes. En effet, de nombreuses ambiguïtés surviennent et une analyse grammaticale ou sémantique de la phrase est parfois nécessaire pour déterminer le lemme correspondant à une forme. Par exemple, la forme « suis » peut être associée indifféremment au lemme « suivre » ou « être » sans connaissance de son contexte. Il est aussi possible de retrouver des lemmes de natures différentes pour une même forme comme par exemple pour la forme « est ». Il peut s'agir de la flexion du verbe être comme du point cardinal. Ces problèmes proviennent de l'homographie entre certaines formes. La lemmatisation est donc grandement liée à la détermination de la nature des formes et ces deux traitements seront plus facilement effectués simultanément.

Enfin, j'ai choisi d'utiliser le nom de « terme clé » pour désigner un ensemble d'une ou plusieurs graphies qui correspond à une information importante du texte. Cela permet d'englober à la fois des graphies isolées (par exemple « chat ») et des groupes de graphies (par exemple « le petit chat noir ») à condition que celles-ci représentent un seul et même concept ou objet. *A contrario*, j'utiliserai le nom de « mot-clé » lorsque je souhaiterai désigner une graphie isolée qui a été reconnue comme un élément d'information important du texte.

8.2. Résumé automatique et extraction de mots clés

8.2.1. Résumé automatique

Depuis quelques années, l'intérêt pour le résumé automatique croit avec l'augmentation de la quantité d'information diffusée en ligne sous forme textuelle. La taille des corpus disponibles augmente exponentiellement. De plus, le développement du web 2.0 a entraîné une production quotidienne de grandes quantités d'informations nouvelles, autant en termes de contenu qu'en termes de diversité de formes. D'après Torres-Moreno (2011), le résumé automatique est un processus de compression avec perte d'informations et il a pour objectif de fournir un accès privilégié au document source. Cette notion d'accès privilégié est proche de l'optique dans laquelle j'ai développé l'outil LICl, comme je l'expliquerai dans le chapitre suivant.

Les résumés automatiques permettent aussi bien de faire la synthèse de toutes ces informations pour dégager des tendances thématiques sur de grands corpus, que d'analyser des textes précis afin d'en dégager les informations voire les opinions principales. Cet intérêt grandissant pour le résumé automatique a impliqué le développement de nouvelles méthodes dans le domaine du TAL, que ce soit dans l'objectif de résumer un texte isolé ou dans le cadre du résumé multi-documents (Das & Martins, 2007). Quel qu'en soit les particularités, qu'il traite un ou plusieurs documents simultanément, un programme de résumé automatique doit nécessairement répondre à deux attentes : d'une part, préserver les informations importantes du texte et d'autre part, générer un résumé suffisamment court.

8.2.1.1. Méthode générale

Les études sur le résumé automatique de texte ont commencé dans les années 1950, notamment avec l'article de Luhn (1958), dans lequel il présente une méthode de résumé automatique basée sur des calculs statistiques concernant d'abord les mots, puis les phrases d'un texte.

La tâche de résumé automatique de texte peut être divisée en trois grandes phases de traitement : l'identification du thème du texte, l'interprétation du texte et, dans un dernier temps, la génération du résumé (Hovy & Lin, 1999).

De plus, avant de créer un outil de résumé automatique, il est nécessaire de répondre à deux questions préalables :

- Quels types de textes souhaite-t-on traiter ?

Selon la taille, la langue, le genre de texte, l'algorithme d'interprétation doit être adapté. Parmi les types de texte possibles, on peut citer :

- Journalistique (article de journaux, blogues, ...) ;
- Spécialisé (scientifique, technique, juridique, ...) ;
- Littéraire (roman, poésie, ...) ;
- Encyclopédique (Wikipédia, ...).

Un outil pouvant traiter n'importe quel type de texte serait un grand défi et exigerait une phase de prétraitement au sein de la phase d'identification du thème. Il est donc nécessaire de déterminer à l'avance des textes cibles prototypiques à traiter. En effet, la spécialisation de l'outil à un type de texte précis permet également d'obtenir de bons résultats rapidement sans avoir besoin de faire appel à des connaissances langagières préalables (corpus, bases de données).

- Quels types de résumés souhaite-t-on générer ?

Il est possible de produire différents types de résumés en sortie de programme. Les résumés peuvent varier en forme, en longueur, en précision et en niveau d'interprétation. Ils peuvent aller d'une simple liste de mots-clés, issue d'un calcul statistique, jusqu'à un texte élaboré dérivé du texte de départ (Hovy & Lin, 1999). Le résumé peut être indicatif (qu'est ce qui est traité dans le document ?) et/ou informatif (comment le document traite le/les sujets ?). Le résumé peut également être générique, guidé ou mise à jour (Torres-Moreno, 2011). Un résumé générique est indépendant des besoins de l'utilisateur, un résumé guidé est construit à partir d'une requête de l'utilisateur et un résumé mise à jour va extraire du document seulement les nouvelles informations qui n'étaient pas présentes dans des documents précédemment traités dans le même domaine. Ce dernier type de résumé exige d'employer un corpus de référence ou d'être capable de garder en mémoire les résumés générés précédemment par l'outil. Enfin, le résumé peut être adapté ou non au profil de l'utilisateur du logiciel, avec par exemple un système par apprentissage des préférences de l'utilisateur.

Quoiqu'il en soit, la phase d'interprétation du texte est certainement la plus délicate et nécessite généralement de faire appel à des ressources extérieures contenant des informations sémantiques, telles que des taxonomies.

J'ai également mentionné la taille du résumé, plus haut. Le rapport entre celle-ci et la taille du document original est appelé taux de compression. D'après Torres-Moreno (2011), le taux de compression idéal varie de 10 à 30% selon les études.

Les méthodes de résumés les plus connues sont :

- L'extraction : chaque élément du résumé est prélevé tel quel dans le texte de départ ;

- L'abstraction : les éléments du résumé sont générés grâce à l'interprétation du texte de départ, cela implique une reformulation des informations essentielles et donc un recours à des ressources extérieures ;
- La fusion : les éléments du résumé sont générés par combinaison d'éléments extraits du texte original ;
- La compression : le résumé est obtenu par suppressions progressives des propositions contenant le moins d'informations.

En langue anglaise, on parle de *summary*, *abstract* et *extract*. Le *summary* peut être tout simplement traduit par « résumé », l'*abstract* peut être traduit par « abrégé » et correspond à l'usage de la méthode d'abstraction tandis que l'*extract* est un résumé produit avec la méthode d'extraction.

Il est aussi possible de mettre au point un outil qui fait intervenir l'utilisateur pour renseigner le système sur le type de texte, ou le thème du texte, en amont de la génération automatique, afin de faire appel à un sous-programme spécialisé pour effectuer un traitement adapté. Cette méthode d'interrogation de l'utilisateur sur le thème du texte peut même être retournée et utilisée comme une direction que l'utilisateur donnerait volontairement au système pour obtenir un résumé spécialisé et concentré sur la question qui l'intéresse dans un texte qui au départ ne traitait pas seulement cette question (Das & Martins, 2007). Par exemple : un texte sur l'Histoire de l'Europe que l'utilisateur identifierait comme traitant de la France pour obtenir en résultat les parties du texte centrées sur l'Histoire de France.

8.2.1.2. Méthode pour un seul document

Lorsqu'il s'agit de résumer un texte isolé, sans connaissance préalable sur le document, tel que son thème, la méthode principalement utilisée est l'extraction (Das & Martins, 2007). Cette extraction est réalisée à partir de calculs statistiques sur le document, qui peuvent être complétés par un apprentissage sur des documents du même type ou par l'usage de méthodes de calcul vectoriel. Au final, un résumé automatique obtenu par extraction correspond généralement à effectuer une sélection des n meilleurs phrases du texte, la valeur de n étant choisie pour satisfaire les contraintes sur la taille du résumé souhaitée.

Généralement, la sélection des meilleures phrases d'un texte est réalisée grâce à un système de pondération, qui permet d'attribuer un score à chacune des phrases. C'est d'ailleurs déjà la méthode proposée dans l'article de Lunh (1958). Celui-ci propose d'accorder à chaque phrase une certaine valeur de *significance*, que l'on peut traduire assez simplement par « importance ». Pour déterminer celle-ci, Lunh calcule d'abord le nombre d'occurrence dans le texte, sans lemmatisation préalable, de chaque graphie pour établir leur importance respective. Ensuite, une combinaison de l'importance des graphies contenues dans une phrase et de leur position au sein de celles-ci permet de pondérer la phrase.

Il est toutefois nécessaire de préciser que dans la méthodologie proposée par Lunh, les mots-clés d'un texte ne sont ni ceux qui apparaissent le plus dans un texte, ni ceux qui apparaissent le moins. La Figure 8.1 représente le processus de sélection des mots-clés suivant la logique d'élimination des graphies les plus fréquentes, étant généralement des mots grammaticaux ou des mots vides, et d'élimination des graphies les moins fréquentes, étant jugées peu représentatives du contenu du texte. Sur le graphe, les graphies sont rangées dans l'ordre de la plus à la moins fréquente sur l'axe des abscisses. La courbe noire représente leurs valeurs de fréquence d'apparition. La position des lignes C et D est déterminée arbitrairement par le programmeur et elle est censée être ensuite affinée par retour d'expérimentation de l'algorithme sur un corpus de textes « tests » suffisamment grand. Toutes les graphies se trouvant comprises entre les lignes C et D sont considérées comme des mots-clés. Cette technique de sélection des mots-clés est conçue comme une alternative au recours à un dictionnaire de mots grammaticaux/mots vides, mais elle peut aussi être utilisée en plus, après que certains mots grammaticaux les plus fréquents aient déjà été retirés de la liste des graphies du texte.

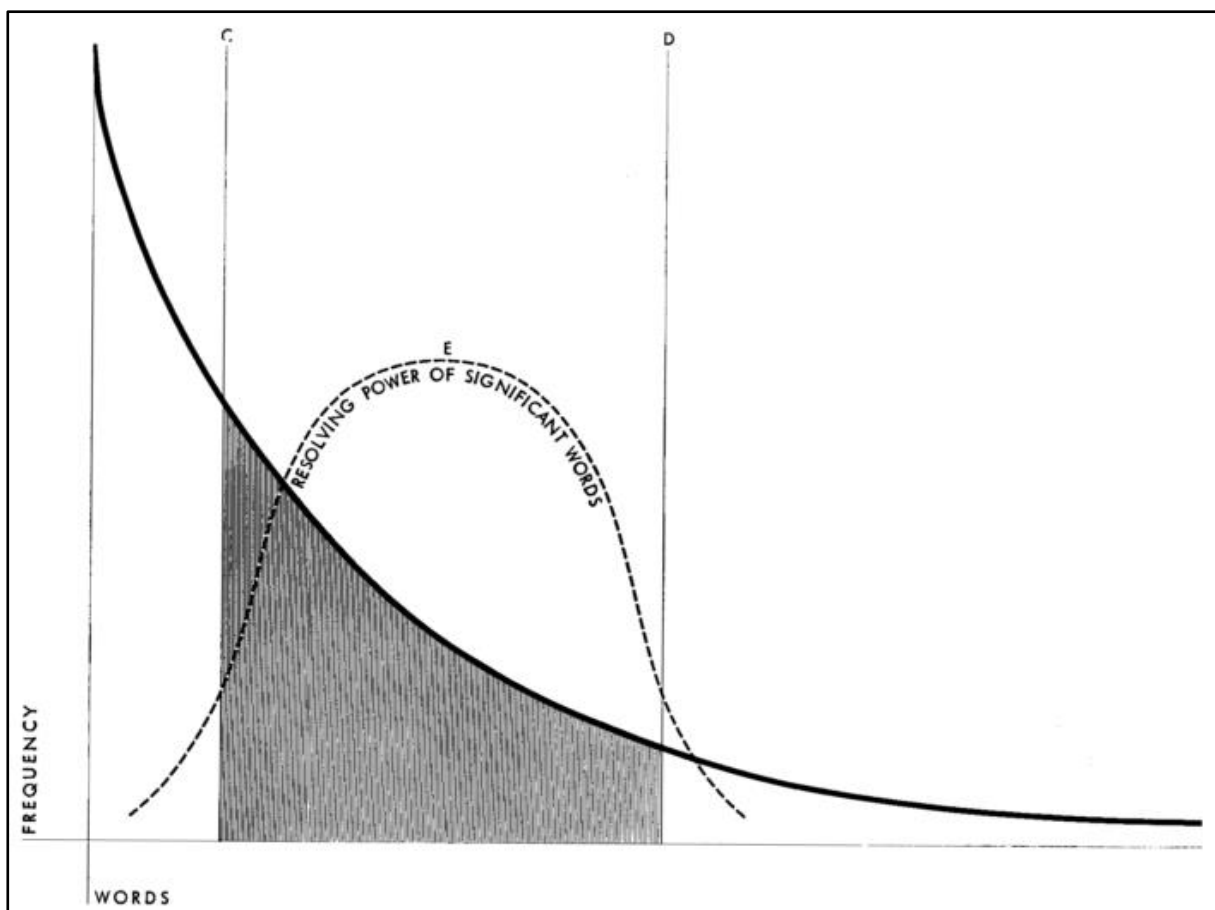


Figure 8.1 Graphe de représentation de l'importance des mots en fonction de leur fréquence d'apparition, extrait de l'article de Lunh (1958).

Dans cette méthode, aucune importance n'est donnée au sens des mots, ce qui en fait une méthode, non seulement fondée sur l'extraction, mais surtout, essentiellement extractive puisqu'aucune ressource extérieure n'est impliquée dans les décisions. Ainsi, plus des mots jugés importants seront proches les uns des autres au sein d'une même phrase, plus cette phrase aura un poids important, indépendamment du sens de ces mots et de leur appartenance à tel ou tel champ sémantique. Le poids d'une phrase d'après la méthode de Lunh dépend donc du nombre de mots-clés qu'elle contient et de leur proximité physique (moins il y a de mots grammaticaux/vides entre eux, plus l'indice de proximité est grand) au sein de la phrase. Enfin, si deux graphies significatives sont séparées par trop de mots grammaticaux/vides, aucun poids supplémentaire ne sera affecté à la phrase les contenant. Cette distance maximale de séparation a été étudiée et Lunh estime qu'au-delà de 5 graphies non-significatives entre deux mots-clés, ils perdent leur capacité à augmenter l'importance (*significance*) de la phrase. Selon Lunh, si cette méthode ne permet d'obtenir que des résumés indicatifs, ceux-ci sont suffisamment constants en termes de qualité, contrairement au résumé écrit « à la main » et de plus, ils peuvent être facilement améliorés par la plus-value informative qu'est le titre du texte original. Il convient donc de le conserver et de l'associer dans le résultat final aux phrases sélectionnées.

Un argument supplémentaire plaide en faveur de la méthode d'extraction : selon deux études, commentées par Torres-Moreno (2011), lorsqu'un résumé est produit à la main, un pourcentage important des phrases de ce résumé (entre 70 et 81,5 %) est repris tel quel depuis le texte d'origine.

Un autre indice important qui peut être considéré pour retrouver les éléments (phrases ou termes) clés d'un texte est leur position. En effet, l'information est généralement répartie de façon non-uniforme et elle peut être concentrée sur de courtes parties du texte. Baxendale (1958) a étudié le rapport entre les phrases-clés d'un texte et leur position au sein d'un paragraphe dans un corpus de texte scientifique. Il en ressort que 85% des phrases clés sont situées en début de paragraphe et 7% en fin de paragraphe. Cependant, ce critère ne peut être pris en considération pour déterminer les phrases-clés sans connaître le type de document traité, car la structure d'un texte varie beaucoup suivant son genre (Das & Martins, 2007). Edmundson (1969) propose de prendre également en compte la structure des textes dans l'algorithme de décision, c'est-à-dire de donner un poids plus important aux titres, sous-titres ou de tenir compte de la répartition des mots dans les paragraphes. Ainsi, la présence dans une phrase d'une forme contenue dans le titre va augmenter le poids de cette phrase, par exemple. Il émet aussi l'idée d'utiliser un dictionnaire de termes, que l'on peut appeler « mots-indices » permettant de repérer les passages clés du texte, tels que les termes « en conclusion » ou « significatif », par exemple. Edmundson (1969) a expérimenté sa méthode de génération de résumé par extraction, utilisant la structure du texte et les mots-indices, sur 400 documents. Il est apparu que 44% des phrases sélectionnées par le programme étaient communes avec des phrases-clés choisies manuellement sur les mêmes documents.

Plus tard, l'usage de nouvelles méthodes émerge, comme le *machine learning*. C'est le cas dans les travaux de Kupiec, Pedersen & Chen (1995), qui reprennent tous les indices d'importance pour déterminer les phrases-clés déjà établis par Edmunson, mais qui vont aussi permettre de prendre en compte, par apprentissage, d'autres paramètres tels que la longueur des phrases ou encore l'influence de la présence de majuscules. Leur algorithme repose sur l'usage d'un "classifieur bayésien naïf". Sans entrer dans les détails, il s'agit d'une méthode d'apprentissage qui permet de classer des éléments suivant leurs propriétés et qui pose l'hypothèse que toutes les propriétés en jeu sont indépendantes. Cette méthode aurait l'avantage de donner des résultats convaincants même en utilisant peu de données d'entraînement, c'est à dire, ici, un corpus assez restreint de textes accompagnés de leur résumé par extraction réalisés manuellement. De plus, Kupiec et al. (1995) ont eux aussi évalué leur système automatique, sur 188 documents, par comparaison avec des résumés réalisés à la main. Ce type de résumé étant des abrégés, il a fallu les analyser pour en déduire une sélection manuelle de phrases du texte contenant les informations équivalentes, puis comparer cette sélection avec le résultat du système automatique. D'après leurs résultats, la sélection de phrases à partir des résumés manuels et celle effectuée par le programme sont similaires à 84%. Il ressort de leur expérimentation que, comme dans les travaux d'Edmundson, les critères les plus pertinents pour déterminer les phrases-clés sont : la position des phrases, les mots-indices et les graphies contenues dans le titre.

Le défaut le plus important des résumés par extraction, même en prenant compte de nombreux critères, reste les anaphores non résolues (Torres-Moreno, 2011). En effet, il est courant qu'une phrase extraite commence, par exemple, par un pronom faisant référence à un nom présent dans la phrase précédente du document source mais que celle-ci n'est pas été extraite. Des systèmes de résolutions d'anaphores ont donc été programmés, comme celui de Orasan et Evans (2007). Ce système est une étape de prétraitement permettant d'identifier le degré d'animéité des noms (*animacy identification*), qui pourrait être défini par la capacité à être « vivant », ou « sensible », d'un nom. Ce degré permet de déterminer ensuite la probabilité de la relation anaphorique entre un pronom et un nom. Ce système repose sur un algorithme d'apprentissage machine et permet d'obtenir des résultats satisfaisants : autour de 98% de précision en le testant sur deux corpus et en comparant avec les relations anaphoriques annotées à la main.

D'autres méthodes ont été développées plus récemment, reposant notamment sur la construction de vecteurs ou de graphes, telles que PageRank ou LSA, je les présenterai après les méthodes d'extractions de mots-clés avec lesquelles elles ont également des points communs.

8.2.1.3. Chaîne de traitement prototypique

La plupart des approches de résumé automatique d'un document isolé reposant sur la méthode d'extraction, suivent trois étapes de traitement :

- Prétraitement : segmentation en phrases et en graphies, filtrage des mots vides et de la ponctuation, normalisation des graphies;
- Extraction : calculs et combinaison des mesures de similarité entre les phrases, pondération des phrases et tri ;
- Génération : assemblage, post-traitement et reformulation.

La Figure 8.2 présente les étapes d'un algorithme standard de résumé automatique par extraction qui s'appuie sur une pondération et une sélection de phrases.

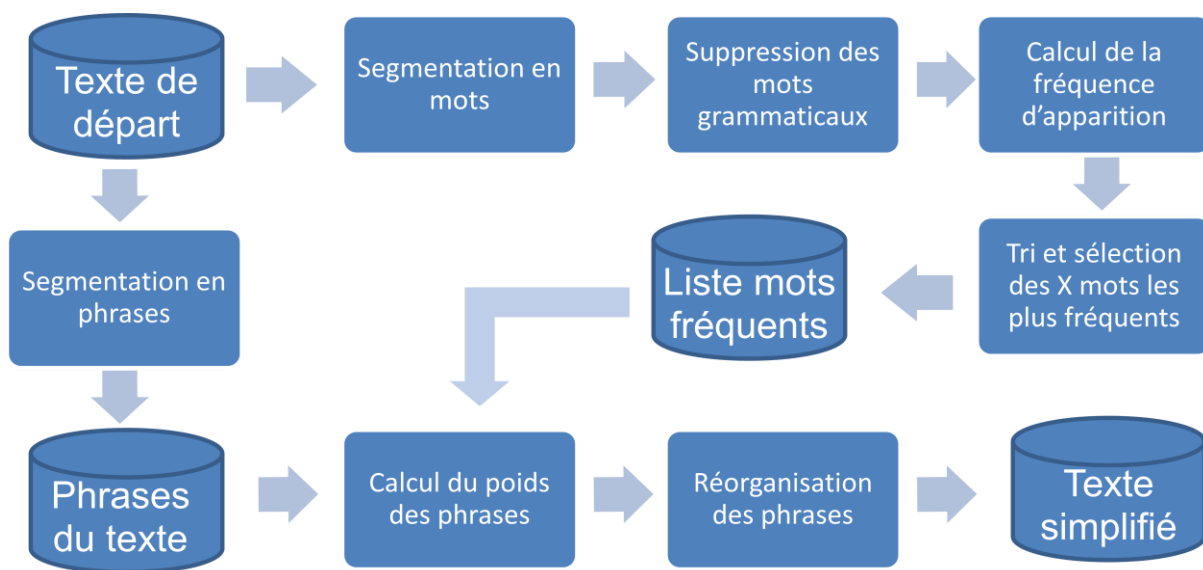


Figure 8.2 Schéma d'un algorithme de résumé automatique par extraction standard.

Cet algorithme s'appuie sur deux traitements parallèles : d'un côté le texte est segmenté en graphies, qui sont filtrées puis triées selon leur pertinence et leur fréquence, d'un autre côté, le texte est segmenté en phrases, puis ses phrases sont pondérées en fonction de leur contenance de mots-clés (graphies les plus fréquentes) avant d'être triées selon leur ordre d'apparition dans le texte original afin de produire un résumé.

Cette chaîne de traitement basique peut ensuite être enrichie par d'autres méthodes. Au niveau morphologique, les graphies peuvent être standardisées par lemmatisation ou par *stemming*. Ces deux démarches consistent à regrouper diverses graphies, qui partagent la même origine morphologique, sous une même étiquette avant de compter le nombre d'apparition des graphies. Ainsi, ces graphies auront un indice d'importance plus élevé lors du calcul du poids des phrases. La lemmatisation consiste simplement à remplacer toute forme fléchie par le lemme correspondant. Le *stemming* est une opération de troncation, afin de garder seulement le préfixe, correspondant approximativement à la racine, de

chaque graphie. Par exemple, dans l'article de Lunh (1958), les mots-clés sont comparés deux à deux et seront considérés comme représentant une seule et même notion s'ils partagent six ou plus de lettres communes, en comparant leurs lettres récursivement à partir de la première de chacun des deux graphies.

Au niveau sémantique, il est possible de faire appel à des ressources extérieures pour regrouper les graphies par champ lexical, par synonymie ou par d'autres relations de similarité. Pour cela, il est possible d'utiliser par exemple un *Wordnet*. Un *Wordnet* est une taxonomie organisée sous la forme d'une base de données dont chaque entrée est un ensemble de formes synonymes, appelé *synset*. Chaque *synset* est associé à un identifiant unique et comporte un ensemble de formes qui ont un sens proche ou qui représentent un même concept. De plus, chaque *synset* est accompagné de métadonnées : une définition et les relations qu'il entretient avec d'autres *synset*, qui peuvent être leur hyperonyme ou leur hyponyme. Ce sont ces métadonnées qui constituent à grande échelle la taxonomie. Ce système de classement implique qu'une même forme peut être présente dans plusieurs *synset* ; par exemple "blanc" appartient à la fois à l'ensemble regroupant les couleurs et à l'ensemble regroupant les types de vins.

Il existe plusieurs *Wordnet*, mais le premier d'entre eux a été constitué pour la langue anglaise, au sein de l'Université de Princetown (Fellbaum, 1998; Princeton University, 2010). Cette ressource est très précieuse parce qu'en plus de pouvoir être téléchargée, ou consultée en ligne, en interrogeant ou en navigant dans la base de données, des fonctions d'accès à la base ont été programmées dans différents langages. C'est le cas notamment en *Python*, langage pour lequel une bibliothèque de fonctions permet, par exemple, de chercher l'ensemble des *synset* auxquels appartient une forme donnée, ou encore le niveau de relation entre deux *synset* (PythonProgramming, 2016).

Il existe un projet équivalent à *Wordnet*, développé pour la langue française, nommé *Wolf* (Wordnet Libre du Français) et développé par Sagot et Fišer (2008). Ce projet n'était malheureusement pas encore suffisamment abouti pour être utilisé de façon fiable comme ressource par LICl lorsque j'ai commencé son développement.

Les relations entre les formes du texte, telle que les relations de synonymie, antonymie, hyperonymie, hyponymie, méronymie, holonymie ... peuvent toutes être utilisées pour créer des liens entre elles afin de dégager plus facilement le thème général du texte, mais aussi afin de regrouper des termes similaires entre eux, comme on le fait avec la lemmatisation, et d'augmenter leurs poids dans le calcul des phrases-clés.

Il est aussi intéressant de faire appel à des ressources extérieures afin d'identifier des noms propres, ceux-ci jouant souvent un rôle important dans un texte. C'est cette idée qui avait amenée Kupiec et al. (1995) à s'intéresser à l'influence de la présence de majuscules dans l'importance des phrases. Pour repérer les noms des personnes uniques auxquelles le texte fait référence ou encore pour détecter des structures spécifiques telles que des dates ou des

lieux, il est possible de s'appuyer sur des grammaires formelles. Il existe aussi des algorithmes spécifiques développés pour la détection des entités nommées.

Enfin, l'algorithme peut être amélioré en considérant des expressions entières plutôt que des mots-clés. C'est ce que j'ai défini précédemment comme des termes-clés. Ceux-ci pourront être déterminés par une recherche des cooccurrences dans le texte. L'algorithme pourra ensuite choisir si deux graphies fortement cooccurrentes doivent être considérées comme un seul et même terme-clé ou non. En étendant cette recherche à une fenêtre plus grande, de 5 ou 6 mots, il est aussi possible de détecter des associations entre plusieurs graphies qui ne constituent pas pour autant un seul terme-clé, cette information peut avoir une importance à jouer dans la pondération des phrases ou alors dans l'établissement des relations entre les termes-clés. Je reviendrai sur ce dernier problème dans le point 8.3.

Si l'un des objectifs du LICl était de produire un résumé automatique du texte, la fonction principale est de générer une carte à partir du texte, et, pour cela il est utile de se concentrer sur la tâche d'extraction des mots-clés.

8.2.2. Extraction de mots-clés et termes-clés

L'extraction de mots-clés est une tâche dont les applications sont plus larges que le résumé automatique de texte. Elle a été notamment très étudiée dans le domaine de la Recherche d'Information (RI ou encore *Information Retrieval* en anglais) et plus particulièrement par la communauté qui s'intéresse à la fouille de textes (qui peut être appelée extraction de connaissances ou *text mining*). Les études sur cette tâche s'articulent autour de plusieurs domaines comme le TAL, l'Intelligence Artificielle ou encore les statistiques. Afin de réaliser la tâche d'extraction de mots-clés, les méthodes les plus populaires s'appuient sur des ressources extérieures au document traité. C'est par exemple le cas de la méthode TF-IDF ou de la méthode Okapi. Il existe également des méthodes dont les calculs passent par la construction de vecteurs, comme LSA, HAL ou RRI. Bien que ces méthodes n'aient pas été appliquées directement dans le projet LICl, il est nécessaire de se pencher sur leurs mécanismes qui ont pu inspirer mes travaux ou seront utiles à la poursuite des recherches sur le même sujet à l'avenir. Enfin, une dernière famille de méthodes permet d'organiser les termes d'un texte sous forme de graphe, comme par exemple la méthode PageRank. Ce procédé s'approche davantage de l'objectif de l'algorithme du LICl. Chacune de ces méthodes est généralement appliquée après un prétraitement.

8.2.2.1. Prétraitements

Quelques opérations sont généralement effectuées avant l'application d'une méthode de pondération des graphies :

- Le nettoyage des caractères spéciaux (tels que les signes mathématiques) ;
- La segmentation du texte par phrases (par exemple avec la fonction `punkt` de *NLTK*) ;

- L'identification des unités complexes (par exemple en utilisant le LEFFF (Benoit Sagot, 2010)) ;
- L'étiquetage des graphies suivant leurs catégories grammaticales (par exemple avec Stanford pos tagger, Tree Tagger ou encore Melt).

Tree Tagger (Schmid, 1994) est un étiqueteur morphosyntaxique (tâche qui est appelée *pos tagging*, pour *part of speech tagging*, en anglais). Des versions de cet outil existent pour de nombreuses langues dont l'anglais et le français. Il est capable de segmenter un texte en graphie et de déterminer la catégorie grammaticale de chaque graphie. L'algorithme pour choisir l'étiquette adéquate utilise deux données : la morphologie de la graphie elle-même et les étiquettes attribuées aux n graphies précédentes (usuellement $n = 3$). A partir de ces données, un arbre de probabilités, construit par entraînement sur de larges corpus, est consulté pour prendre une décision.

Melt (Denis & Sagot, 2010) est un autre étiqueteur morphosyntaxique, pour la langue française. Son fonctionnement est assuré à la fois par un système de règles et par des calculs statistiques. La particularité de Melt est d'exploiter le contexte à droite de la graphie à étiqueter. De plus, l'outil est capable d'étiqueter des textes non-standard, lorsqu'on lui fournit un corpus d'entraînement type : comme les textes issus des échanges en ligne, qui comportent des abréviations, des néologismes, etc... Il permet d'obtenir une précision de plus de 97% lorsqu'il est appliqué à un type de texte similaire au type de son corpus d'entraînement.

D'autres prétraitements sont possibles, comme des analyses morphologiques telles que la lemmatisation ou le *stemming*. Ce dernier est toutefois souvent jugé trop agressif pour la tâche d'extraction de mots-clés car il comporte un grand risque de perte d'information.

8.2.2.2. Pondération des termes

La pondération des termes peut être effectuée en se référant à une méthode unique tout comme en s'appuyant sur un ensemble de critères de sélections. Il est soit possible d'enchaîner ces critères de sélection, les uns après les autres, dans un ordre déterminé, soit d'attribuer pour chaque terme un score selon son importance suivant chaque méthode de sélection et d'additionner les scores obtenus (éventuellement pondérés) pour obtenir la liste finale de termes-clés. Voici quelques critères souvent employés (voir notamment Hamon, 2012) :

- La fréquence du terme dans le document ;
- La position de la 1^{ère} occurrence du terme ;
- La présence du terme en début ou en fin de document ;
- Le score de TF-IDF calculé pour le terme (voir le point suivant pour ce calcul).

D'autres critères permettent au contraire d'éliminer des termes candidats ou de les assembler :

- La suppression des termes étiquetés comme adjectifs ;
- La prise en compte de l'inclusion lexicale (par exemple, si le terme « résumé » et le terme « résumé automatique » sont tous les deux très fréquents, on conserve uniquement « résumé automatique » pour la liste des termes-clés) ;
- Le regroupement des termes en fonction de leur forme canonique (ce qui peut être simplement une mise au singulier, ou encore la lemmatisation ou le stemming, en fonction de ce qui a déjà été fait lors des prétraitements et de la précision souhaitée).

Avec tous ces critères de sélection, il est aussi possible, plutôt que de pondérer les termes selon chaque critère de suivre le principe de *Boosting* (Claveau & Raymond, 2012; Sebastiani, 2002). Suivant cette idée, on détermine un ensemble de descripteurs (par exemple parmi la liste que j'ai proposée ci-dessus) et chacun de ces descripteurs « vote » pour élire ou non un terme en tant que terme-clé. Cette assemblée de descripteurs peut bien sûr être modifiée ou entraînée afin d'être adaptée au type de document traité.

Le logiciel libre *Weka* (Hall et al., 2009), propose encore un autre système de vote pour déterminer les termes-clés. Ce système est semblable à l'idée que j'ai évoquée plus haut puisque le score d'un terme est la somme des inverses de ses rangs selon le classement établi par chaque outil de sélection. Ce logiciel fait appel à un ensemble d'outils complets, à condition qu'ils soient capables de proposer une liste de termes-clés classée en sortie. Ces outils sont appelés classifieurs. *Weka* en contient une cinquantaine que l'utilisateur peut sélectionner, ou non, et paramétrer (Gotti, Langlais, Lapalme, Charest, & Brunelle, 2012).

Je note que la méthode de classement de *Weka* peut très bien être utilisée avec une liste de critères basiques, permettant de déterminer un classement des meilleurs termes, plutôt qu'avec des logiciels. Cependant en additionnant les rangs, et non les scores, selon chaque critère, cela revient à normaliser les critères, comme si on les avait pondérés dans le but de les rendre équitables. Si l'on veut conserver une pondération inéquitable, pour donner plus d'importance à certains critères, mais sans avoir à normaliser les échelles de scores des critères, la meilleure solution est probablement d'utiliser la somme des inverses des rangs, tout en multipliant chacun d'eux par le facteur de pondération souhaité.

Il existe aussi des outils capables de réaliser un ensemble de prétraitements et de calculs afin de proposer directement une liste de termes candidats à partir d'un document. C'est le cas de *TermoStat* (Drouin, 2003). Cet outil comprend trois phases de traitement. Une première phase de segmentation, de lemmatisation et d'étiquetage est réalisée grâce à *TreeTagger*. Ensuite des expressions régulières traitant les graphies, leurs lemmes et leurs étiquettes, permettent d'extraire les graphies et les ensembles de graphies pouvant être des termes (Claveau & Raymond, 2012). Enfin, un score est associé à chaque terme candidat en comparant sa fréquence d'apparition dans le texte avec sa fréquence d'apparition moyenne dans les textes d'un grand corpus généraliste, construit à partir d'articles de journaux. Cette

comparaison entre fréquence dans le texte étudié et fréquence dans un corpus de référence fonctionne sur le même principe que les méthodes TF-IDF et Okapi.

8.2.2.3. TF-IDF et Okapi

Le TF-IDF d'un terme est un critère d'évaluation très utilisé pour la tâche d'extraction de mots-clés (Bossard, Génereux, & Poibeau, 2009; Claveau & Raymond, 2012; Das & Martins, 2007; Erkan & Radev, 2004; Hamon, 2012; Savoy & Abdou, 2006; etc.). TF-IDF, pour *Term Frequency-Inverse Document Frequency*, est une technique de calcul dont l'objectif est de déterminer l'importance d'un terme donné dans un document en s'appuyant à la fois sur son nombre d'occurrences dans le document et sur sa fréquence d'apparition dans un corpus de documents de référence. Ce corpus doit être suffisamment grand et il peut contenir des documents plus ou moins spécialisés suivant une thématique commune. Cette méthode est inspirée de l'article de Spärck Jones (1972) qui traite des notions d'exhaustivité et de spécificité d'un document vis-à-vis d'une collection de documents.

L'idée derrière cette méthode est de tenir compte à la fois de la fréquence d'un terme dans un document mais aussi de sa rareté dans le corpus. Si un terme est très fréquent dans un document mais qu'il l'est dans tout le corpus, il risque d'être peu discriminant et peu représentatif du document en question. *A contrario*, moins un terme est fréquent dans le corpus, plus sa fréquence dans le document est significative. Cette méthode est surtout utilisée par des moteurs de recherche pour apprécier la pertinence d'un document en fonction des critères de recherche, donc des termes saisis par l'utilisateur.

Pour obtenir le score d'un terme avec TF-IDF, il est nécessaire de se référer à deux formules statistiques : l'une permettant de calculer le TF, donc la fréquence d'un terme dans le document traité, et l'autre permettant de calculer l'IDF, donc l'inverse de la fréquence du terme dans le corpus de référence. Il existe plusieurs variantes de calcul pour l'IDF comme pour le calcul du TF. Généralement, le mot "fréquence" désigne, dans le contexte du TF-IDF, simplement le nombre d'occurrences d'un terme dans un document. On peut parler de "fréquence brute" lorsque qu'on utilise directement le nombre d'occurrences d'un terme comme valeur de TF. Toutefois, il est aussi possible d'utiliser une formule plus complexe pour calculer le TF, ou encore, de simplement utiliser les valeurs 1 et 0, selon que le terme est présent ou non dans le document.

Voici un exemple d'implémentation pour l'IDF d'un terme, noté « q_i », il s'agit de l'une de celles proposées sur l'article en anglais de Wikipédia (2013) :

$$\text{IDF}(q_i) = \log \frac{N - n(q_i) + 0.5}{n(q_i) + 0.5}$$

Sachant que N est le nombre de documents contenus dans le corpus de référence, et que $n(q_i)$ représente la fréquence documentaire, c'est-à-dire le nombre de documents contenant

le terme « q_i ». Le score TF-IDF est ensuite calculé en multipliant les résultats obtenus pour le TF et pour l'IDF.

Ainsi, si l'on imagine un exemple où le terme A apparaît 25 fois dans le texte traité et qu'il apparaît dans 35 des 90 textes du corpus de référence, la valeur de TF-IDF (en prenant la fréquence brute comme valeur de TF) serait la suivante :

$$tf \times Idf (A) = 25 \times \log \frac{90-35+0.5}{35+0.5} = 4.85$$

Tandis qu'un terme B moins fréquent dans le texte mais presque absent du corpus, qui apparaîtrait 5 fois dans le texte, mais dans seulement 3 textes du corpus, aurait le score suivant :

$$tf \times Idf (B) = 5 \times \log \frac{90-3+0.5}{3+0.5} = 6.99$$

Cet exemple de calcul du TF-IDF illustre bien le fait qu'un terme rare dans le corpus n'a pas besoin d'apparaître beaucoup dans le document traité pour obtenir un meilleur score final.

La méthode *Okapi* ou plus précisément *Okapi BM25* est fondée sur le même principe que TF-IDF mais intègre quelques évolutions. La principale différence étant que les calculs sont indexés sur la longueur du document traité afin de normaliser le rapport entre la fréquence d'un terme dans le document et sa fréquence dans le corpus. Autrement dit, plutôt que de considérer « le terme t est présent n fois dans le document », il sera considéré « le terme t est présent n fois dans un texte de longueur l », afin de comparer la fréquence d'un terme en rapport à un nombre de graphies. *Okapi* est en fait le nom du premier système utilisant cette méthode, et BM25 le nom de la méthode elle-même (Claveau, 2012), elle a été conçue par Robertson, Walker, Jones, Hancock-Beaulieu et Gatford (1995).

Voici un exemple d'implémentation, proposée par Claveau (2012), pour le calcul d'*Okapi BM25* :

$$\begin{aligned} w_{BM25}(t, d) &= TF_{BM25}(t, d) * IDF_{BM25}(t) \\ &= \frac{tf(t, d) * (k_1 + 1)}{tf(t, d) + k_1 * (1 - b + b * dl(d)/dl_{avg})} * \log \frac{N - df(t) + 0.5}{df(t) + 0.5} \end{aligned}$$

Dans cette formule, t est le terme dont on calcule le score ; $tf(d,t)$ est la fréquence brute du terme t dans le document traité d ; $df(t)$ est la fréquence documentaire de t ; N est le nombre de document contenu dans le corpus ; $dl(d)$ est la longueur du document traité d, en nombre de graphies ; et dl_{avg} (*document length average*) est la longueur moyenne en graphies des documents du corpus. k_1 et b sont des constantes dont les valeurs usuelles sont :

- k_1 appartient à $[1,2;2,0]$
- $b = 0,75$

En reprenant l'exemple précédent et en posant une longueur du document traité de 812 graphies et une longueur moyenne des documents du corpus de 930 graphies, on obtient les scores suivants :

$$w_{BM25}(A,d) = \frac{25 \times (2+1)}{25+2 \times (1-0.75+0.75 \times \frac{812}{930})} \times \log \frac{90-35+0.5}{35+0.5} = 0.54$$

$$w_{BM25}(B,d) = \frac{5 \times (2+1)}{5+2 \times (1-0.75+0.75 \times \frac{812}{930})} \times \log \frac{90-3+0.5}{3+0.5} = 3.08$$

Encore une fois, le terme B obtient un meilleur score que le terme A, mais avec un écart encore plus significatif.

La méthode *Okapi BM25* est beaucoup utilisée en Recherche d'Information et elle était toujours considérée comme performante (état de l'art) récemment (Claveau, 2012).

8.2.2.4. LSA, HAL et RRI

Une autre famille de méthode de calcul des termes-clés est utilisée par la communauté en Recherche d'Information. Il s'agit des méthodes vectorielles. Leur objectif est de mesurer la similarité sémantique entre les éléments d'un texte.

La stratégie de ces méthodes consiste à construire des vecteurs uniques qui vont caractériser chacun des éléments du texte. Il peut s'agir d'un vecteur pour chaque terme, un vecteur pour chaque phrase ou même d'un vecteur représentant le texte entier. Il existe différentes façons de générer ces vecteurs, à partir de matrices construites par parcours du document traité, selon la méthode choisie. Une fois ces vecteurs déterminés, en les comparant deux à deux, par exemple avec un calcul du cosinus, on obtient une valeur de similarité. Cette valeur permet de choisir, par exemple, les phrases-clés. En effet, chaque phrase ayant un vecteur associé, le texte ayant un vecteur qui lui est associé également, plus la similarité est forte entre le vecteur d'une phrase et celui du texte, plus la phrase peut être considérée comme clé.

Pour la méthode LSA (*Latent Semantic Analysis*) pour Analyse Sémantique Latente (Dumais, Furnas, Landauer, Deerwester, & Harshman, 1988), une matrice terme/document est construite, dans laquelle chaque cellule (i,j) contient la fréquence d'un terme i dans une unité de contexte j, qui peut être une phrase, un paragraphe, un texte... (Ghali, Hromada, & Ghali, 2012).

Pour la méthode HAL (*Hyperspace Analogue to Language*), présentée dans l'article de Lund et Burgess (1996), une fenêtre flottante de n graphies est définie. Elle est déplacée en prenant pour centre chaque graphie du corpus, une à une, et une matrice graphie/graphie est alors construite, avec pour valeur de chaque cellule (i,j) la fréquence de cooccurrence

entre les graphies i et j (Ghali et al., 2012). C'est-à-dire que si deux graphies i et j sont x fois dans une même fenêtre de taille n , la valeur de la cellule (i,j) de la matrice sera x .

Que ce soit avec LSA ou avec HAL, on utilise une méthode mathématique de décomposition des matrices en vecteurs. Ces vecteurs peuvent être ensuite comparés pour déterminer la similarité entre les éléments, comme je l'ai expliqué plus haut.

Pour la méthode RRI (*Reflexive Random Indexing*), le processus est assez différent puisque des vecteurs vont être d'abord générés aléatoirement, puis ils vont être utilisés pour modifier d'autres vecteurs au fur et à mesure du parcours des documents du corpus. Cette méthode permet de faire ressortir des connexions implicites, entre plusieurs termes qui n'apparaissent pas forcément dans un même document (Cohen, Schvaneveldt, & Widdows, 2010). Au lieu d'associer des termes fréquemment cooccurrents, c'est le contexte d'apparition des termes qui va déterminer leur proximité sémantique. Ici, ce contexte sera à l'échelle d'un document entier, et l'évaluation de similarité a lieu au sein d'un corpus. L'algorithme de fonctionnement de RRI, détaillé dans l'article de Ghali et al. (2012), est le suivant :

- Une matrice M_1 de dimension $(d \times n)$, contenant des vecteurs index est générée. Ces vecteurs index sont générés aléatoirement appelés « vecteurs creux ». Les dimensions sont : d , le nombre de documents du corpus et n , le nombre de dimensions choisies.
- Une matrice M_2 de dimension $(t \times n)$, contenant des vecteurs termes est créée. t représente le nombre de termes différents dans le corpus et n , toujours le nombre de dimensions déterminé précédemment (Les vecteurs termes sont initialisés avec des valeurs nulles pour débiter la construction de l'espace sémantique).
- Pour chaque document du corpus, à chaque fois qu'un terme T apparaît dans un document D , le vecteur index de D est ajouté au vecteur terme T .
- Plusieurs cycles de ces trois étapes sont répétés, itérativement. Grâce à cette répétition les vecteurs créés convergent et l'aspect aléatoire de la génération des vecteurs est compensée.

Au final, on obtient des vecteurs termes très proches pour les termes qui apparaissent dans des contextes similaires.

Ces méthodes sont assez poussées au niveau de leur mécanisme de fonctionnement mathématique et peuvent sembler assez opaques et incompréhensibles. C'est particulièrement le cas de la méthode RRI, avec ses vecteurs vides et ses vecteurs aléatoires, qui ne semblent avoir aucune base concrète et aucune signification linguistique, alors qu'ils doivent représenter le sens d'un terme ou le sens d'un texte. Il est beaucoup plus simple de les envisager au travers d'une métaphore. Ainsi, pour la méthode RRI, si l'on imagine des objets avec des valeurs concrètement observables à la place des vecteurs, comprendre son fonctionnement devient plus simple.

Admettons que les vecteurs sont des pots de peinture. Au départ de l'algorithme, les textes sont représentés par des pots de peinture dont la couleur a été choisie aléatoirement. Par exemple : le texte 1 est représenté par un pot de peinture bleue, le 2 par un pot de peinture jaune, le 3 par un pot de peinture blanche, le 4 par un pot de peinture rouge, etc... Concernant les termes, ils sont représentés par des vecteurs aussi, mais des vecteurs vides, donc des pots de peinture vides. Ce que fait l'algorithme c'est que chaque texte est parcouru et qu'à chaque fois qu'un terme est trouvé dans un texte, une goutte de la couleur du pot de peinture du texte en question est ajoutée dans le pot du terme. A la fin du parcours de tous les textes, un terme qui n'a été rencontré que dans les textes 1 et 2 sera donc représenté par un pot contenant une teinte de vert. Un autre terme qui n'aura été rencontré que dans les textes 1 et 2 sera également représenté par un pot contenant du vert, d'une teinte légèrement différente selon la fréquence du mot dans les deux textes. Un troisième mot qui aura été rencontré dans les textes 1, 2 et 3, sera lui représenté par un vert plus clair, mais sera toujours plus proche des deux premiers termes qu'un autre terme rencontré dans les textes 1 et 4 (et donc représenté par du violet). Ainsi, on obtient des représentations (ici des couleurs, mais dans l'algorithme des vecteurs) pour chaque terme qui permettent à la fois de connaître par observation le texte dont ils sont le plus proche, mais aussi les autres termes dont ils sont le plus proche. De plus, la récursivité de l'algorithme va permettre de fiabiliser les résultats, puisque l'on reprend l'opération avec d'autres valeurs de vecteurs (couleurs) et qu'on observe à nouveau le résultat. De la même manière, augmenter le nombre de dimensions va rendre les calculs plus longs mais permet d'obtenir des résultats plus fiables. Dans ma métaphore, cela revient à ce que chaque texte soit représenté, par exemple, par deux pots de peintures différents et qu'il en soit de même pour les termes. Chaque rencontre d'un terme dans un texte vaudrait ajout de la première couleur du texte dans le premier pot du terme et de la deuxième couleur respectivement dans le deuxième pot, sans mélanger les deux dimensions. Ainsi, le sens final serait représenté par un ensemble de pots de couleurs différentes, permettant donc de plus grandes nuances entre deux éléments (termes ou textes) et donc une plus grande précision.

Evidemment, ce n'est qu'une métaphore, les couleurs ne se mélangent pas toutes strictement avec la même fluidité et certaines vont avoir un impact plus important sur l'une ou l'autre, alors que l'addition de vecteurs mathématiques est régulière et homogène, par définition. De même, effectuer cette démarche avec des couleurs serait rapidement limité par le spectre de couleurs visiblement différentes disponibles, tandis que les nombres distincts pouvant être entrés comme valeur dans un vecteur sont infinis.

D'après (Cohen et al., 2010), qui a évalué la méthode sur un corpus de document spécialisé en biomédecine et sur un corpus généraliste, RRI permet d'obtenir des résultats équivalents à la méthode LSA, en ayant une complexité de calcul plus faible et donc réalisable en un temps moindre sur des machines moins performantes.

8.2.2.5. PageRank, dérivés et cooccurrences

Les méthodes telles que PageRank (Page, Brin, Motwani, & Winograd, 1998), LexRank (Erkan & Radev, 2004) et TextRank (Mihalcea & Tarau, 2004) ont pour objet de construire un graphe et d'en déterminer les éléments clés en utilisant le concept de centralité.

PageRank est une méthode établie pour calculer la centralité d'une page web. Le principe de l'algorithme est de construire un graphe où chaque sommet (ou nœud) du graphe est une page web et chaque arête (ou lien) entre deux sommets représente un lien hypertexte existant entre les deux pages. Pour déterminer la centralité d'une page, le graphe est parcouru de façon aléatoire et plus un nœud est visité, plus la page qu'il représente est considéré comme centrale. Cet algorithme est connu pour être le principe fondateur du fonctionnement du moteur de recherche de *Google* (Page et al., 1998). Evidemment en ce qui concerne le moteur de recherche, des modifications sont régulièrement effectuées sur l'algorithme, notamment pour éviter que la multiplication de références locales d'un site à un autre ne permette de gonfler l'importance de sites qui seraient peu cités dans le réseau global. Les concepts de base de PageRank sont utiles pour certaines tâches en Recherche d'Information, et certains dérivés ont pour objectif l'extraction de phrases-clés ou de termes-clés, comme LexRank et TextRank.

Dans la méthode LexRank, les phrases du texte traité sont représentées dans un graphe par les sommets et les arêtes représentent le niveau de similarité entre ces phrases. La similarité entre les phrases est déterminée par une mesure de cosinus entre leurs scores respectifs, le calcul de ceux-ci s'appuie sur les termes communs et les valeurs d'IDF (Erkan & Radev, 2004). Le niveau de centralité des phrases est ensuite calculé. Il existe différentes approches pour procéder à ce calcul, comme celle du parcours aléatoire utilisée par PageRank par exemple. La phrase la plus centrale peut aussi être déterminée en s'appuyant sur le TF-IDF des termes qui la composent (Erkan & Radev, 2004). Selon Bossard et Rodrigues (2012), cette méthode est efficace pour déterminer la phrase la plus représentative du texte, mais elle ne convient pas pour sélectionner un ensemble de phrases afin de former un résumé puisque la diversité des informations du texte n'est pas suffisamment prise en compte. Cependant cette méthode est intéressante dans le cadre du résumé multi-document, afin de repérer la redondance entre les phrases similaires sélectionnées dans plusieurs textes différents, et d'ensuite éliminer celles qui contiennent le moins d'informations (Bossard et al., 2009). LexRank est présentée comme un dérivé de PageRank, permettant d'obtenir de bons résultats pour extraire les phrases les plus importantes d'un texte, tout en évitant la sur-généralisation.

La méthode TextRank, est elle aussi une adaptation de l'idée de PageRank appliquée aux tâches de sélection des phrases-clés et d'extraction de termes-clés. Pour l'extraction de termes-clés, un graphe est construit pour chaque document traité, les nœuds de ce graphe sont des graphies qui sont connectées en fonction de leurs relations de cooccurrences. La fenêtre autour d'une graphie à l'intérieur de laquelle une autre graphie est considérée

comme cooccurrence peut être réglée de 2 à 10 graphies (Mihalcea & Tarau, 2004). Par défaut toutes les graphies du document sont des nœuds du graphe, mais celles-ci peuvent être sélectionnées par un prétraitement, par exemple *via* un étiqueteur de catégorie grammaticale, afin de filtrer certaines catégories. D'après Mihalcea et Tarau (2004), les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les graphies retenues pour tracer le graphe à la suite du prétraitement sont seulement les noms et les adjectifs. Une fois ce graphe construit avec les graphies filtrées et les liens de cooccurrences tracés, une méthode de calcul de centralité est appliquée. Une valeur initiale de 1 est associée à chaque nœud. Le score de chaque graphie est ensuite incrémenté grâce à un système de vote : chaque nœud compte comme votant pour tous ses voisins. Le nombre de votes obtenu par un nœud détermine la nouvelle valeur de ce nœud. Puis, ce procédé est appliqué récursivement, et à chaque cycle le vote d'un nœud compte pour le nombre de votes correspondant à sa nouvelle valeur plutôt que pour 1.

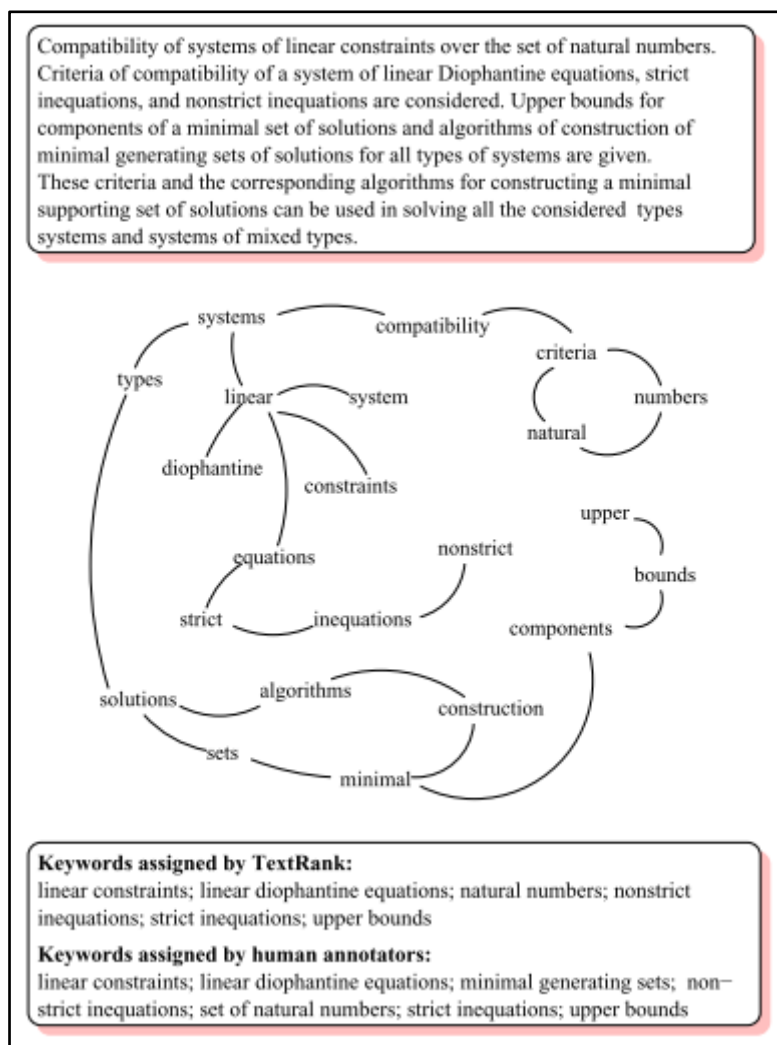


Figure 8.3 Illustration de la méthode TextRank appliquée à un texte court pour la tâche d'extraction des termes-clés, extraite de l'article de Mihalcea et Tarau (2004).

Ainsi, au bout d'un certain nombre de répétitions, les nœuds centraux du graphe se retrouvent avec un score très grand tandis que les feuilles du graphe conservent des scores faibles. Une fois le score de chaque graphie défini, un post traitement permet de déterminer des termes-clés. Si deux graphies obtiennent un score suffisamment important pour être sélectionnées et qu'elles sont directement accolées à un endroit du texte, elles sont réunies en un seul terme. La Figure 8.3 est une illustration de la méthode TextRank. Elle présente le texte de départ, en haut, le graphe obtenu, puis la liste des termes-clés extraite par la méthode et enfin, en comparaison, la liste des termes-clés extraite manuellement par un spécialiste.

Selon les tests effectués par Mihalcea et Tarau (2004), le TextRank obtient des résultats en précision et en F-mesure supérieurs aux systèmes de références de l'époque (les 5 meilleurs systèmes présentés à la *Document Understanding Conference* en 2002).

D'après (Boudin & Hernandez, 2012), les résultats de la méthode TextRank ne sont pas forcément intéressants pour la tâche d'extraction des mots-clés dans un article scientifique. Dans leur expérimentation, un défi de fouille de texte dont l'objectif est de trouver la meilleure méthode pour extraire automatiquement les mots-clés d'articles scientifiques en se référant à des listes établies manuellement par des experts, de meilleurs résultats sont obtenus avec la méthode TF-IDF, pourtant plus ancienne et plus simple à mettre en place.

D'autres méthodes similaires existent, qui s'appuient davantage sur les relations entre les termes. C'est le cas de celle présentée dans l'article de Tauveron (2012). La méthode consiste à construire un graphe dont les nœuds sont des termes et leurs liens sont déterminés par leurs relations de cooccurrence. Les liens sont pondérés selon le nombre de cooccurrences entre les termes concernés. Cette construction est précédée d'une segmentation et d'une lemmatisation. Ensuite, comme pour les méthodes précédentes, un algorithme calcule la centralité de chaque terme pour évaluer les termes les plus caractéristiques du texte étudié. L'algorithme choisi est ici celui de « centralité d'intermédiarité ». Le score de centralité d'un nœud N est calculé en comptant le nombre de couples de nœuds (x, y) du graphe pour lesquels N se trouve sur le chemin d'accès le plus court pour relier x à y. Plus ce score est élevé, plus le terme peut être considéré comme clé. De plus, l'intérêt de cette étude est qu'en construisant un réseau de termes de façon incrémentale, Tauveron (2012) montre aussi la dynamique de construction du sens dans le texte. D'après ses résultats, observés sur 20 textes courts et 20 textes longs, les réseaux de cooccurrences entre les termes se construisent progressivement dans la première partie d'un texte avant de se stabiliser pour n'évoluer que très peu dans la deuxième partie.

8.2.3. Usages pour la remédiation

J'ai passé en revue de nombreuses méthodes permettant le résumé automatique de texte et l'extraction de termes-clés. L'originalité du projet LICI réside particulièrement dans

l'application de ces méthodes dans le contexte de l'aide à la compréhension de texte. Cependant, si cet objectif spécialisé est original, d'autres études se sont déjà portées sur l'usage de telles méthodes pour l'aide aux lecteurs en difficulté.

Landaeur et Psotka (2000) ont exploré les applications de LSA dans le domaine de l'aide à l'apprentissage, à travers le commentaire de neuf articles. Les auteurs ont expérimenté des outils permettant, par exemple dans l'une des études, de soutenir la rédaction de résumé de documents en détectant les termes-clés qui n'ont pas été repris par l'apprenant, en corrigeant ses fautes et en jugeant de la bonne longueur de son résumé vis-à-vis de la taille du texte de départ. De plus, les résumés sont rédigés dans un environnement dédié, qui propose des rétroactions sous forme de graphique. Les apprenants ont des meilleurs résultats avec ce système qu'en utilisant un traitement de texte classique avec l'aide d'un professeur et ils passent plus de temps à travailler dans cet environnement dédié. De manière générale, dans les neuf études, les systèmes fondés à partir de LSA ont permis de soutenir efficacement les apprenants dans leurs tâches d'extraction d'information et de rédaction, mais aussi d'évaluer leurs travaux.

Landaeur et Psotka (2000) concluent que les méthodes qui s'appuient sur des modèles mathématiques, telles que LSA, manquent probablement de prise en compte du contexte pour interpréter le sens des mots. En effet, ces systèmes ignorent à la fois la construction du sens des mots qui est produite précédemment, tout au long de l'expérience linguistique du lecteur, à l'extérieur du texte traité, mais aussi la grammaire et la syntaxe pour finalement réduire le sens du texte à une juxtaposition de mots, au sein d'une structure : titres et sous-titres/paragraphes/phrases. Cependant, selon Landaeur et Psotka (2000), si les résultats obtenus par ces systèmes dans les tâches de représentations du sens d'un texte sont si proches de ceux obtenus par des humains, c'est probablement parce que le traitement du texte par le cerveau humain est proche de celui du programme : une addition des sens des mots rencontrés afin de déterminer un sens global.

Petersen et Ostendorf (2007) se sont intéressés aux outils de résumé automatique dans un contexte plus spécifique, celui des apprenants en langue seconde. Selon eux, le résumé automatique par extraction est intéressant mais ne permet pas d'effacer tous les problèmes rencontrés par les lecteurs en difficulté car les phrases sélectionnées sont souvent complexes et contiennent beaucoup de vocabulaire. La simplification de texte, par exemple le remplacement automatique de mots de vocabulaire ou encore le découpage de certaines propositions, est une approche adaptée. Petersen et Ostendorf (2007) proposent de l'appliquer à la suite d'un outil de résumé automatique, pour obtenir un texte plus facile d'accès pour des lecteurs de tout niveau. Afin de créer un futur outil combinant extraction et simplification automatique, Petersen et Ostendorf (2007) ont parcouru un corpus de résumés simplifiés écrits à la main et les ont comparés aux textes de départ pour en dégager les règles de constructions. Ils ont calculé par exemple, pour chaque phrase éliminée : sa position dans le document, son pourcentage de mots grammaticaux contenus, le numéro de

paragraphe, la position du paragraphe (premier ou dernier, par exemple), la présence d'une citation dans la phrase, etc... D'après leurs résultats la position, la présence d'information redondantes, la longueur et la syntaxe de la phrase sont les éléments à considérer pour savoir si la phrase doit être éliminée.

Margarido et al. (2008) ont étudié plus spécifiquement l'apport d'un outil de résumé automatique de texte pour les apprenants en difficulté de lecture. Le public de leur expérimentation est constitué de lecteurs de niveau très faible, dans le contexte particulier du Brésil où une grande partie de la population manque d'accès à l'éducation, mais l'outil de simplification de texte utilisé (nommé Text Simplification) est aussi destiné aux personnes souffrant de troubles du langage. Avant d'appliquer la simplification de texte, Margarido et al. (2008) ont comparé les résultats de quatre outils de résumé automatique de texte en portugais et en ont sélectionné un pour l'utiliser en tant que prétraitement. Différentes situations ont été proposées aux apprenants participants à l'expérimentation qui devaient lire un texte et une version simplifiée du texte. Certains ont eu accès au résumé du texte, d'autres au texte avec ses phrases-clés en gras et enfin d'autres avec la phrase la plus importante du texte en gras. Les résultats obtenus sont différents selon le niveau de lecture des participants. Le groupe d'apprenants avec seulement deux ans d'expérience n'arrive pas à lire le texte en entier, le jugeant trop long. Un résultat important est que les participants ayant entre 2 et 5 ans d'expérience de lecture considèrent que les phrases en gras ne simplifient pas la lecture du texte, voire la rendent plus difficile lorsqu'il ne s'agit que de la phrase la plus importante. Par contre, le résumé favorise la lecture pour eux, puisque la compréhension est jugée équivalente pour des efforts de lecture moindres. Enfin, pour les autres participants, plus ils sont expérimentés, plus ils considèrent le texte avec des phrases en gras meilleur pour accéder au sens du texte et moins ils jugent le résumé intéressant, bien qu'il soit considéré par tous comme moins fatigant à lire. Cette expérimentation montre l'intérêt du résumé automatique de texte pour les faibles lecteurs mais met l'accent sur la personnalisation nécessaire au confort de lecture, qui doit être adaptée selon le niveau de chaque utilisateur.

L'étude réalisée par Nandhini et Balasundaram (2011) se concentre directement sur la mise au point d'un outil de résumé automatique à l'intention des dyslexiques. L'outil utilisé est semblable à ceux présentés dans la partie précédente avec une phase de prétraitement (segmentation, tri des mots vides, stemming) et un calcul pour déterminer les mots-clés (TF-ISF, une variante de TF-IDF appliquée à l'échelle d'un document unique où ISF est l'inverse de la fréquence des graphies dans les autres phrases du texte plutôt que dans les autres documents du corpus). Pour évaluer l'efficacité de l'outil de résumé, Nandhini et Balasundaram (2011) ont mis en place une expérimentation. Les participants doivent lire un texte puis répondre à des questions de compréhension simples, ensuite ils ont accès à l'outil de résumé du texte et doivent répondre à nouveau aux questions. Les scores augmentent significativement après que les participants aient utilisé l'outil. Il apparaît cependant que le résumé reste parfois un peu complexe en termes de vocabulaire et que l'application d'un

outil de simplification des phrases serait bénéfique pour la compréhension des lecteurs en difficulté.

Si l'apport des résumés automatiques pour l'aide à la compréhension a déjà été exploré, le projet LICI a pour objectif d'aller plus loin en réalisant un outil où les phrases traditionnellement produites en sortie d'un programme de résumé automatique seront remplacées par une carte, qui sera d'autant plus lisible par le public dyslexique. Cette hypothèse est déjà supportée par de nombreux éléments théoriques présentés dans les premiers chapitres de cette thèse. Il est d'ailleurs possible de citer, par exemple, Cress et Knabel (2003), selon lesquels il a été montré que des structures d'un niveau d'abstraction supérieur aux résumés de textes permettent d'améliorer la compréhension de texte et l'apprentissage :

"Research about text processing provides evidence that advance organisers can support text comprehension and learning. They are short pre-structuring texts containing the central concepts of texts which follow in an abstract and general way. [...] the advance organisers should be different from summaries; whereas summaries are formulated on the same level of abstraction as the text, advance organisers refer to a more general level." (Cress & Knabel, 2003, p. 518)

Dans la partie suivante, je prendrai en compte les différentes méthodes que j'ai présentées précédemment mais aussi toutes les connaissances théoriques des premiers chapitres et les contraintes liées au projet LICI pour expliquer les choix de programmation effectués et le fonctionnement de l'outil réalisé.

8.3. Algorithme du LICI

D'après le cahier des charges de Médialexie, le LICI doit être capable à la fois de produire un résumé en quelques phrases, faisant ressortir le thème et les éléments clés du texte et, aussi, de produire une carte, contenant les termes-clés du texte. La génération de phrases-clés est nécessaire pour proposer une alternative à la sélection de phrases-clés par le logiciel Cordial, qui était déjà présent dans la barre d'outils Médialexie. De plus, le programme doit être rapide, utiliser un minimum de ressources extérieures et être commercialisable sans limitation de licence.

Pour rappel, les textes cibles à traiter sont principalement de deux types. Premièrement, il faut traiter des textes courts, issus de manuels scolaires. Ceux-ci présentent généralement une information répartie uniformément dans le texte et des mots-clés répétés fréquemment en proportion de la taille du texte. Deuxièmement, il faut traiter des articles d'actualité, des textes explicatifs ou des articles d'encyclopédie en ligne. Pour ces derniers, la position des phrases est déterminante, celles contenant le plus d'informations sont généralement situées en début et en fin de texte.

Pour coder le LICl, je me suis appuyé sur les méthodes de base présentées précédemment. Des phrases sont sélectionnées grâce à un système de pondération qui se réfère à la fréquence des mots-clés du texte. Ces mots-clés doivent également être travaillés séparément pour produire des termes-clés, eux même organisés et liés entre eux selon certains critères à déterminer.

8.3.1. Choix de méthode

Le premier choix majeur pour le fonctionnement de l'outil LICl a été de déterminer le type de résumé qui devait être généré. Il s'agit de résumé par extraction et non par abstraction. Ce choix a été fait à la fois par contrainte technique mais aussi et surtout pour respecter les intentions de l'outil final.

Les résumés par abstraction sont assez difficiles à générer car ils nécessitent :

- De construire de nouvelles phrases, donc de faire appel à une grammaire avec un ensemble de règles permettant de vérifier la bonne structuration d'une phrase (ou alors, de créer un système pouvant générer des phrases par apprentissage mais cela demanderait des corpus immenses représentatifs de la langue dans son ensemble) ;
- De reformuler le texte, ce qui demande un ensemble de dictionnaires de synonyme, antonyme, etc... mais aussi un arbre d'ontologie pour pouvoir généraliser ou particulariser l'information, des ressources pour détecter les expressions figées afin de les interpréter correctement pour les reformuler, un système de désambiguïsation des graphies polysémiques (par exemple en passant par un étiqueteur morphosyntaxique), un système de simplification de phrase et pourquoi pas un générateur de périphrases.

Réaliser un tel outil reste envisageable, il est possible de créer un générateur de phrase par règles en s'appuyant sur les études de la communauté *Nooj* par exemple, qui étudie, au travers l'usage du logiciel *Nooj* (Silberztein, 2002-2015), les grammaires génératives dans de nombreuses langues. Pour effectuer les autres traitements et transformations, une combinaison d'outils tels que *TreeTagger* (Schmid, 1994) et *Wordnet* (Princeton University, 2010), et l'apport des études sur la simplification automatique de phrases, rendent la tâche tout à fait réalisable.

Cependant, la plupart des outils utiles pour ce faire, comme c'est le cas de *TreeTagger* et *Nooj*, demandent de suivre certaines restrictions de licence, comme « à l'usage de la recherche seulement » ou « non commercial », qui ne sont pas compatibles avec les contraintes du projet LICl. De plus, la principale différence entre la méthode par extraction et celle par abstraction est de représenter ou non les intentions de l'auteur. L'extraction va se concentrer sur la question « de quoi le texte parle » sans répondre à la question « comment le texte en parle ». Cela peut paraître plus réducteur, mais il s'agit aussi d'une approche plus objective car l'interprétation des intentions de l'auteur peut souffrir de subjectivité. En effet, comme l'a souligné Lunh (1958), un abrégé rédigé manuellement peut

être biaisé par les opinions de son auteur et peut varier énormément selon les personnes le produisant en fonction de leur vécu. Par analogie, il est probable qu'un abrégé produit par un logiciel sera fortement influencé par la structuration et le contenu des ressources linguistiques auxquelles il fait appel ; et éventuellement par son vécu, s'il contient des parties de programme fonctionnant par apprentissage. Ainsi, l'interprétation de l'intention de l'auteur et la question « comment le texte parle des objets abordés » seront toujours sujettes à discussion et le résumé par abstraction comporte le risque de tromper le lecteur.

Dans le contexte du projet LICl, il est à la fois nécessaire d'éviter d'induire en erreur le lecteur, puisqu'il s'agit d'un public pour qui la relecture et le recoupement des informations est long et pénible, mais il est aussi préférable de générer un matériel de soutien permettant d'accéder plus facilement au texte, plutôt qu'un matériel se substituant complètement à celui-ci. En effet, d'une part il n'est pas question d'abandonner complètement la tâche de lecture pour les utilisateurs du LICl, puisque celle-ci est reconnue comme une voie vers une remédiation partielle et d'autre part les utilisateurs de Médialexie sont demandeurs d'un outil qui ne « fait pas tout pour eux ». Il ne faut donc pas dispenser de la lecture du texte, mais l'accompagner, en assurant toujours une possibilité de retour rapide, depuis les éléments générés par l'outil, au texte de départ.

D'après tous ces éléments, l'approche par extraction paraît la solution idéale pour le LICl. Cette extraction doit être soutenue de deux manières. D'une part, le programme doit faire appel aux accommodations en usage dans la barre d'outils Médialexie : accès à la lecture de synthèse, police adaptée aux dyslexiques, accès aux dictionnaires, options de réglages des couleurs, de l'espacement entre les caractères et de l'espacement entre les lignes. D'autre part, il est nécessaire de mettre en place un système d'accès progressif au texte. Les éléments extraits doivent comporter des liens hypertextes permettant de les visualiser à l'écran, entourés de leur contexte d'origine. Par exemple, la liste des phrases contenant un terme-clé peut s'afficher lorsque l'on clique sur celui-ci.

Même si la tâche de lecture du texte complet reste toujours délicate pour les lecteurs en difficulté, la prévisualisation des thèmes leur permet d'anticiper ce qu'ils vont lire et les éléments qui apparaissent dans la carte seront plus vite reconnus et assimilés car ils auront été chargés en mémoire récemment. Au contraire, commencer la lecture d'un texte sans idée de son contenu augmente la charge cognitive (Nandhini & Balasundaram, 2011).

Ce choix de l'approche par extraction étant acté et justifié, il est ensuite important de déterminer les méthodes auxquelles il est judicieux ou non de faire appel au cours de la chaîne de traitement. Certains choix ont été établis au fur et à mesure du développement, d'après des tests effectués sur mon exemplaire et grâce également aux retours de l'équipe de Médialexie.

Il est d'abord évident qu'il faut segmenter le texte en unité. Considérant les objectifs, la segmentation doit être faite en : titre, paragraphes, phrases et graphies. Les termes regroupant plusieurs graphies seront constitués plus tard dans la chaîne de traitement.

Ensuite, des étapes de normalisation et d'étiquetage morphosyntaxique ont été envisagées.

D'après Lunh (1958), la lemmatisation, ou autre forme de normalisation des graphies dont l'objectif est de les regrouper avant de calculer leurs occurrences dans un document, n'est pas nécessairement pertinente. En effet, plus le document est précis et scientifique, comme dans le cas d'un article de recherche, moins un mot a de chance d'avoir été utilisé pour désigner deux notions différentes et moins il y a de chances que deux mots différents aient été utilisés pour faire référence à une même notion. C'est aussi le cas, dans une moindre mesure, pour les textes de manuels scolaires ou le type de textes explicatifs ciblés par le projet. De plus, ces textes étant courts, ils ne présentent pas beaucoup de reprises et de reformulation des termes importants. La normalisation apparaît plus intéressante dans des textes moins scientifiques, comme c'est le cas d'un roman, cependant d'après les tests que j'ai effectués avec les différents algorithmes envisagés pour le LICl, les termes-clés sont alors le plus souvent des noms propres. De façon générale la lemmatisation est surtout intéressante pour les verbes, qui varient beaucoup en formes suivant leur flexion, mais les verbes font d'assez mauvais termes-clés.

Les mots-clés sont donc déterminés, sans regroupement préalable, en fonction de leur fréquence, une fois les mots vides (ou les mots grammaticaux) éliminés. Ensuite, ils sont utilisés pour pondérer les phrases afin de sélectionner les phrases-clés. J'avais envisagé d'utiliser *TreeTagger* pour pouvoir effectuer un tri suivant la catégorie grammaticale attribuée à chaque graphie et ainsi sélectionner par exemple seulement les noms et les adjectifs pour éviter d'avoir à créer une immense liste de mots vides. Cela n'a pas été possible à cause des contraintes en termes de licence, cependant j'ai tout de même codé un programme séparé, toujours en langage *Python*, permettant la colorisation morphosyntaxique d'un texte. Ce programme prend en entrée un texte et renvoie un texte dont les mots sont colorés en fonction des préférences de l'utilisateur définies dans un fichier de paramètres, par exemple les verbes en vert, les noms en bleu, les adjectifs en rouge, etc... L'outil Melt (Denis & Sagot, 2010) aurait pu remplacer avantageusement *TreeTagger* puisque sa licence permet de l'utiliser dans un logiciel commercial sans restriction, mais je manquais d'un corpus type, étiqueté à la main, pour l'entraîner.

Pour déterminer les graphies qui sont regroupées en termes par la suite, j'ai utilisé des fonctions du module de calcul des collocations, disponibles dans la bibliothèque *NLTK* ("Collocations," 2017). L'estimation des meilleures collocations d'un texte se fait en plusieurs étapes. D'abord on détermine la taille de la fenêtre que l'on va déployer autour de chaque graphie du texte pour chercher ses potentielles collocations. Par exemple, il est possible de considérer les trois graphies précédentes et les trois graphies suivantes. Pour une graphie donnée, on va observer à chacune de ses occurrences les graphies présentes dans la fenêtre

choisie. Chacune d'elle est un candidat à la collocation. Il faut alors compter le nombre d'apparition de chaque candidat pour sélectionner les meilleurs. Ensuite, en appliquant des calculs statistiques, il s'agit de déterminer si ce nombre d'apparition est significatif ou autrement dit s'il est supérieur au hasard/à une répartition normale. Cela revient à un test statistique classique qui peut être posé en termes de test d'une hypothèse avec des méthodes tel que le χ^2 , le *PMI (Pointwise Mutual information)* ou encore le *Likelihood-ratio* (appelé en français « rapport de vraisemblance »). Ce dernier test est documenté et disponible dans le module *Collocations* de *NLTK*, c'est donc celui que j'ai choisi d'utiliser.

Une fois la liste des couples de graphies en collocation sélectionnée, il faut vérifier qu'ils apparaissent dans la liste des mots-clés, calculée précédemment, et qu'ils apparaissent juxtaposés dans le texte de façon suffisamment fréquente, pour enfin que ceux-ci soient considérés comme des termes-clés.

L'étape suivante concerne les liens entre les nœuds de la carte, c'est-à-dire la définition des conditions qui déterminent les relations entre les termes-clés. Les liens entre deux termes peuvent être sémantiques, chronologiques, structurels ou encore spatiaux. Chacune de ces possibilités est intéressante selon le contexte d'utilisation et le type de texte traité. Cependant, les liens chronologiques et spatiaux ne sont adaptés que pour des nœuds particuliers, pouvant être organisés entre eux respectivement dans le temps ou dans l'espace (réel). Le choix s'est donc véritablement fait entre les liens sémantiques et les liens structurels.

Des liens sémantiques impliquent que toutes les cartes obtenues à partir de l'outil sont des sortes d'arbres d'ontologies à l'échelle du texte traité. Une fois les termes-clés calculés, il est assez simple de réaliser une telle carte pour les textes en langue anglaise, en utilisant *Wordnet*. En effet, *NLTK* inclut un module *Wordnet* (PythonProgramming, 2016) qui comprend de nombreuses fonctions pour obtenir rapidement des informations sur des graphies et des relations entre deux graphies au sein de l'ontologie générale de la langue. L'une de ces fonctions permet de donner pour deux termes un score de similarité, compris entre 0 et 1, plus le score est élevé, plus le chemin dans l'arbre pour aller du *synset* d'une des graphies à celui de l'autre est court. Par exemple, pour les graphies « dog » et « cat » ce score est de 0.2 tandis que le score entre les graphies « hit » et « slap » par exemple est de 0.142. Il existe d'autres types de scores de similarité dont un qui prend en compte le nombre de parents que chacun des deux *synset* admet entre leur ancêtre commun et lui-même. C'est-à-dire que deux *synset* seront considérés beaucoup plus similaires s'ils sont de même niveau dans l'arbre d'ontologie. Là où, avec des exemples en français, le score entre « félin » et « caniche » se retrouverait amoindri par cette prise en compte du nombre de niveaux parcourus dans l'arbre à partir de leur ancêtre commun, deux graphies telles que « chat » et « chien » vont voir leurs scores augmenter. Ainsi, le score de similarité entre « dog » et « cat » avec cette mesure est de 0.85, tandis qu'il reste seulement de 0.25 entre « hit » et « slap », par exemple. Pour la langue française, je disposais si besoin d'une ontologie

similaire en ressource, programmée par *Cordial* (Synapse Développement, 2016) et des étudiants en informatique, accueillis en stage par l'entreprise Médialexie, avaient travaillé sur l'implémentation de fonctions permettant de parcourir cette ontologie de façon similaire, même si moins complète, au module de *NLTK* pour *Wordnet*.

Toutefois, si une représentation du texte sous forme de graphe avec des relations sémantiques entre les termes est plaisante à regarder, elle n'est pas pour autant plus riche en informations qu'une représentation faisant apparaître les liens structurels. En effet, si l'on a accès à des dictionnaires et/ou que l'on connaît le vocabulaire apparaissant dans les nœuds de la carte, afficher leur liens sémantiques généraux, j'entends ici leur relation usuelle dans la langue, n'apporte aucune information complémentaire sur la carte. Ce type de liens serait simplement redondant avec les connaissances *a priori* du lecteur et/ou du dictionnaire et ne serait en aucun cas spécifique au texte. Ainsi, deux textes dont les thématiques seraient proches amèneraient à la génération de deux cartes très similaires, d'autant plus que l'approche par extraction exclut déjà tout indice sur la manière dont est traité le sujet. Au contraire, une organisation mettant en avant la structure du texte, permet de mieux comprendre le cheminement du texte pour aller de l'un à l'autre de ses termes-clés. De même, des liens construits à partir des relations structurelles entre les termes-clés, comme par exemple leur proximité dans le texte, permettent de comprendre comment sont articulés les thèmes du texte.

La proximité entre deux termes dans le texte peut être considérée à différente échelle. Elle peut être calculée en utilisant la même méthode de détection des cooccurrences que j'ai décrite précédemment pour déterminer les termes-clés, en prenant une fenêtre de graphies avant et après le terme considéré qui serait plus grande. Elle aussi peut être calculée en comptant le nombre de phrases, ou de paragraphes, dans lesquelles apparaissent à la fois l'un et l'autre terme-clé.

C'est donc le choix de faire apparaître sur la carte les liens structurels entre les termes-clés que j'ai fait. De plus, j'ai décidé d'agencer ceux-ci en fonction de leur ordre de première apparition dans le texte. Enfin, j'ai utilisé le nombre de paragraphes communs partagés entre deux termes pour déterminer si un lien les relie mais aussi la valeur de ce lien. C'est à dire que si un terme A et un terme B ne sont jamais présents dans un même paragraphe, aucun lien ne sera tracé sur la carte entre les deux termes. Si, au contraire, on retrouve à la fois le terme A et le terme B dans six paragraphes, par exemple, un lien reliera les deux termes et une valeur de "6" sera associée à ce lien. Cette valeur est mise en relief à la fois par l'épaisseur du lien, plus elle est élevée plus le lien est épais, mais aussi par un code de couleur.

8.3.2. Chaîne de traitement

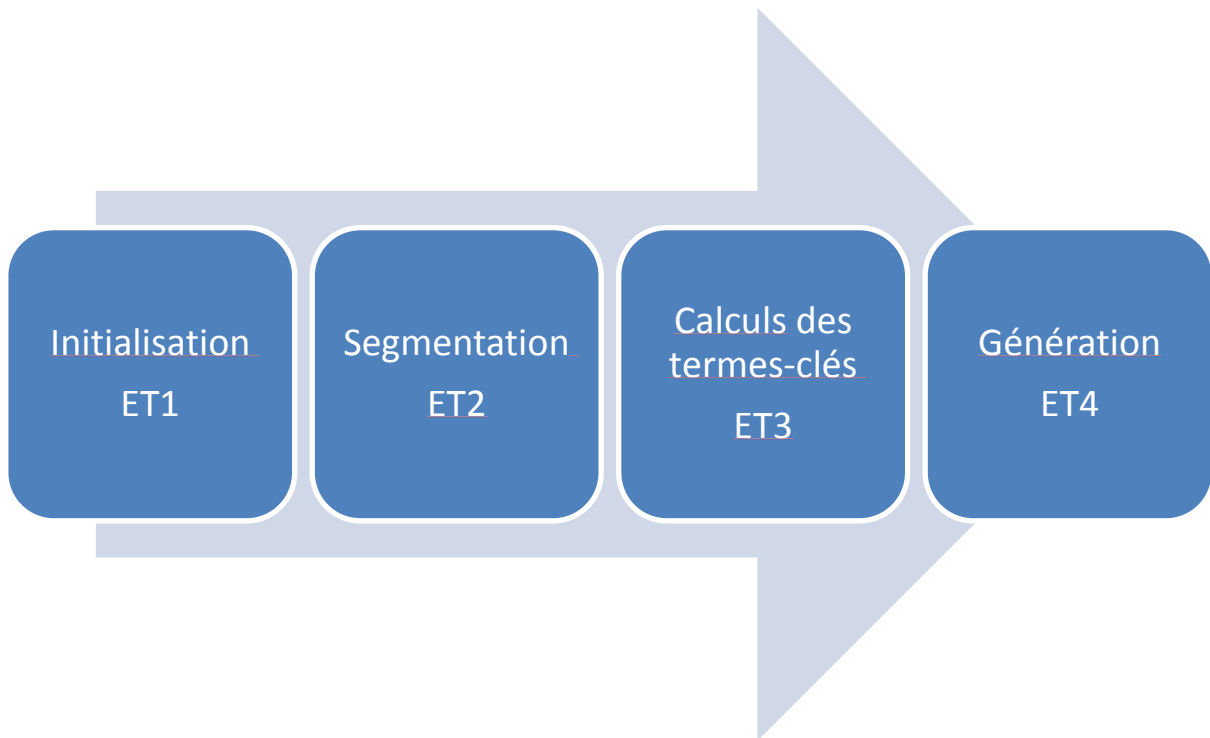


Figure 8.4 Chaîne de traitement du LICI découpée en quatre étapes de traitement principales (ET1, ET2, ET3, ET4)

Après avoir expliqué mes choix de méthode pour l'algorithme du LICI, je présente ici la chaîne de traitement détaillée de celui-ci, à l'aide de schémas. La chaîne de traitement peut être divisée en quatre étapes principales, décrites par la Figure 8.4.

8.3.3. ET1 Initialisation

L'étape 1 est l'initialisation du programme, elle consiste à récupérer toutes les ressources extérieures nécessaires au traitement des données. D'abord, je définis l'encodage du programme, ensuite j'importe les bibliothèques Python contenant les fonctions nécessaires à l'exécution du programme et enfin, je charge le (ou les) texte(s) à traiter en mémoire (Figure 8.5).

ETAPE 1

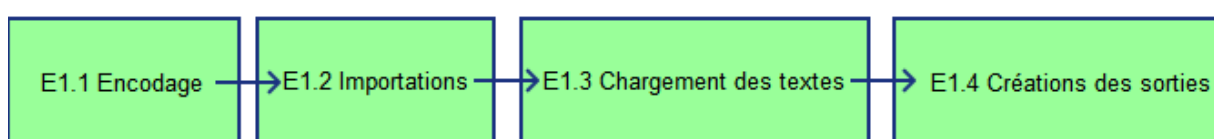


Figure 8.5 Cheminement de l'étape 1.

8.3.3.1. E1.1 Encodage

Mon programme est encodé en UTF-8, l'encodage universel standard afin de ne pas créer de problèmes de compatibilité avec les différentes bibliothèques de fonction appelées mais aussi afin de faciliter la manipulation des données textuelles. Cet encodage est défini dès la première ligne du fichier du programme principal.

8.3.3.2. E1.2 Importation

La deuxième étape d'initialisation consiste à importer des bibliothèques de fonctions Python.

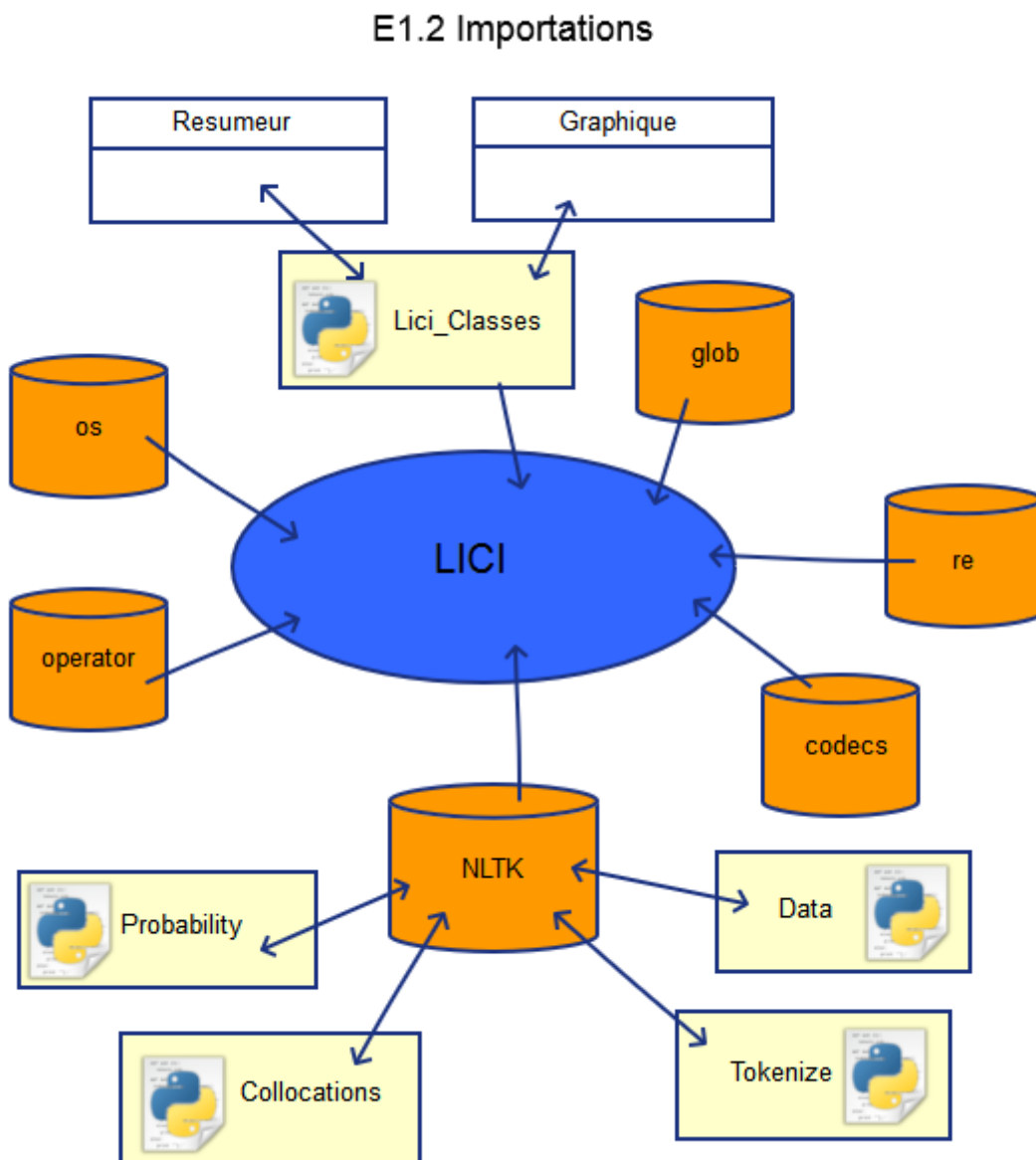


Figure 8.6 Description de l'étape d'importation

La Figure 8.6 représente les différents imports. Les bibliothèques Python sont représentées par des cylindres orange. Ces bibliothèques contiennent elles-mêmes des modules de fonctions, ces modules prennent la forme concrète de fichiers Python, représentés dans la figure par des rectangles nommés et incluant l'icône d'un fichier Python. Enfin, chaque module est organisé en classes, qui contiennent un ensemble de fonctions. Les classes sont représentées par un tableau nommé.

Le programme principal importe des modules extérieurs et utilise leurs fonctions sur des données. Ces modules sont : des modules *Python* standard, des modules *NLTK*, et les classes « Graphique » et « Resumeur » qui sont propres au LICI.

La bibliothèque *NLTK* est utilisée pour : le module *tokenize* qui fournit des fonctions de segmentation, le module *data* qui contient une liste de séparateurs de phrase, le module *collocations* qui permet de calculer les collocations fréquentes *via* la fonction de *likelihood ratio* et le module *probability*, utile pour déterminer la fréquence des graphies du texte.

Le module *LICI_Classes* contient toutes les fonctions que j'ai spécifiquement développées pour le LICI, elles sont organisées en deux classes, la classe « Graphique » qui renvoie des structures *xml* compatibles avec le format des cartes heuristiques de Médialexie et la classe « Resumeur » qui réunit les outils nécessaires au calcul de la liste des termes-clés.

La classe « Graphique » contient les fonctions décrivant la taille, la forme et l'emplacement des éléments graphiques de la carte. Elle est constituée des quatre fonctions (nommées « titre », « autre », « nœud » et « lien »).

La classe « Resumeur » contient les fonctions de segmentation (en titre, paragraphes, phrases et graphies), de calcul des phrases-clés du texte, de calcul des termes-clés du texte, de calcul des occurrences, des cooccurrences et collocations, de calcul des concordances pour chaque terme-clé, et de tri des termes-clés.

8.3.3.3. E1.3 Chargement des textes

Une fois le processus d'importation des modules nécessaires terminé, le programme va chercher tous les fichiers textes qui sont stockés dans un répertoire nommé "textes" dans le dossier parent de l'outil (voir Figure 8.7). Tous ces fichiers vont être lus et leur contenu chargé en mémoire grâce à la fonction *PlaintextCorpusReader* de *NLTK*. Une fois tous les textes à traiter chargés dans une liste, une boucle d'instruction, dans laquelle tous les traitements sont effectués, du texte brut jusqu'à la création de sa carte, va être lancée pour chacun des textes.

E1.3 Chargement des textes

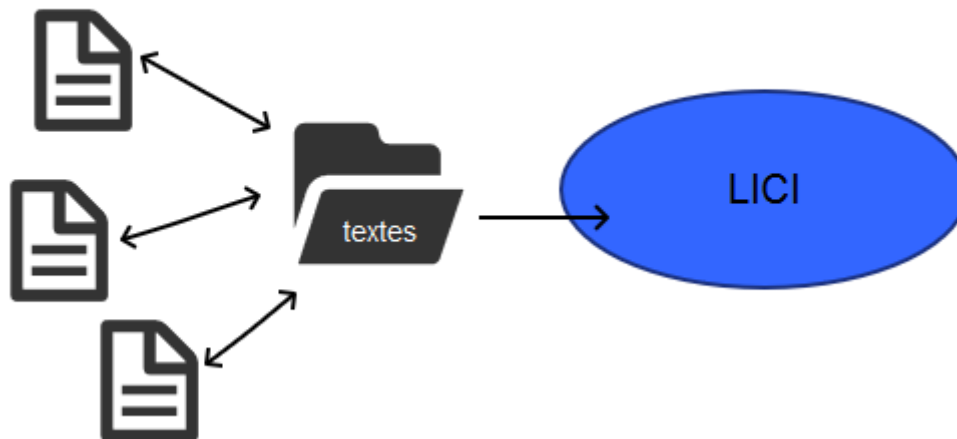


Figure 8.7 Processus de chargement des textes par le programme.

Dans sa version commerciale, le programme ne charge qu'un seul texte, celui stocké dans le presse-papier. Ensuite, le reste des traitements se déroule de la même manière sans boucle.

8.3.3.4. E1.4 Création des deux fichiers de sorties

L'étape suivante est la création de deux fichiers de sorties, pour chaque texte. L'un d'eux est un fichier texte, nommé "ResumeDe" suivi du nom du fichier de départ dans lequel se trouvait le texte; l'autre est un fichier ".ctm", qui est le format de fichier de l'*Imagineur*. Ce dernier est immédiatement rempli avec la structure xml de base, s'accordant au format ctm, celle-ci sera ensuite enrichie des éléments à dessiner sur la carte : les nœuds, les liens, etc..

8.3.4. ET2 segmentation

L'étape 2 est relativement courte, elle comporte trois sous étapes (voir Figure 8.8).

ETAPE 2

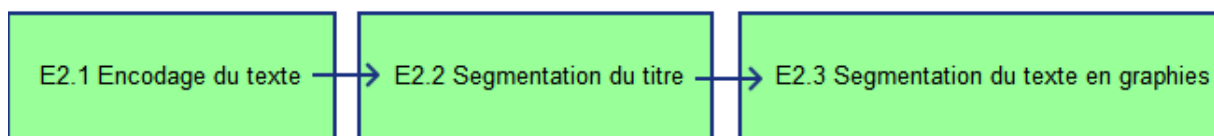


Figure 8.8 Seconde étape de la chaîne de traitement découpée en sous étapes.

8.3.4.1. E2.1 Encodage du texte

Tout d'abord, les textes bruts sont traités pour normaliser leur encodage qui peut être très divers selon la source des documents textes. Ce problème est encore plus critique lorsqu'il

s'agit du texte contenu dans le presse-papier. Tous les textes se retrouvent convertis au format de travail du programme, qui est l'encodage standard utf-8, à la fin de cette phase.

8.3.4.2. E2.2 Segmentation du titre

Dans un deuxième temps, une fonction est appelée pour déterminer si le texte comporte un titre, selon des critères simples : un premier paragraphe dont le nombre de caractères est restreint et qui est marqué par une absence de point (mais qui peut se finir par un point d'interrogation ou d'exclamation). Cette fonction n'est pas très précise et peut conduire à l'extraction d'un titre qui n'en est pas un ou l'inverse. Cependant, ce n'est pas très important car ce titre est simplement utilisé en tant que titre de la carte qui sera générée en fin d'algorithme. Le titre extrait (ou non) sera pour le reste du traitement considéré comme un paragraphe ordinaire sans pondération particulière.

8.3.4.3. E2.3 Segmentation du texte en graphies

Enfin, le texte est segmenté en graphies en faisant appel à une fonction usant des expressions régulières du langage *Python*. Une suite de caractères est considérée comme étant une graphie si elle est constituée de :

- un ensemble de lettres suivies d'une espace;
- un ensemble de lettres suivies d'un tiret, suivi d'un autre ensemble de lettres, suivies d'une espace;
- un ensemble de chiffres suivis d'une espace;
- un ensemble mêlé de chiffres et de lettres suivis d'une espace;
- une répétition d'ensemble de chiffres entrecoupés d'espaces, suivis d'une espace puis d'un autre type de caractères (afin de segmenter des graphies du type "1 000 000");
- une lettre et une apostrophe suivies d'une espace;
- un ensemble de chiffres, suivi optionnellement d'une virgule et d'un autre ensemble de chiffres, suivi d'un caractère parmi "%", "€", "£" ou "\$" (bien sûr cette règle pourrait être étendue à d'autres symboles).

A ces règles s'ajoutent deux exceptions, la chaîne de caractères "aujourd'hui" et la chaîne de caractères composée de "prud'hom" et d'une suite d'autres caractères. Ces deux exceptions sont également des patrons valables pour la segmentation en graphies.

Une fois le texte segmenté en graphies, il est envoyé sous forme d'une liste de graphies pour la suite des traitements.

8.3.5. ET3 Calcul des termes-clés

La troisième étape se décompose en cinq sous étapes : le chargement des paramètres, le calcul des graphies-clés, le calcul des phrases-clés, le calcul des meilleures collocations et leur concaténations successives et enfin la construction de la liste des termes-clés triés, avec leur concordances (voir Figure 8.9).

ETAPE 3

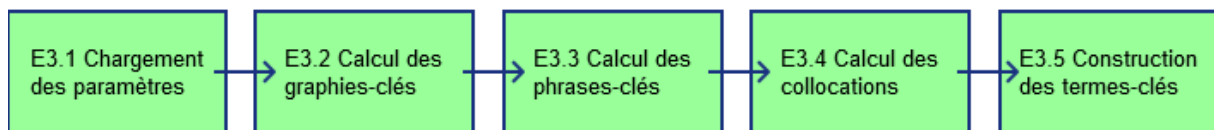


Figure 8.9 Troisième étape de la chaîne de traitement, permettant la construction de la liste de termes-clés.

8.3.5.1. E3.1 Chargement des paramètres

Tout d'abord, le programme principal permet de charger des paramètres sous la forme d'un fichier texte qui doit contenir :

- le nombre minimum de relations pour tracer des liens entre deux nœuds ;
- le nombre de graphies-clés maximum (avant le calcul des collocations) ;
- le nombre maximum de termes-clés (nœuds dans la carte) ;
- le nombre maximum de liens dans la carte ;
- le nombre maximum de liens partant d'un nœud.

Le fichier texte doit être appelé « parametre.txt » et se situer dans le dossier parent du programme. De plus, chacun de ses paramètres peut être précisé pour différentes tailles de texte. Des valeurs par défaut pour chaque paramètre sont incluses dans le code du programme lui-même au cas où le fichier n'est pas trouvé ou qu'il ne contient pas toutes les valeurs nécessaires.

8.3.5.2. E3.2 Calcul des graphies-clés

La sous-étape suivante concerne le calcul des graphies-clés. Pour cela, la liste des graphies du texte segmenté précédemment est récupérée. Le programme fait ensuite appel à la liste d'exclusion pour éliminer les mots vides. De façon similaire à la phase de chargement des paramètres, la liste d'exclusion est chargée depuis un répertoire extérieur au programme, nommé « TermesInterdits ». Tous les fichiers contenus dans ce répertoire sont parcourus et segmentés afin de récupérer toutes les graphies contenues et de les charger dans la liste d'exclusion. L'intérêt d'avoir un répertoire et de pouvoir, pour l'utilisateur du programme, arranger les graphies à exclure en plusieurs fichiers, par exemple un avec des verbes, un

avec des adjectifs, etc... J'ai préparé des listes génériques, regroupées par catégorie grammaticale, que j'ai fournies pour qu'elles soient incluses dans le package d'installation du LICI afin qu'un utilisateur lambda n'est pas à les établir lui-même. Une liste par défaut a été prévue à l'intérieur du code du programme lui-même, au cas où le répertoire « TermesInterdits » ne soit pas trouvé parce qu'il a été déplacé ou supprimé. Evidemment, dans la version commerciale de l'outil, des options dans l'interface de la barre d'outils permettent d'ajouter ou de supprimer des graphies de la liste d'exclusion, sans avoir à modifier les fichiers dans le répertoire à la main.

Une fois les graphies appartenant à la liste d'exclusion soustraites de la liste des graphies du texte segmenté, aucune normalisation, telle que la lemmatisation, n'est appliquée, mais les graphies sont tout de même réunies lorsqu'elles sont similaires, exceptée une marque du pluriel (x ou s final), ou lorsqu'elles sont similaires, exceptée une majuscule initiale. Ensuite, le nombre d'occurrences de chaque graphie restante est comptabilisé et elles sont triées selon celui-ci. Cette liste de graphies-clés est enregistrée dans la sortie au format texte du LICI.

8.3.5.3. E3.3 Calcul des phrases-clés

Ensuite, les graphies-clés sont utilisées pour déterminer les phrases-clés du texte. Le texte est pour cela d'abord segmenté en paragraphes, puis ces paragraphes sont segmentés à leur tour en phrases. Pour cette segmentation en phrase, le programme fait appel à la fonction *tokenize* de *NLTK* et également aux marqueurs de fin de phrases pour le français contenus dans la base de données de *NLTK*. Ensuite, l'algorithme de sélection des phrases procède de la manière suivante : la liste des graphies-clés est parcourue et pour chacune d'elle, la première phrase du texte qui la contient est extraite du texte. Si la taille du résumé est de cinq phrases, ce sera donc des phrases contenant les cinq éléments en tête de la liste des graphies-clés qui seront extraites. De plus, la préférence est donnée à la première phrase contenant chacun des termes, donc cet algorithme privilégie les phrases en début de texte. Il faut aussi noter qu'une phrase est supprimée de la liste après avoir été extraite, donc si une même phrase, en début de texte, contient la graphie en tête des graphies-clés et la graphie arrivant en deuxième dans cette liste ; alors, une autre phrase, plus loin dans le texte, contenant la graphie arrivant en deuxième de la liste sera extraite. Ainsi, en plus d'accorder une plus grande importance aux phrases en début de texte, cet algorithme va assurer une certaine diversité de vocabulaire parmi les phrases choisies. L'algorithme décrit ici, et utilisé pour le LICI, a été inspiré notamment par le programme *Summarize* (Havelick, 2012). Les phrases extraites sont ensuite réarrangées selon l'ordre qu'elles occupaient dans le texte initial. Enfin, la liste des phrases-clés est transformée en une chaîne de caractères jointe et écrite dans le fichier de sortie au format texte.

8.3.5.4. E3.4 Calcul des collocations

La sous-étape suivante concerne la détection et l'assemblage des collocations du texte. Celle-ci se décompose en trois phases.

- Création de la liste de meilleures collocations ;
- Création de la liste des triplés les plus fréquents ;
- Concaténations : graphies/collocations, graphies/triplés, collocations/triplés, triplés/triplés.

La liste des meilleures collocations est déterminée grâce aux fonctions du module « collocations » de NLTK évoquées plus haut, notamment le *likelihood-ratio*. Cette liste est enregistrée dans le fichier de sortie au format texte. De la même façon, la liste des groupes de trois graphies (triplés) qui cooccurrent le plus souvent est établie. Ensuite, plusieurs fonctions du LCI permettent la concaténation de ces résultats avec la liste de départ de référence, celle des graphies-clés. Lorsqu'une graphie est présente à la fois dans la liste des graphies-clés et dans la liste des meilleures collocations, un terme-clé est constitué en conservant la collocation correspondante, à condition que celle-ci soit bien présente dans le texte. En effet, la fonction de calcul des meilleures collocations peut aussi trouver des collocations régulières dont les mots ne sont pas directement juxtaposés. Par exemple, dans le texte du *Petit Chaperon Rouge*, la graphie « pot » fait partie des graphies-clés et le couple « pot ; beurre » fait partie des meilleures collocations. Cependant, il est préférable d'éviter de se retrouver avec un terme « pot beurre » apparaissant dans la carte finale. C'est pourquoi seules les collocations présentes dans le texte seront retenues par cette première fonction de concaténation entre graphies-clés et meilleures collocations. Cependant, la liste des triplés les plus fréquents contient le triplé « pot ; de ; beurre » et grâce à la fonction de concaténation entre graphies-clés et triplés, ce triplé sera retenu et « pot de beurre » pourra apparaître dans la carte finale. Selon le même principe de fonctionnement, une collocation et un triplé peuvent être fusionnés ou même deux triplés, l'algorithme progressant par étape en cherchant toujours si un terme composé plus long peut être composé à partir des graphies-clés de départ. De cette manière, dans l'exemple du *Petit Chaperon Rouge*, le terme « petit pot de beurre » sera finalement celui retenu pour être affiché sur la carte.

Tout comme pour constituer la liste des graphies-clés, la fonction de calcul des collocations fait appel à une liste d'exclusion. Il existe donc deux listes d'exclusion : une pour les graphies-clés et une pour les collocations. Cette deuxième liste fonctionne de la même manière que la première, avec un répertoire « CollocationsInterdites » qui peut être alimenté de plusieurs fichiers contenant une liste de graphies à exclure, qui sera logiquement plus réduite que celles des « TermesInterdits ». En effet, il arrive que certaines graphies ne puissent pas constituer à elles seules un terme-clé alors qu'elles sont pertinentes en tant que partie d'un terme-clé. En suivant toujours l'exemple du *Petit Chaperon Rouge*, la graphie « rouge » peut être présente dans la liste des termes interdits, afin d'éviter d'avoir un nœud contenant simplement le mot « rouge » alors qu'elle ne doit

pas être présente dans la liste des collocations interdites pour pouvoir être retenue comme collocations et devenir, suite aux fonctions de concaténations successives, partie prenante du terme « petit chaperon rouge ». De manière générale, les adjectifs seront dans la liste de termes interdits mais pas dans la liste de collocations interdites. Par extension, il n'y a pas de liste d'exclusion pour la fonction d'extraction des triplés, afin de conserver les mots vides telles que les prépositions par exemple (comme dans l'exemple du « pot de beurre »).

8.3.5.5. E3.5 Construction des termes-clés

Enfin, la dernière sous-étape de cette étape 3 assure la construction de la liste des termes-clés triés et l'établissement de leurs concordances extraites du texte. La liste des termes-clés précédemment établie est d'abord récupérée et chaque élément de la liste est converti en chaîne de caractères. La présence de chacun des termes-clés est vérifiée dans le texte original pour éviter toute erreur d'affichage final sur la carte. Les termes ne correspondant pas au texte sont éliminés. Toutefois, une fonction de "restauration" permet de récupérer le ou les éléments d'une collocation qui étaient des graphies-clés lorsque celle-ci n'est pas retenue, afin d'éviter de perdre des informations. Ensuite, les n premiers termes de la liste sont conservés, la valeur de n ayant été définie précédemment par le fichier paramètre. Les termes-clés sont ensuite triés suivant l'ordre de leur première apparition dans le texte. Puis, pour chacun d'entre eux, la liste des phrases dans lesquelles ils apparaissent va être dressée. Il s'agit de la liste de concordances du terme.

Après cela, pour chaque terme-clé, le programme va chercher l'article qui l'introduit le plus souvent dans le texte original. L'objectif est de rendre les nœuds de la carte plus agréables à lire. Cette fonction d'ajout d'article intervient en toute fin de processus, après que tous les calculs sont effectués et lorsque la liste des termes-clés à afficher est connue. Pour chacun des termes-clés, le texte d'origine est parcouru et pour chaque occurrence du terme la graphie précédente est inspectée. Si la plus fréquente des graphies apparaissant juste avant le terme est un article (une liste d'articles a été établie dans le programme), alors le terme-clé est présenté, précédé de cet article sur la carte. Par exemple, si l'un des termes-clés est « chat botté » et que plus de la moitié de ses occurrences sont précédés de « le », le contenu du nœud de la carte finale sera « le chat botté ». Après ce dernier traitement, les termes obtenus et leurs concordances sont écrits dans le fichier texte de sortie.

8.3.6. ET4 Génération

La dernière étape consiste à passer de la liste d'informations calculées par le programme jusqu'ici à l'affichage de toutes ces informations sous forme de carte. Elle est divisée en cinq sous étapes : l'écriture des nœuds dans la carte, le calcul des relations entre les nœuds, le traitement des nœuds orphelins et enfin l'écriture des liens et des autres informations dans la carte (voir Figure 8.10).

ETAPE 4

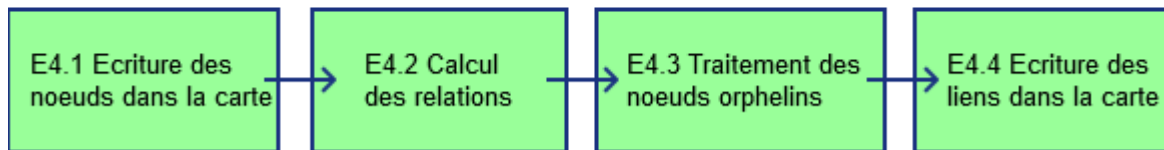


Figure 8.10 Cheminement de l'étape 4.

8.3.6.1. E4.1 Ecriture des nœuds dans la carte

Dans un premier temps, la liste des termes-clés est récupérée et chacun des termes est placé sur la carte dans un nœud, en fonction de la position de sa première occurrence dans le texte. Le terme-clé apparaissant en premier dans le texte sera donc situé en haut à gauche sur la carte finale et ainsi de suite jusqu'au terme-clé apparaissant en dernier dans le texte qui sera situé en bas à droite. Le nombre de termes-clés affichés est limité au nombre déterminé dans les paramètres. La structure xml dans laquelle est incluse chaque terme-clé permet sa manipulation dans l'outil *Imagineur* et permet d'accéder à tous les services liés à la barre d'outils Médialexie, comme les dictionnaires et le lecteur de synthèse. De plus, le programme transmet à l'intérieur de la structure au format ctm la liste des concordances, c'est-à-dire la liste des phrases dans lesquelles le terme-clé apparaît. Il est possible grâce à cela d'afficher cette liste dans la zone de « Notes » de l'interface de l'*Imagineur*, grâce à un clic sur le nœud souhaité.

Le nombre d'occurrences de chaque terme-clé est aussi envoyé au fichier ctm, celui-ci apparaît entre parenthèses sous le terme-clé et le terme-clé contenant la graphie-clé la plus fréquente est mis en valeur en étant écrite en rouge.

8.3.6.2. E4.2 Calcul des relations

Pour calculer les relations entre les nœuds, le programme se réfère au nombre de paragraphes communs entre les termes-clés. Plus deux termes-clés sont présents dans les mêmes paragraphes, plus le lien entre les deux est fort. Cette force est symbolisée à la fois par un lien plus épais mais aussi par un code de couleur. Ce code a été déterminé par l'équipe de Médialexie, en accord avec le reste des outils. Un lien faible est en vert, un lien un peu plus fort en bleu et un lien très important en rouge (voir les exemples dans le chapitre suivant). Le nombre de paragraphes communs nécessaires pour atteindre ces différents niveaux est proportionnel à la taille du texte.

Une fois que tous les liens entre les termes-clés ont été calculés, ils sont triés par ordre d'importance, les liens les plus épais en tête de liste. Ensuite, seuls les n premiers liens sont conservés pour être affichés dans la carte, en fonction des préférences de l'utilisateur. Ces préférences sont récupérées dans le fichier de paramètres, tel que je l'ai expliqué pour l'étape 1.

8.3.6.3. E4.3 Traitement des nœuds orphelins

Une fois les liens à dessiner sur la carte connus, le programme dresse la liste des termes-clés qui ne sont connectés à aucun lien (ce qui entraînerait l'affichage de nœuds orphelins sur la carte). Ceux-ci sont mis à part, avec les termes-clés qui n'avaient pas été retenus parce que le nombre maximum de termes-clés sur la carte avait été atteint. Tous ces termes-clés seront accessibles *via* des boîtes affichées en bas à droite de la carte. Ces boîtes contiennent le lien vers les autres termes-clés mais aussi le lien vers les "phrases-clés" du texte, qui apparaissent dans une fenêtre superposée lorsque le lien est sélectionné.

Dans la version commerciale du programme, l'équipe de Médialexie a préféré traiter les nœuds orphelins différemment et m'a demandé de modifier le programme afin de les laisser apparaître sur la carte en les liant par un trait pointillé au terme-clé dont il est le plus proche dans la structure du texte (par exemple un terme qui apparaîtrait dans un paragraphe suivant ou précédent).

8.3.6.4. E4.4 Ecriture des liens dans la carte

Une fois que tous les calculs sont terminés et que le nombre de nœuds et de liens sélectionnés sont conformes au fichier de paramètres, les informations nécessaires à leur affichage sont rangées dans des structures xml adéquates et envoyées dans le fichier ctm de sortie.

Le code de l'outil LICl reprend, en langage *Python*, l'ensemble de la chaîne de traitement décrite dans ce chapitre. J'ai souhaité mettre ce code à disposition, exceptée la partie propre à l'affichage de la carte au format "ctm" et donc spécifique à l'intégration dans la barre d'outils Médialexie. Ce code, agrémenté de commentaires, est disponible dans le volume d'*Annexes (C-2)*.

Chapitre 9. La mise en application du LICI

Dans le chapitre précédent, j'ai décrit l'ensemble de la chaîne de traitement du LICI après avoir établi un rapide état de l'art des méthodes de résumé automatique par extraction et des méthodes d'extraction de mots-clés. Je souhaite désormais illustrer cette chaîne de traitement en prenant des exemples d'utilisation de l'outil LICI sur quelques textes adaptés au public cible. Au travers des différents exemples proposés, je présenterai les options du logiciel et je discuterai de la pertinence et de l'efficacité, *a priori*, de celui-ci. Je reviendrai ensuite sur les différentes variantes du programme développées au cours du projet, puis sur les tests d'utilisabilité, l'expérimentation et les évaluations qu'il sera nécessaire de mener à l'avenir pour connaître l'efficacité réelle du logiciel. Enfin, j'ajouterai quelques pistes d'améliorations déjà pensées au cours du développement mais qui n'ont pas pu être mises en place.

9.1. Exemples d'utilisation et discussion

9.1.1. Fonctionnalités principales

Pour ce premier exemple d'exécution de la chaîne de traitement, j'utilise le texte de la leçon *Pauvreté et inégalités dans le monde*, issu du manuel scolaire libre d'Histoire-géographie 5^{ème}, sur le site [lelivrescolaire](http://lelivrescolaire.fr) (Éditions Lelivrescolaire.fr, 2013).

Voici le texte choisi :

« Comment mesurer la pauvreté ?

La pauvreté est difficile à définir. Cette notion varie selon les pays. Pour permettre les comparaisons entre les pays, on utilise le seuil de pauvreté absolue (1,25 dollar par jour).

Les indicateurs de richesse comme le Produit intérieur brut (PIB) mesurent les écarts de revenus entre les pays mais ne mesurent pas les écarts de revenus entre les populations d'un même pays. De plus, ces indicateurs ne rendent pas compte des conditions de vie d'une population pauvre.

L'Indicateur de développement humain (IDH) et l'Indicateur de pauvreté humaine (IPH), en intégrant des critères sanitaires et éducatifs, permettent de mieux mesurer la pauvreté et le développement.

La proportion de la population mondiale considérée comme extrêmement pauvre a été divisée par deux dans les pays en développement. Malgré ces améliorations, 1/5e de la population mondiale vit encore sous le seuil de pauvreté absolue.

À l'échelle mondiale, les richesses sont très concentrées. Espérance de vie, accès à l'éducation, aux soins, à l'eau : les contrastes de développement entre les pays développés et les pays pauvres persistent.

L'Asie du Sud est la région du monde qui compte le plus grand nombre de pauvres. Néanmoins, la situation la plus préoccupante est celle de l'Afrique subsaharienne, qui reste en marge du développement.

Au sein d'un même pays, les richesses sont inégalement réparties. Ces inégalités se traduisent par des conditions de vie différentes d'une région à une autre, d'un quartier à un autre.

C'est dans les pays pauvres que les inégalités socio-spatiales sont les plus frappantes. »

La sortie au format txt donnée par le LICI pour ce texte contient plusieurs types d'informations, organisées par section. D'abord, le résumé du texte, en 5 phrases-clés (ce qui peut être modifié par l'utilisateur du logiciel), est présenté. Ensuite, la liste des graphies-clés, accompagnées de leur nombre d'occurrences dans le texte, apparaît. Puis, les collocations en paires de graphies et en triplés de graphies, calculées grâce à l'algorithme de *likelihood-ratio*, sont données. La liste des termes-clés est fournie par la suite, et, enfin, les concordances de chacun de ses termes sont fournies également. Voici le contenu de ce fichier de sortie txt pour le texte pris en exemple :

«

Voici les 5 phrases-clés du texte :

La pauvreté est difficile à définir.

Cette notion varie selon les pays.

Pour permettre les comparaisons entre les pays, on utilise le seuil de pauvreté absolue (1,25 dollar par jour).

Les indicateurs de richesse comme le Produit intérieur brut (PIB) mesurent les écarts de revenus entre les pays mais ne mesurent pas les écarts de revenus entre les populations d'un même pays.

De plus, ces indicateurs ne rendent pas compte des conditions de vie d'une population pauvre.

Voici les graphies-clés du texte :

pays 9

pauvreté 6

développement 5

mondiale 3

pauvres 3

population 3

vie 3

Indicateur 2

absolue 2

compte 2

Voici les paires de graphies en collocation fréquentes dans le texte :

écarts revenus

conditions vie

richesses sont

population mondiale

mesurer pauvreté

pauvreté absolue

seuil pauvreté

pays pauvres

Voici les triplés de graphies en collocation fréquentes dans le texte :

entre les pays

dans les pays

les pays pauvres

revenus entre les

d' un même

des conditions de
les richesses sont
de revenus entre
un même pays
conditions de vie
le seuil de
la population mondiale
de pauvreté absolue
mesurer la pauvreté
écarts de revenus
les écarts de
seuil de pauvreté

Voici la liste des termes-clés apparaissant dans la carte (pour rappel, calculés par concaténation des listes précédentes) :

mesurer la pauvreté
seuil de pauvreté
pauvreté absolue
conditions de vie
développement
la population mondiale
les pays pauvres

Concordancier des termes-clés du texte :

Concordance dans le texte pour le terme 'mesurer la pauvreté' :

Comment mesurer la pauvreté ?

L'Indicateur de développement humain (IDH) et l'Indicateur de pauvreté humaine (IPH), en intégrant des critères sanitaires et éducatifs, permettent de mieux mesurer la pauvreté et le développement.

Concordance dans le texte pour le terme 'seuil de pauvreté' :

Pour permettre les comparaisons entre les pays, on utilise le seuil de pauvreté absolue (1,25 dollar par jour).

Malgré ces améliorations, 1/5e de la population mondiale vit encore sous le seuil de pauvreté absolue.

Concordance dans le texte pour le terme 'pauvreté absolue' :

Pour permettre les comparaisons entre les pays, on utilise le seuil de pauvreté absolue (1,25 dollar par jour).

Malgré ces améliorations, 1/5e de la population mondiale vit encore sous le seuil de pauvreté absolue.

Concordance dans le texte pour le terme 'conditions de vie' :

De plus, ces indicateurs ne rendent pas compte des conditions de vie d'une population pauvre.

Ces inégalités se traduisent par des conditions de vie différentes d'une région à une autre, d'un quartier à un autre.

Concordance dans le texte pour le terme 'développement' :

L'Indicateur de développement humain (IDH) et l'Indicateur de pauvreté humaine (IPH), en intégrant des critères sanitaires et éducatifs, permettent de mieux mesurer la pauvreté et le développement.

La proportion de la population mondiale considérée comme extrêmement pauvre a été divisée par deux dans les pays en développement.

Espérance de vie, accès à l'éducation, aux soins, à l'eau : les contrastes de développement entre les pays développés et les pays pauvres persistent.

Néanmoins, la situation la plus préoccupante est celle de l'Afrique subsaharienne, qui reste en marge du développement.

Concordance dans le texte pour le terme 'la population mondiale' :

La proportion de la population mondiale considérée comme extrêmement pauvre a été divisée par deux dans les pays en développement.

Malgré ces améliorations, 1/5e de la population mondiale vit encore sous le seuil de pauvreté absolue.

Concordance dans le texte pour le terme 'les pays pauvres' :

Espérance de vie, accès à l'éducation, aux soins, à l'eau : les contrastes de développement entre les pays développés et les pays pauvres persistent.

C'est dans les pays pauvres que les inégalités socio-spatiales sont les plus frappantes. »

Deux remarques sont à faire sur l'exemple de sortie txt ci-dessus. D'abord le résumé de cinq phrases est constitué des cinq premières phrases du texte. Ceci n'est pas une erreur mais une conséquence de l'algorithme utilisé, que j'ai décrit dans le chapitre précédent. En effet, celui-ci favorise les premières phrases du texte, à condition que celles-ci contiennent des graphies-clés; or, c'est le cas dans la plupart des textes courts et d'autant plus dans les textes issus de manuels scolaires pour lesquels la plupart des phrases contiennent des mots de vocabulaire important que l'élève doit acquérir. Deuxièmement, le nombre de termes-clés, comme le nombre de collocations calculées, sont grands par rapport au texte, ce qui fait que des termes non-significatifs peuvent apparaître dans ces listes. Cela a aussi pour incidence de générer une liste de concordances très grande par rapport à la taille du texte. Toutefois, cela n'a pas beaucoup d'impact sur les termes-clés présentés dans la carte, qui restent relativement pertinents.

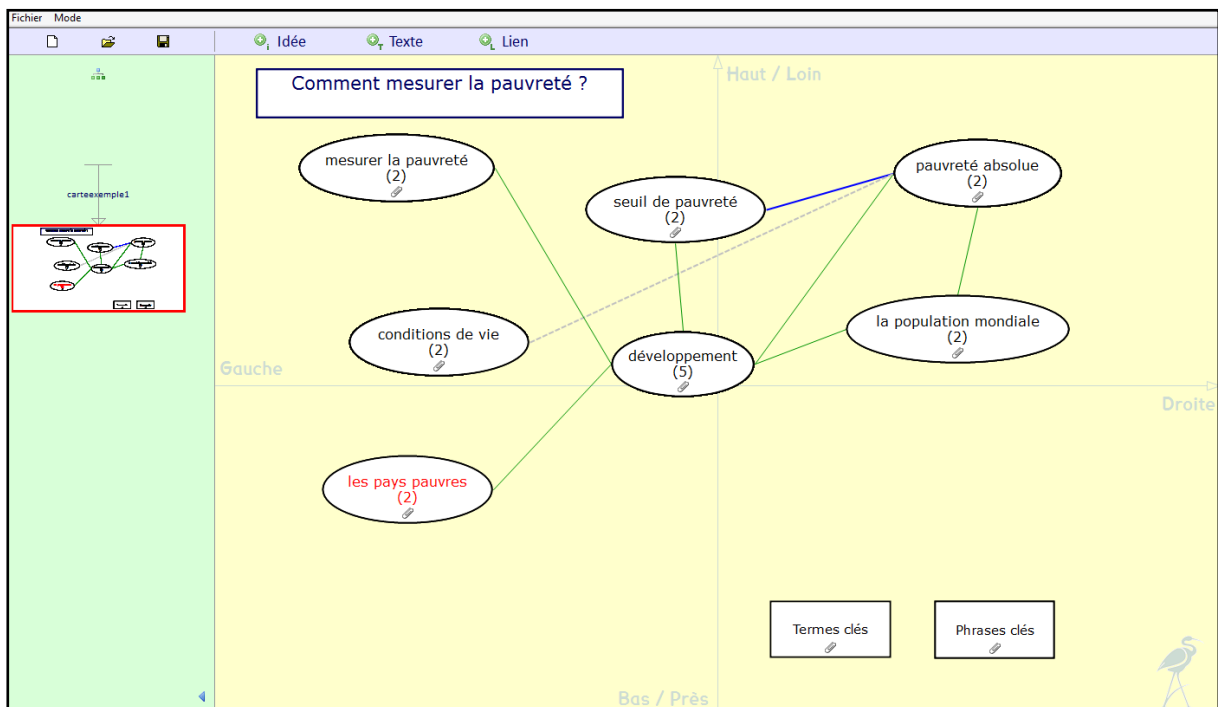


Figure 9.1 La sortie du LICI à partir du texte *Pauvreté et inégalités dans le monde*.

La sortie au format ctm, comprend les termes-clés et leurs relations, présentés dans l'interface de l'*Imagineur*. Elle comprend aussi un accès : à la liste de phrases-clés, aux concordances pour chaque terme-clé et aux autres options de la barre d'outils Médialexie (voir Figure 9.1).

Au survol par la souris de l'un des termes-clés, une fenêtre se superpose à la carte, faisant apparaître les concordances du terme-clé dans le texte (voir Figure 9.2). Le terme-clé est mis en valeur en gras. Un raccourci vers l'option d'écoute du texte grâce au lecteur de synthèse est intégré directement en haut à gauche de la fenêtre, *via* un bouton "lecture" et un bouton "stop". Cette fonctionnalité est très pratique puisqu'en seulement deux clics l'utilisateur passe du texte brut à une représentation sous forme de carte, dont les phrases contenant un terme-clé choisi lui sont lues. Les préférences de l'utilisateur (appelées "profil") de la barre d'outils Médialexie sont utilisées en ce qui concerne la police de caractères, l'espacement entre les lettres, entre les lignes mais aussi les couleurs.

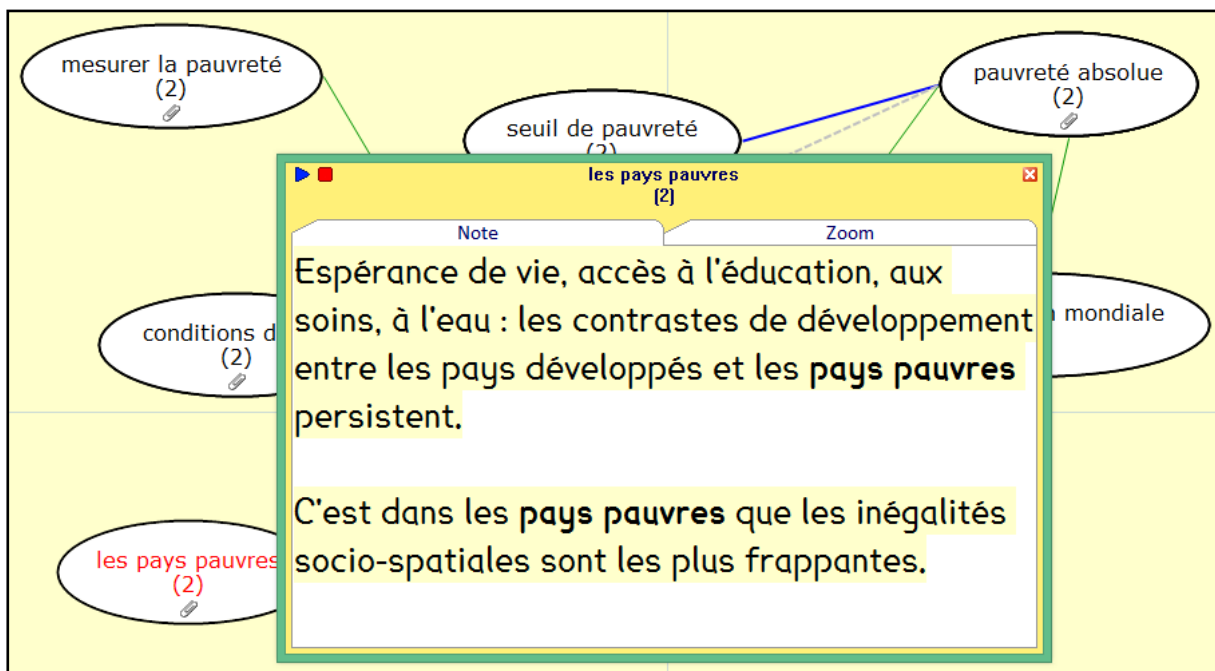


Figure 9.2 Concordances pour le terme-clé "les pays pauvres".

Sur la Figure 9.2, on peut voir que la police que j'ai choisie pour mon profil est une police adaptée aux lecteurs dyslexiques, proposée dans la barre d'outils. Si l'utilisateur sélectionne un mot avec le curseur et réalise un clic droit, il accède à une fenêtre comportant d'autres ressources, comme les dictionnaires : le dictionnaire des noms communs, des noms propres, des antonymes, des synonymes ou encore le conjugueur (qui propose les tables de conjugaison correspondantes lorsqu'un verbe est sélectionné, comme sur la Figure 9.3).

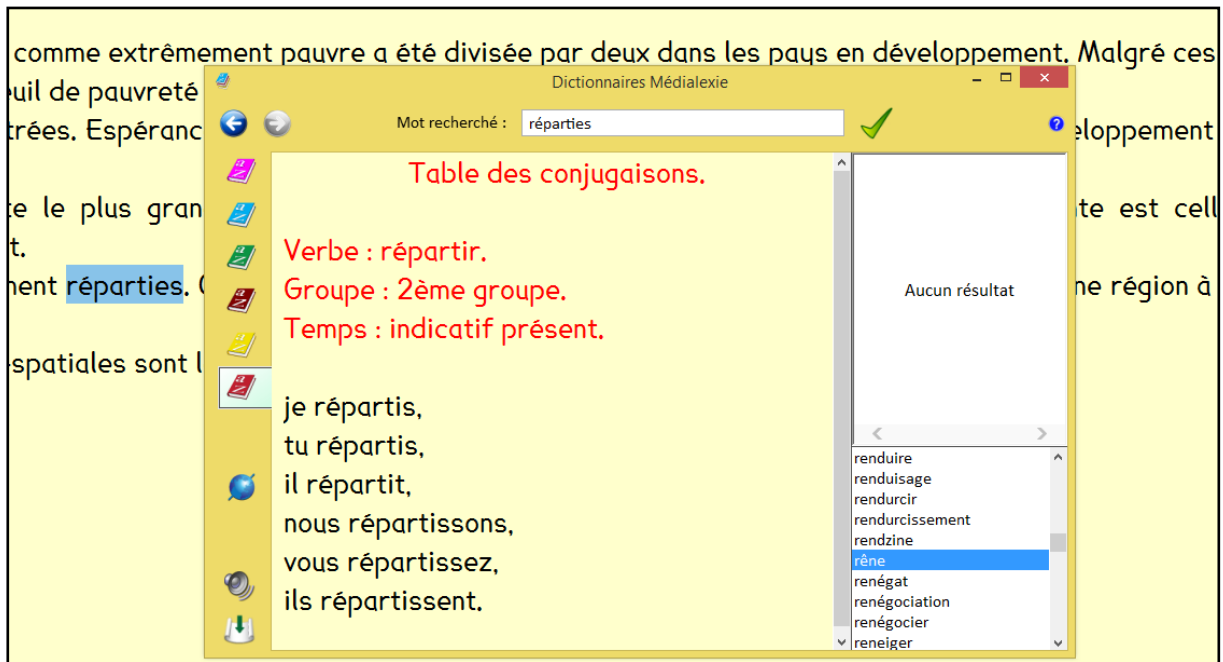


Figure 9.3 Fenêtre d'accès aux différents dictionnaires de la barre d'outils Médialexie.

Si le curseur de la souris est placé au-dessus de la boîte "phrases-clés", celles-ci sont affichées de la même manière que les concordances pour les termes-clés (voir Figure 9.4).

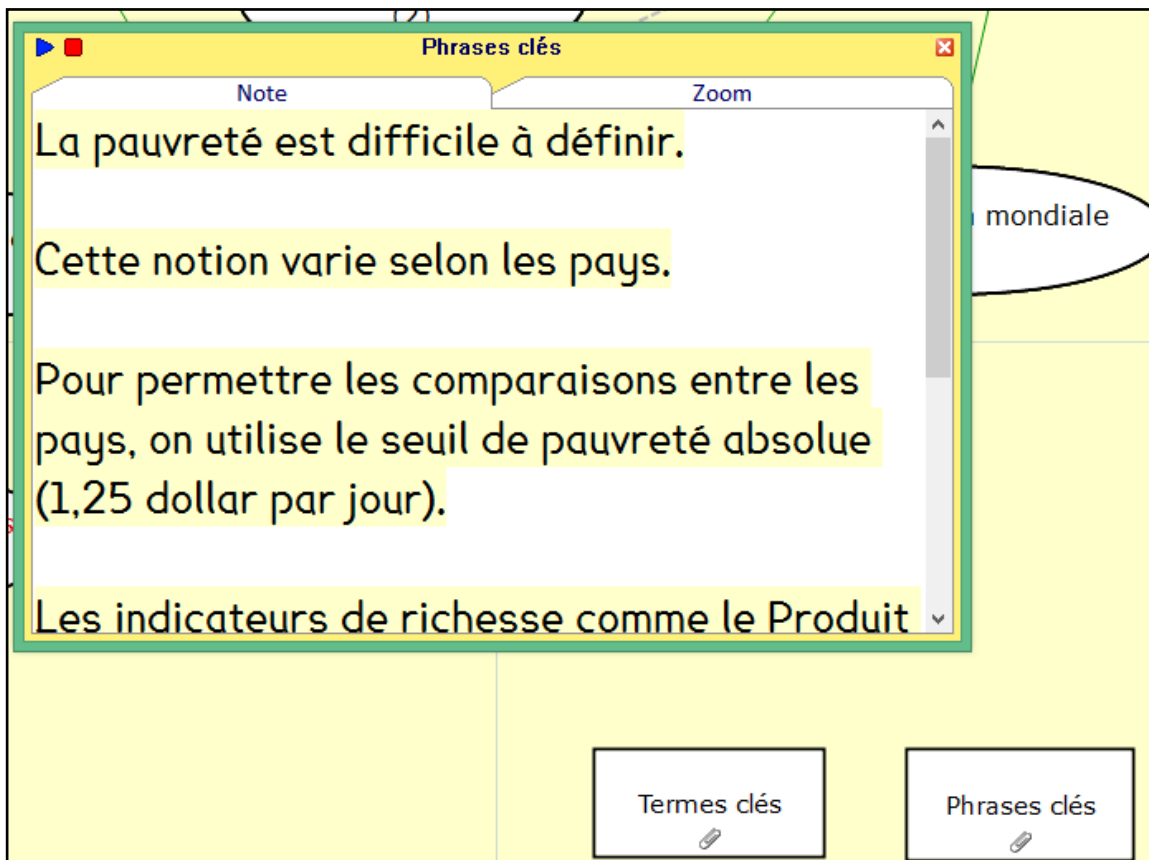


Figure 9.4 Affichage de la liste des phrases-clés.

9.1.2. Fonctionnalités avancées

Je prendrai un second texte en exemple pour montrer quelques fonctionnalités plus avancées disponibles dans l'outil LICI. Ces fonctionnalités peuvent être regroupées en deux familles :

- les adaptations opérées sur la sortie du programme en modifiant les préférences du fichier paramètres;
- les aménagements et les modifications de la carte dans l'interface, après sa génération.

Dans les deux cas, la carte peut être transformée selon la volonté de l'utilisateur et peut ensuite être enregistrée suivant son nouvel agencement.

Le texte que j'ai choisi pour cet exemple est différent puisqu'il s'agit d'un article de l'encyclopédie en ligne Wikipédia (2013). Cet article traite d'un événement abordé au sein du programme d'Histoire au collège : La prise de la Bastille. Ce texte est donc beaucoup plus long et les calculs d'extractions des termes-clés et de relations entre ceux-ci sont donc plus complexes car le nombre de candidats pour chaque catégorie est beaucoup plus grand. Ainsi, la carte obtenue peut légitimement être plus complexe, mais selon les choix de paramètres elle ne le sera pas obligatoirement. L'intégralité du texte est disponible dans le volume d'*Annexes* à ma thèse (C-1).

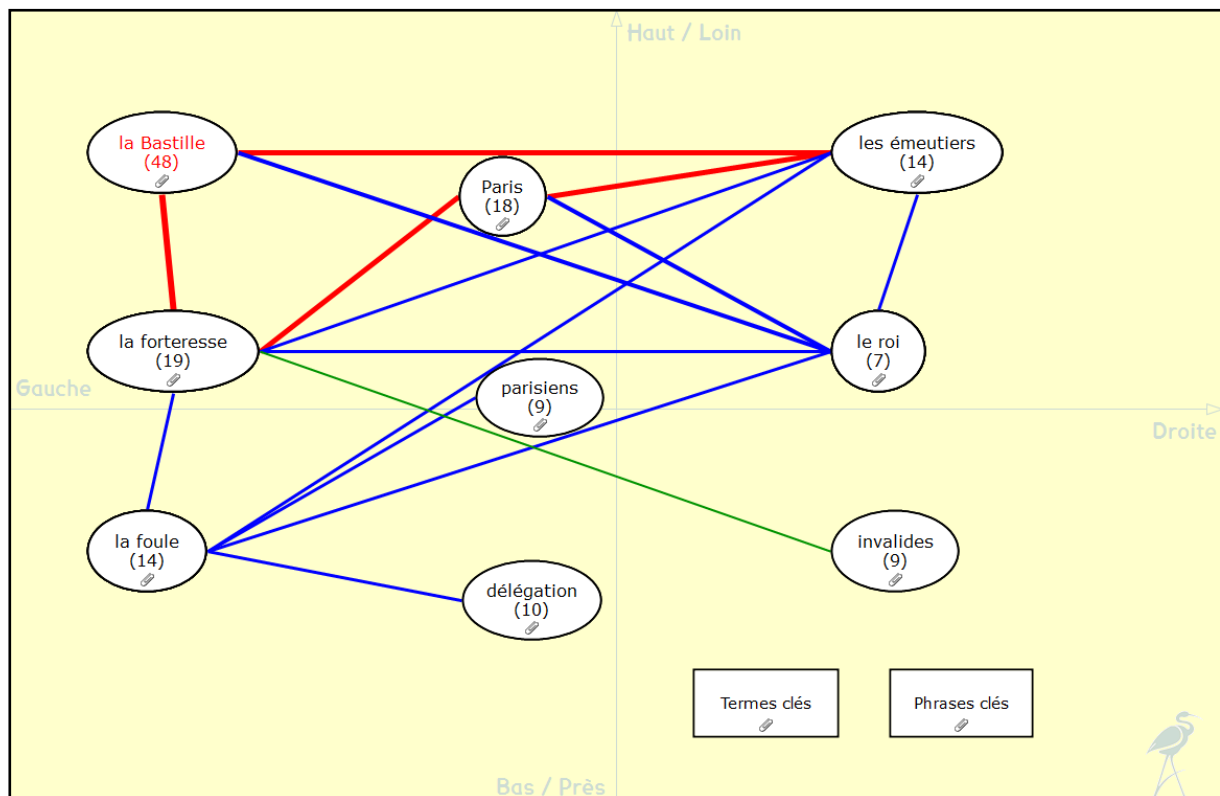


Figure 9.5 Carte générée à partir de l'article sur La prise de la Bastille.

La Figure 9.5 présente la carte générée par le LICI à partir de cet article. Plusieurs remarques peuvent être faites immédiatement. D'abord la carte est bien différente de celle du premier exemple, avec plus de termes-clés, plus de relations entre eux et des relations plus importantes (avec donc des traits plus épais et les couleurs rouge et bleue qui dominent). Ensuite, si les autres informations semblent pertinentes, il manque toutefois une information capitale : la date de l'événement.

L'absence de la date peut être expliquée par la méthode de calcul des termes-clés. En effet, pour ce texte, les graphies-clés sont les suivantes :

Bastille 48
forteresse 19
Paris 18
foule 14
émeutiers 14
délégation 10
invalides 9
parisiens 9
roi 8
révolution 8
ville 8
Launay 7
Louis 7
armes 7
canons 7

Tandis que la liste de collocations est la suivante :

14 juillet
juillet 1789
Hôtel ville

Puisque le texte est long, l'algorithme de détection des collocations est plus exigeant en termes de fréquence nécessaire pour qu'une association entre deux graphies soit jugée

significative. C'est pour cette raison que seules trois associations sont retenues. Ensuite, lorsque les termes-clés sont construits, aucune graphie-clé n'est retrouvée dans les collocations et donc aucune concaténation n'est effectuée entre la liste des graphies-clés et celle des collocations. Il serait possible de modifier l'algorithme pour corriger ce problème, par exemple en augmentant l'importance donnée à la liste des collocations dans le calcul des termes-clés, mais, il advient seulement à partir d'une taille de texte relativement importante qui ne correspond pas à la cible principale du projet LICI. Il a donc été décidé de laisser le fonctionnement en l'état. De plus, l'objectif de la carte est également de ramener vers la lecture du texte et, en premier lieu, en utilisant l'option d'affichage des concordances et leur lecture par la synthèse vocale. Or, la date de l'événement apparaît immédiatement au survol par le curseur de la souris du terme-clé mis en valeur en rouge, tel que le montre la Figure 9.6.

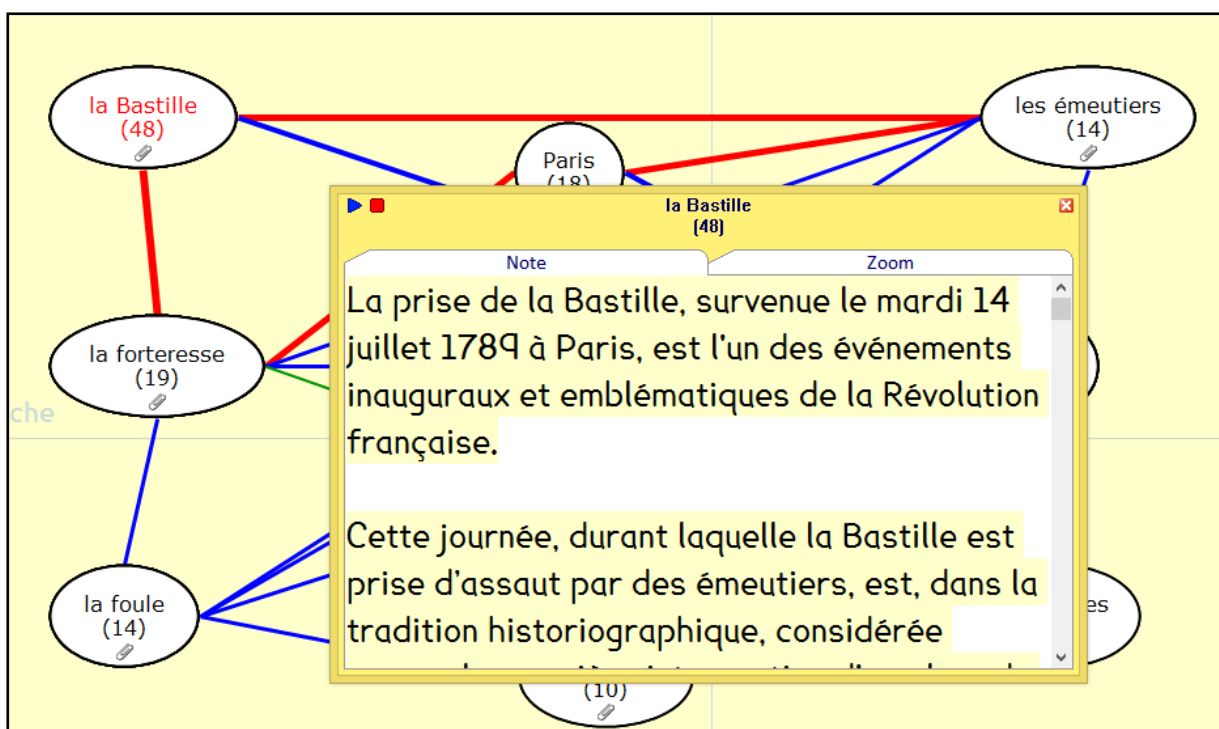


Figure 9.6 Affichage de la fenêtre de concordances pour le terme-clé "Bastille".

L'objectif double de simplification et d'accès progressif au texte est donc respecté et les informations principales pour la compréhension du texte peuvent être retrouvées et écoutées rapidement.

9.1.2.1. Modification des paramètres

Comme je l'ai évoqué précédemment, la carte peut être adaptée au texte en fonction de sa longueur et de la complexité souhaitées par l'utilisateur. Pour ce faire, il faut modifier le fichier de paramètres. Dans la version commerciale, une fenêtre a été ajoutée dans l'interface pour pouvoir modifier à souhait tous les paramètres sans avoir à connaître l'emplacement du fichier de paramètres ni la syntaxe particulière à respecter pour le

modifier. Cette fenêtre est accessible lorsque le "Mode expert" a été sélectionné dans le menu principal de réglage de la barre d'outils Médialexie, elle se lance alors à chaque fois que l'utilisateur clique sur l'icône du Cartographe pour générer une carte. L'utilisateur a le choix entre plusieurs options de rendu, comme le montre la Figure 9.7.

The screenshot shows a window titled "Cartographe - Mode expert" with a close button (X) in the top right corner. The window contains a "Rendu" section with three radio buttons: "Réduit", "Standard", and "Personnalisé". The "Personnalisé" option is selected. To the right of these buttons is a table of parameters:

Nombre de phrases clés :	5
Nombre maximum de noeuds :	9
Nombre maximum de liens :	12
Nombre maximum de liens partant d'un noeud :	3
Nombre de relations minimum entre deux idées :	2
Nombre maximum de mots clés identifiés :	12

Below the table is a checkbox labeled "Permettre les verbes dans les mots-clés." which is currently unchecked. At the bottom right of the window is a "Valider" button.

Figure 9.7 Fenêtre d'ajustement des paramètres de génération de la carte par le Cartographe.

Le rendu "réduit" correspond à un nombre de phrases-clés, de nœuds et de liens très faible et le rendu "standard" aux paramètres par défaut que j'ai proposés pour l'outil après de multiples essais sur mon corpus. Le rendu standard est donc adapté aux textes cibles du projet et correspond à l'extraction de 5 phrases clés, un nombre maximum de 7 nœuds et de 12 liens. Enfin, le rendu "personnalisé" permet à l'utilisateur de modifier les paramètres à son goût et d'éventuellement expérimenter lui-même avec l'outil, sans toutefois aller modifier les fichiers à la main ni connaître le fonctionnement du code. Cette option est intéressante mais aussi dangereuse, dans la mesure où un collégien dyslexique peut rapidement se sentir saturé d'informations par l'accès au réglage de tous ces paramètres. C'est pour cela qu'il est nécessaire de faire une manipulation préalable, relativement cachée dans les menus de la barre d'outils, pour passer en "Mode expert", afin que les utilisateurs débutants ou occasionnels ne se retrouvent pas confrontés à ces options.

Pour illustrer l'importance des paramètres, on peut faire varier ceux-ci de différentes manières. D'abord, voici, Figure 9.8, la carte obtenue lorsqu'on diminue le nombre de termes-clés maximum à 7 et qu'on augmente à la fois le nombre maximum de liens total (20) et le nombre de liens pouvant partir d'un seul nœud (6). Cette configuration de paramètres fait ressortir les termes-clés les plus forts du texte et fournit plus de détails quant à leurs relations. Le défaut de ces réglages est le manque de lisibilité dû à la surcharge de la carte par les liens. J'expliquerai dans le point suivant comment il est possible de jouer avec certaines fonctionnalités de l'*Imagineur* pour améliorer cette lisibilité.

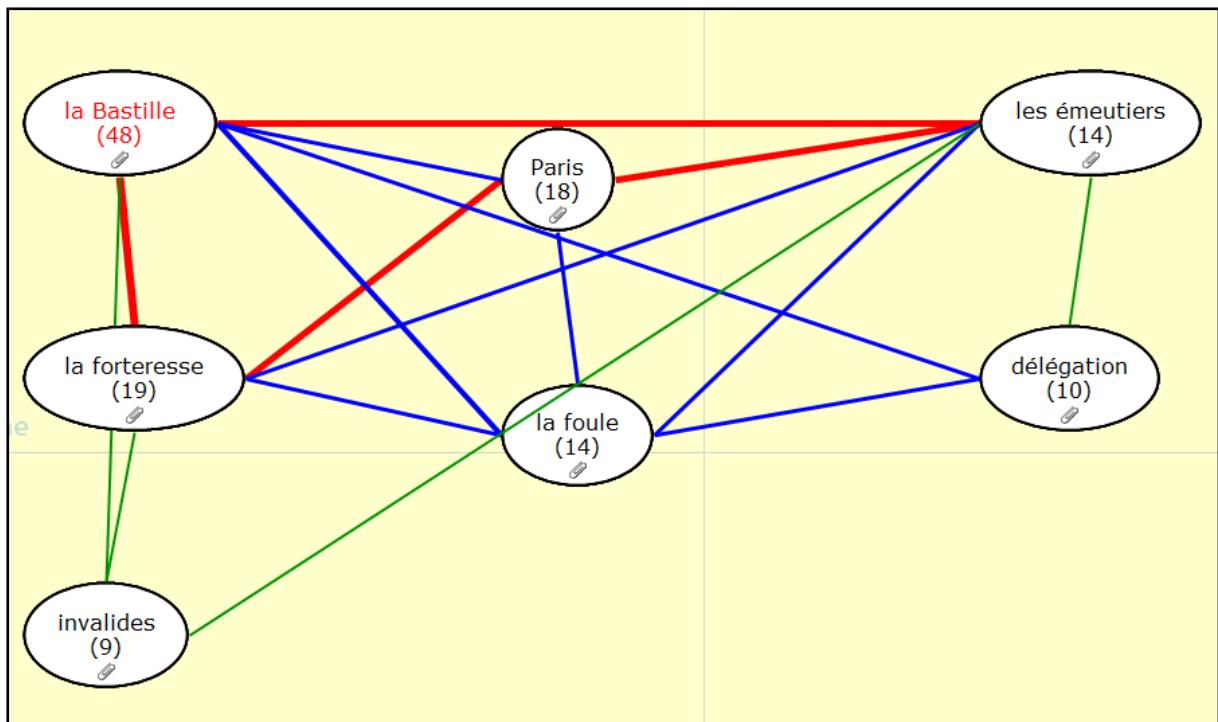


Figure 9.8 Carte de "La prise de la Bastille" focalisée sur les relations entre les termes-clés les plus importants.

Il est possible, au contraire, de présenter plus de termes-clés et d'alléger la présentation en diminuant le nombre de liens. Dans ce cas-là, la meilleure méthode est de diminuer le nombre de liens maximum pouvant partir d'un nœud de la carte. En effet, en diminuant le nombre de liens total, alors qu'on choisit de faire apparaître beaucoup de termes-clés, le risque est de se retrouver avec beaucoup de termes sans lien entre eux et quelques termes qui monopolisent tous les liens vers les autres. Si l'on augmente le nombre de relations minimal requis pour dessiner des liens, on risque de perdre en informations également puisque des relations moins solides mais présentes vont disparaître. L'avantage du paramètre du nombre maximum de liens partant d'un seul nœud, c'est que l'algorithme va sélectionner en priorité les liens les plus forts et éliminer les autres, il sera ainsi possible d'observer les relations les plus importantes pour chacun des termes-clés. Sur la Figure 9.9, j'ai donc modifié les paramètres pour augmenter le nombre de termes-clés à 12 et diminuer le nombre de liens maximum partant d'un nœud à 2 (le nombre total de liens a été passé à 25).

Avec cette troisième carte, on voit apparaître de nouveaux termes-clés et la lecture des concordances de ceux-ci vont enrichir la connaissance du texte pour l'utilisateur. Cependant il reste nécessaire de ne pas trop surcharger la carte en termes pour éviter la fatigue chez les lecteurs en difficulté. Après avoir illustré les modifications apportées par le réglage des paramètres, je souhaite revenir sur les autres possibilités d'aménagement de la carte qui s'offre à l'utilisateur une fois que celle-ci a été générée.

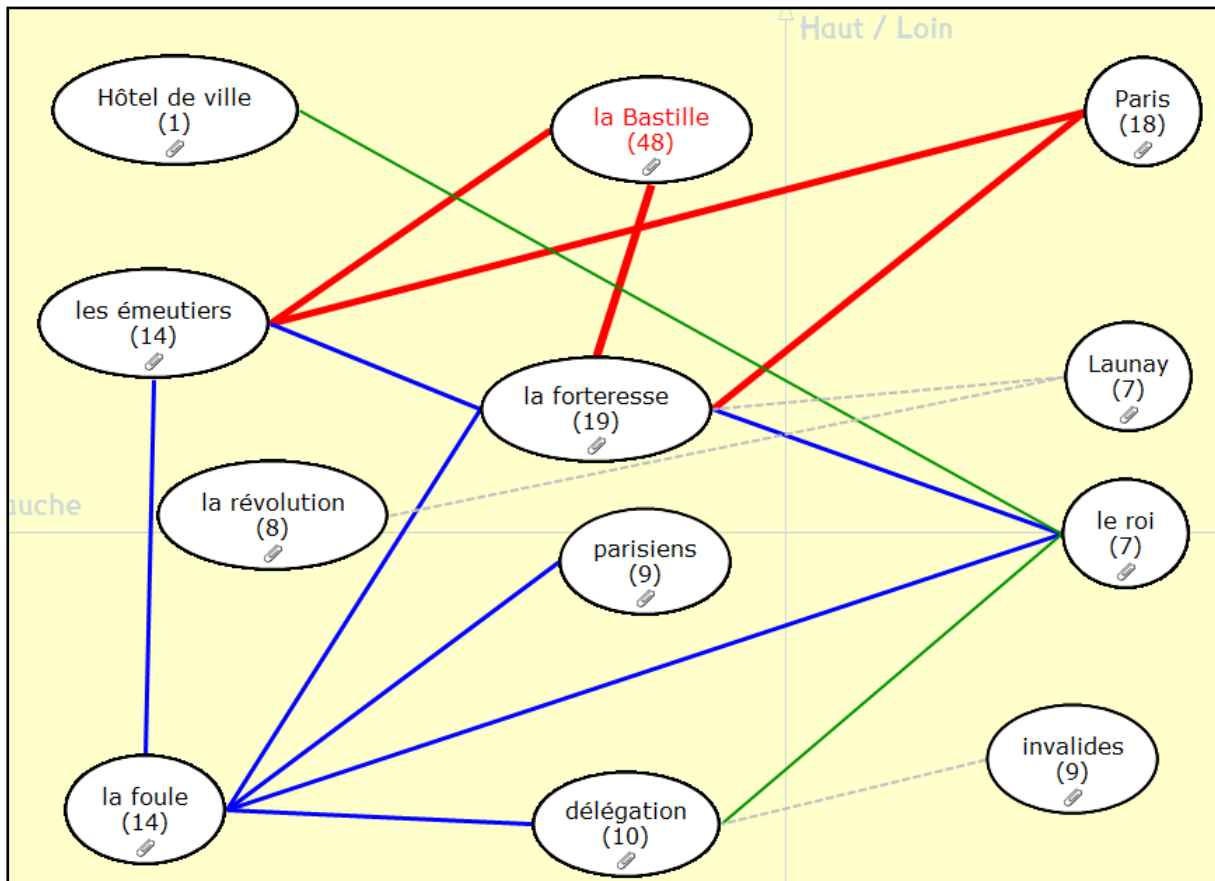


Figure 9.9 La carte de La prise de la Bastille avec 12 termes-clés et un nombre de liens limité.

9.1.2.2. Édition de la carte

Sur la Figure 9.8, j'ai souligné la difficulté de lisibilité due au nombre important de liens. Il existe deux moyens de réduire cette difficulté rapidement.

Tout d'abord, il est possible de masquer certains nœuds, que l'utilisateur jugerait inutiles ou qu'il souhaiterait ne pas voir temporairement de façon à améliorer la lisibilité des liens. La Figure 9.10 illustre cette fonction : en reprenant la carte de la Figure 9.8 et en masquant tous les liens partant d'un nœud, ici celui contenant le terme "la forteresse", on obtient une carte très allégée.

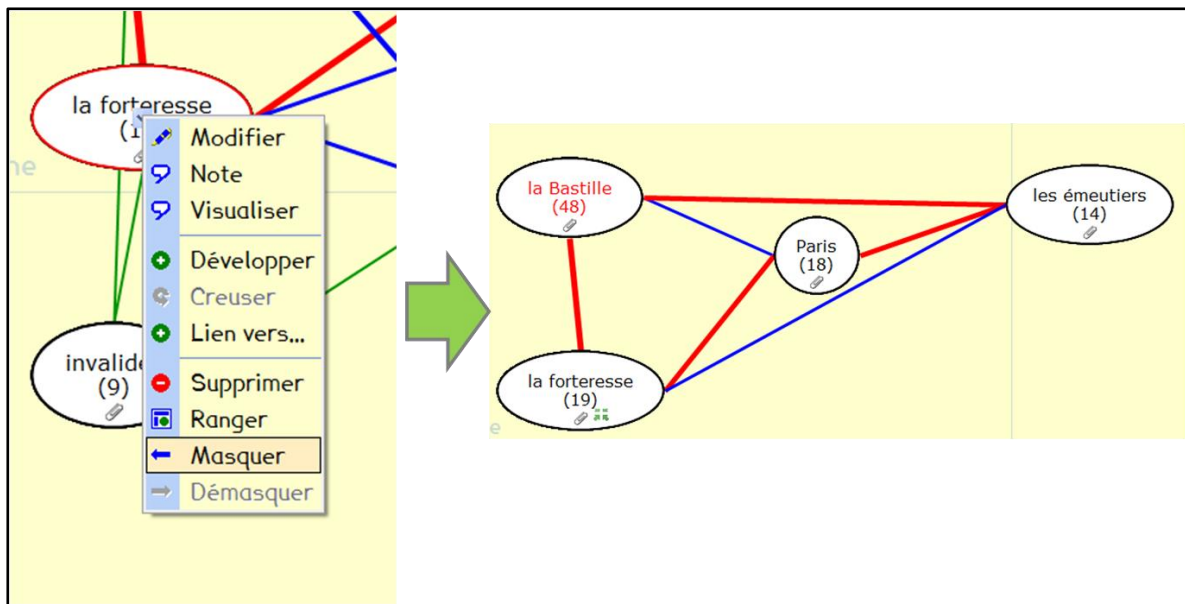


Figure 9.10 Application de la fonction "Masquer" sur un nœud de la carte de "La prise de la Bastille".

La deuxième possibilité pour améliorer la lisibilité est d'utiliser la fonction "Ranger", celle-ci permet de réorganiser la carte autour du nœud choisi. La Figure 9.11 illustre l'usage de cette fonction, toujours à partir de la même carte de départ, appliquée au nœud "la Bastille". Cette fonction regroupe les nœuds et les classe, au mieux possible, de façon hiérarchisée.

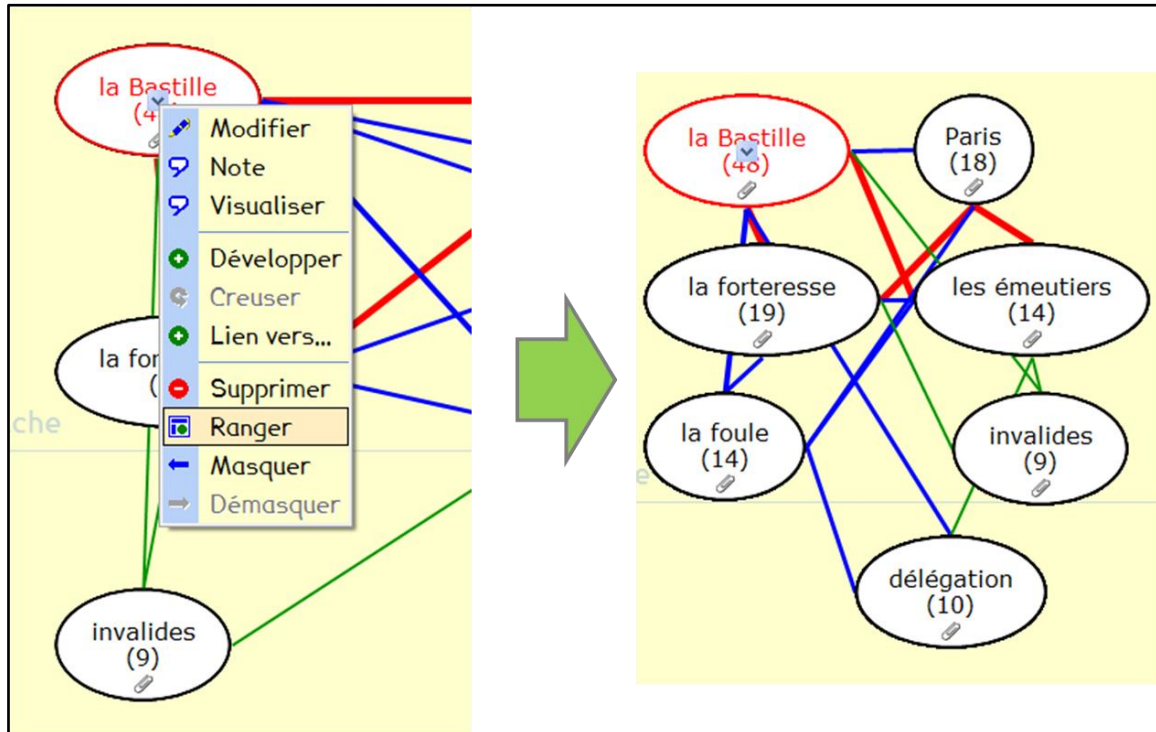


Figure 9.11 Application de la fonction "Ranger" sur un nœud de la carte de "La prise de la Bastille".

Enfin, il est bien sûr possible pour l'utilisateur d'éditer la carte qui a été générée automatiquement, à la main, comme bon lui semble. Cette fonctionnalité sera peu utilisée dans le cas où la carte serait générée à la volée, lors de recherches effectuées sur internet. Par contre, elle est très importante dans le cadre de l'apprentissage des leçons, lorsque l'élève a généré une carte à partir d'un texte de manuel scolaire ou d'un texte rédigé en cours sous la dictée du professeur. L'élève peut alors ajouter d'autres informations à la carte, en retirer, puis la sauvegarder et la consulter plus tard pour réviser. Pour aller plus loin, l'utilisateur peut même lier plusieurs cartes ensemble et gérer ces liens *via* le volet affiché à gauche de la carte dans l'interface (voir Figure 9.1).

9.1.3. Autres exemples

Pour finir la présentation des cartes générées par le LICI, j'ai souhaité présenter les résultats obtenus à partir des textes utilisés pour l'expérimentation dans le Chapitre 7.

9.1.3.1. Texte d'Histoire

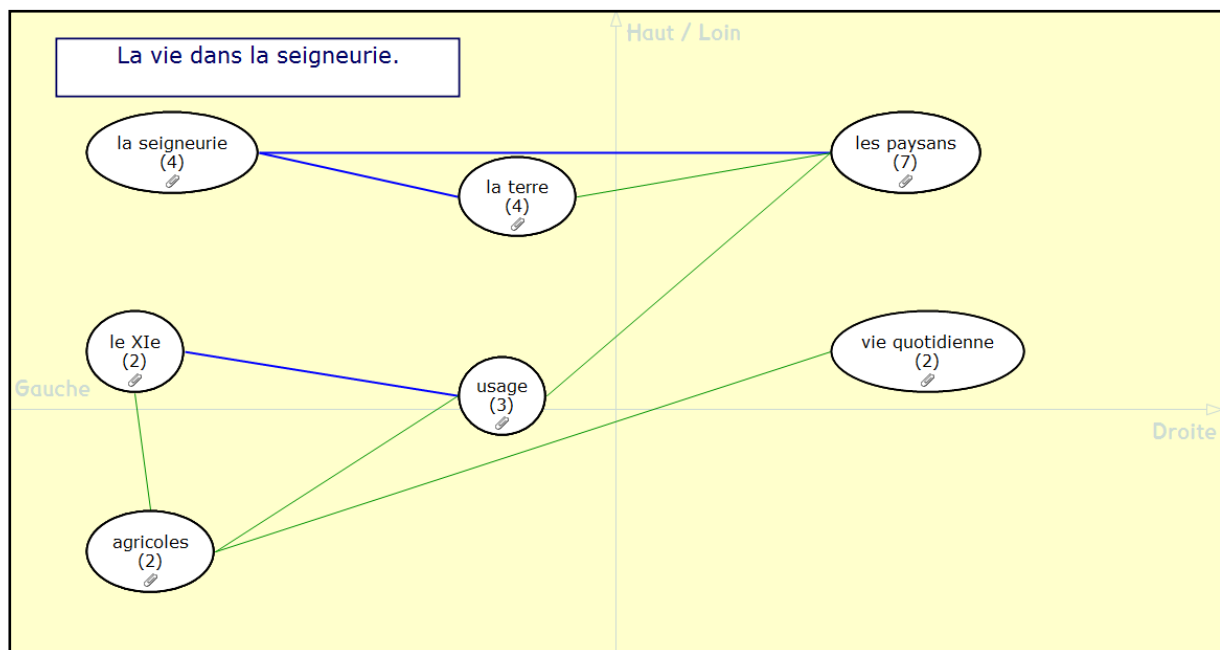


Figure 9.12 Carte générée par le LICI pour le texte d'Histoire de l'expérimentation.

Cette carte est évidemment très différente de celle que j'ai réalisée à la main dans le cadre de l'expérimentation. Tout d'abord, ce n'est pas une carte hiérarchique. Cela ne permet notamment pas d'englober plusieurs éléments sous un même terme et limite les relations du type hyponyme/hyperonyme. Ensuite, une partie des termes-clés, ceux qui concernent le seigneur, n'est pas présente dans la carte générée avec le LICI. Par exemple "château fort", "seigneur" ou encore "droit de ban". Cependant, le côté de la carte dessinée manuellement qui traite des usages des paysans est assez bien couverte, notamment si l'on fait afficher les

concordances des différents nœuds ("agricoles", "usage", "vie quotidienne" et "les paysans"). Je note aussi que l'information sur l'époque dont traite le texte est importante et que je l'avais omise dans ma carte manuelle. Concernant l'absence de certains termes-clés, elle peut être compensée par une adaptation des paramètres pour générer une carte contenant plus de termes-clés.

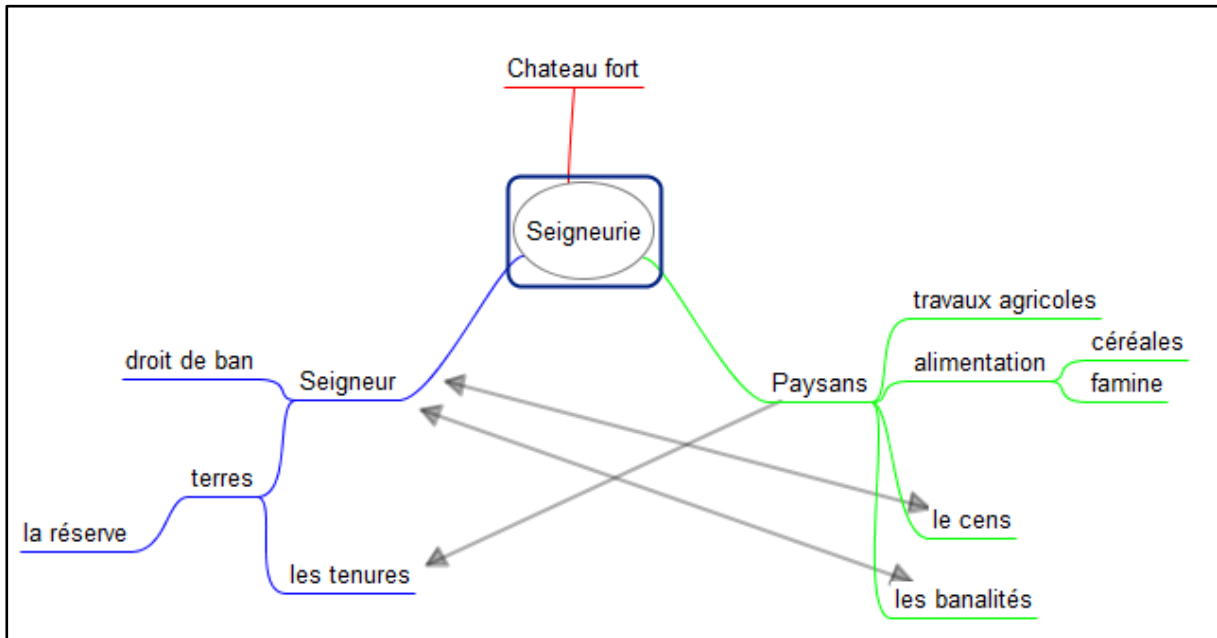


Figure 9.13 Rappel de la carte produite à la main pour le texte d'Histoire de l'expérimentation.

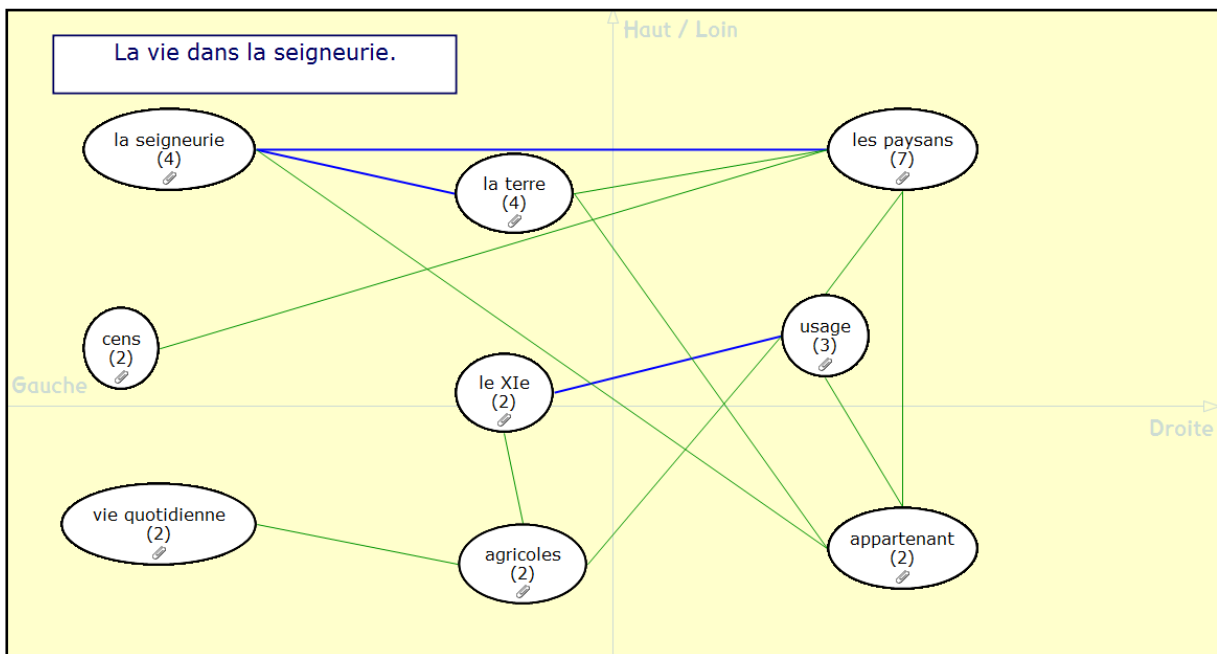


Figure 9.14 Carte plus complète générée par le LICI pour le texte d'Histoire.

La Figure 9.14, présente la carte obtenue lorsque l'on autorise un plus grand nombre de termes-clés et de liens sur la carte. Le terme "cens" qui était attendu figure maintenant parmi les termes-clés. Si la plupart des autres termes ne figure toujours pas dans la carte, c'est parce que leur nombre d'occurrences n'est que de 1 et qu'ils ne seront donc jamais détecté comme potentiel graphie-clé. Malgré le reste des éléments pris en considération par l'algorithme du LICI, le nombre d'occurrences reste un critère de sélection important et cela défavorise malheureusement le traitement des textes très courts. Pour cette raison, la version commerciale, le Cartographe, refuse de traiter un texte s'il ne dépasse pas un certain nombre de graphie au total. Toutefois, le résultat que l'on peut observer sur la Figure 9.14 reste très intéressant, surtout complété par l'accès aux concordances de chacun des termes-clés.

9.1.3.2. Texte de géographie

La Figure 9.15 présente la carte obtenue avec le LICI à partir du texte de géographie utilisé lors de l'expérimentation. Tout comme pour le texte d'Histoire, j'ai ajouté plus bas la carte que j'avais réalisée à la main à partir du même texte, afin de pouvoir les comparer facilement (Figure 9.16).

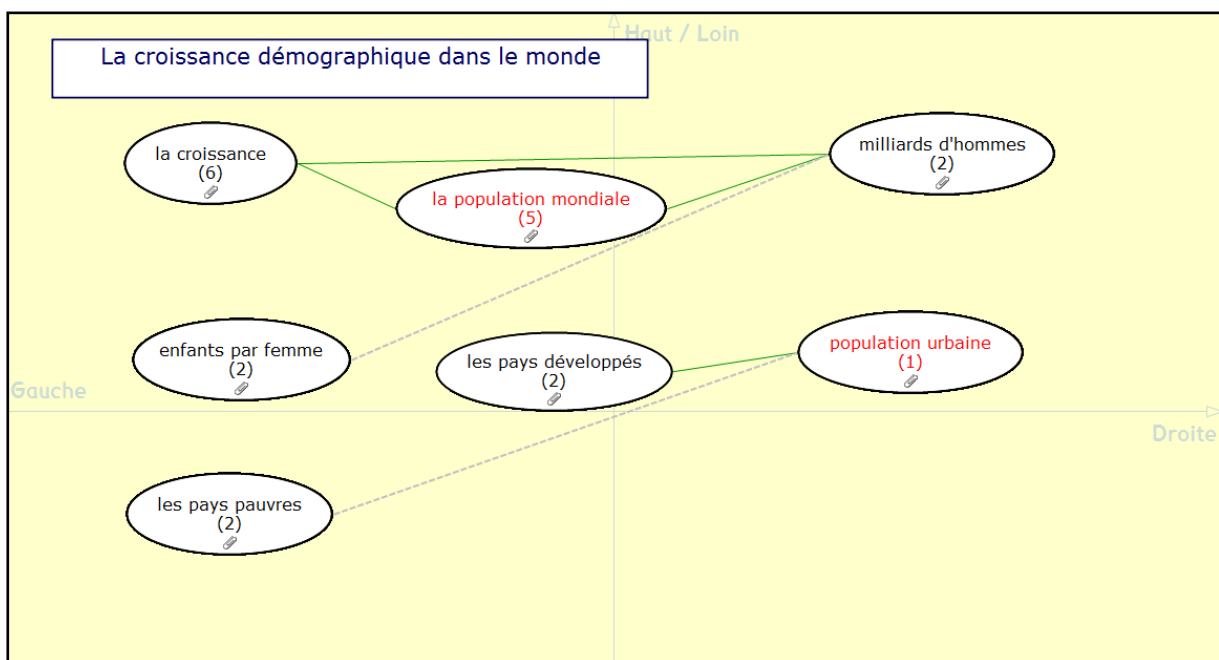


Figure 9.15 Carte générée par le LICI pour le texte de géographie de l'expérimentation.

Comme c'est le cas pour le texte d'Histoire, la carte générée par le LICI contient moins d'informations. De plus, elle ne contient que très peu de liens. Cela est dû, comme je l'avais expliqué dans le Chapitre 7 lorsque j'ai comparé la difficulté des deux textes, à la différence de structure entre les textes. Le texte de géographie est composé de nombreux paragraphes

très courts et donc l'algorithmme du LICI ne trouve quasiment aucun lien (puisqu'il n'y a pas de paragraphe commun) entre les différents termes-clés.

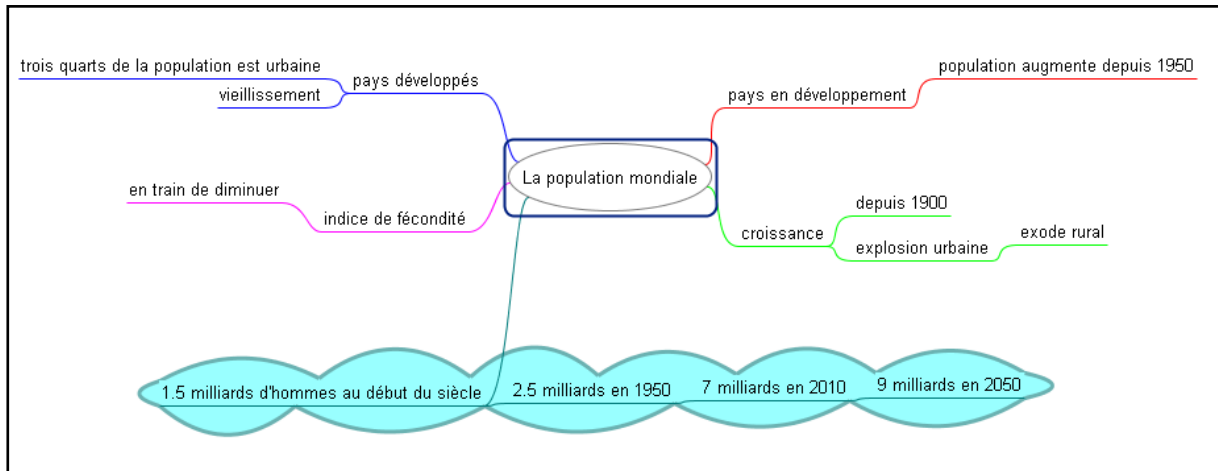


Figure 9.16 Rappel de la carte réalisée à la main pour le texte de géographie de l'expérimentation.

Cependant, pour ce texte comme pour celui d'Histoire, une bonne partie de l'information contenue par le texte est couverte par l'accès aux concordances. Je vais d'ailleurs revenir sur cette question dans le point 9.3.1. Il est aussi immédiatement visible que la carte réalisée à la main est beaucoup plus complexe et chargée en information que la carte générée par le LICI, et ceci peut avoir un impact négatif sur sa lecture, notamment provoquer une surcharge cognitive ou une désorientation. De plus, j'ai déjà évoqué l'effet bénéfique que peut apporter la prévisualisation de certains termes avant de lire un texte et cet effet a de meilleures chances encore d'opérer avec le LICI. En effet, une fois les quelques termes apparaissant dans la carte chargés en mémoire, les sèmes associés à ceux-ci vont être intégrés par le lecteur pour la suite de la lecture et son œil va se porter plus facilement vers ces termes, ce qui peut réduire les sauts de regard incessants qui sont retrouvés chez les lecteurs en difficulté lorsqu'ils abordent un texte complètement nouveau.

9.2. Variantes du programme

J'ai développé différentes variantes du LICI au cours du projet. Elles reposent toutes sur le même algorithme de départ et sont des branches qui ont ensuite évoluées séparément en fonction de leurs différents objectifs.

Tout d'abord, il y a le programme de référence, que j'ai présenté. Il est constitué de deux fichiers *Python*, des fichiers de paramètres et des fichiers d'exceptions. Il se décline comme je l'ai expliqué dans le Chapitre 8 en plusieurs versions, respectant trois formats qui sont lancés suivant trois procédés différents :

- le format de développement, version alpha, utilisé pour les tests est lancé directement grâce à un interpréteur Python ;

- le prototype, version bêta, utilisé principalement pour effectuer des tests de réglage des paramètres, qui peut être lancé *via* l'exécutable que j'ai généré avec le logiciel *PY2exe* ;
- le format final, appelé Cartographe, qui est lancé depuis la barre d'outils Médialexie, grâce à une couche logicielle supplémentaire qui fait appel à l'exécutable et permet son intégration.

En plus de ces versions du programme principal, j'ai développé deux variantes alternatives :

- une variante pour traiter la langue anglaise, en tout point similaire au programme de référence en termes d'algorithme ;
- une variante dite version web.

Les différences majeures entre le programme de référence et la variante anglaise concernent les fonctions de segmentation et la liste d'exclusion. Pour la segmentation, les exceptions sont différentes, bien sûr, mais aussi le traitement de l'apostrophe qui peut être, par exemple, une marque du possessif ou encore, parfois, une élision particulière à l'intérieur d'une graphie (comme dans *don't*). La liste d'exclusion est spécifique à la langue traitée mais il est très facile de s'en procurer une pour la langue anglaise puisque c'est une ressource courante dans les programmes de TAL. En anglais, les mots vides ou grammaticaux sont appelés *stop words*.

La version web permet d'utiliser le moteur de calcul du LICI sans faire appel à sa classe « Graphique » habituelle. Celle-ci a été remplacée par une autre classe avec des fonctions similaires mais qui, plutôt que de générer un fichier au format ctm, compatible avec *l'Imagineur*, produit un fichier de sortie xml différent, à même d'être utilisé par d'autres outils de dessin de cartes, disponibles en ligne. Cette variante a été demandée par l'équipe de Médialexie pour être incluse dans un projet d'outils en ligne, plus légers que la barre d'outils traditionnelle. Dans cette variante, le LICI est beaucoup moins complet puisqu'il ne bénéficie pas des dictionnaires et du lecteur de synthèse intégré, qui sont des fonctions indispensables pour l'aide aux lecteurs en difficulté.

9.3. Évaluation de l'outil LICI

Le projet LICI a pris fin au moment du rendu du prototype de l'outil et je n'ai ainsi pas pu l'évaluer correctement. Pour procéder à cette évaluation à l'avenir, il y aurait trois types de tests à mettre en place. Tout d'abord un test d'utilisabilité, ensuite un test expérimental de l'outil et enfin une évaluation statistique des performances.

9.3.1. Test d'utilisabilité

Le test d'utilisabilité a pour objectif de déterminer si l'outil est pratique et si son fonctionnement est compris et maîtrisé par des utilisateurs débutants. Ce test concerne principalement l'ergonomie du logiciel.

Pour réaliser le test d'utilisabilité, il suffit de réunir un public réduit, par exemple cinq utilisateurs et de le mettre dans une situation la plus proche possible de l'utilisation normale de l'outil (situation dite "écologique"). Pour ce test, je devrai rédiger un scénario à destination des participants. Ceux-ci auront quelques tâches basiques à accomplir avec l'outil, sans assistance, et toutes les traces de leurs actions seront recueillies afin d'analyser le temps nécessaire pour effectuer la tâche et les éventuelles difficultés rencontrées. Pour compléter ce test, les participants devront aussi remplir un questionnaire réflexif sur les tâches à accomplir afin d'évaluer leur satisfaction.

9.3.2. Expérimentation avec l'outil

L'expérimentation à mener serait similaire à l'expérimentation présentée dans le Chapitre 7. Au lieu de fournir une carte réalisée à la main pour l'un des textes, les participants auraient accès au logiciel. Cela implique évidemment, contrairement au test d'utilisabilité, que les participants soient d'abord formés à l'usage du logiciel. Cela pourrait être fait sous la forme d'une ou deux sessions d'entraînement préalable à l'expérimentation, en présence d'un utilisateur expérimenté qui accompagnerait les élèves dans la réalisation d'une tâche similaire : génération d'une carte à partir d'un texte avec le LICl, puis utilisation de la carte et de toutes ses fonctionnalités pour répondre à des questions de compréhension sur le texte. Il est par ailleurs envisageable de réaliser cette expérimentation en utilisant les mêmes textes que l'expérimentation que j'ai présentée dans ma thèse. Cela permettrait de rassembler les résultats et pourrait éventuellement dispenser de faire passer les nouveaux groupes sur la condition expérimentale où les participants n'avaient accès qu'au texte sans carte, en reprenant les résultats de la première expérimentation.

Si l'on reprend par exemple la même tâche à partir du texte de géographie, les participants se retrouveraient, en conservant les paramètres permettant l'affichage de 9 termes-clés, avec la carte présentée sur la Figure 9.17. Il est possible d'aller plus loin et d'anticiper sur les résultats en fonction de la quantité d'informations que les participants vont pouvoir extraire de la carte, une fois formée à celle-ci. En passant en revue les questions de l'expérimentation, une par une, la difficulté du questionnaire de compréhension peut être estimée assez précisément.

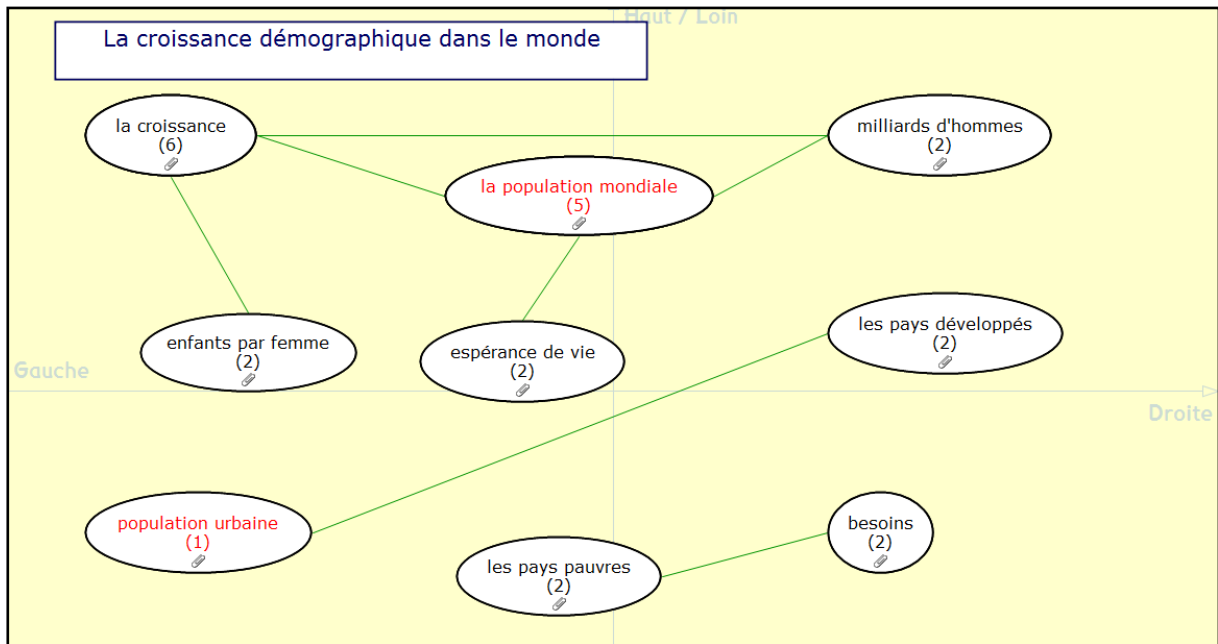


Figure 9.17 Carte générée à partir du texte de géographie de l'expérimentation, avec 9 termes-clés.

Question 1 : "Ce texte se rapporte à :

- A La mondialisation.
- B L'évolution de l'économie.
- C La démographie.
- D La migration des habitants d'Amérique latine."

Le titre de la carte permet de répondre rapidement.

Question 2 : " Le nombre moyen d'enfants par femme en âge d'avoir des enfants c'est :

- A Le taux d'urbanisation.
- B Le taux de natalité.
- C L'indice de fécondité.
- D L'indice de démographie."

Le participant doit seulement être capable de retrouver dans la carte l'expression "enfants par femme" puis de positionner le curseur de la souris sur le nœud pour voir apparaître la réponse (voir Figure 9.18)

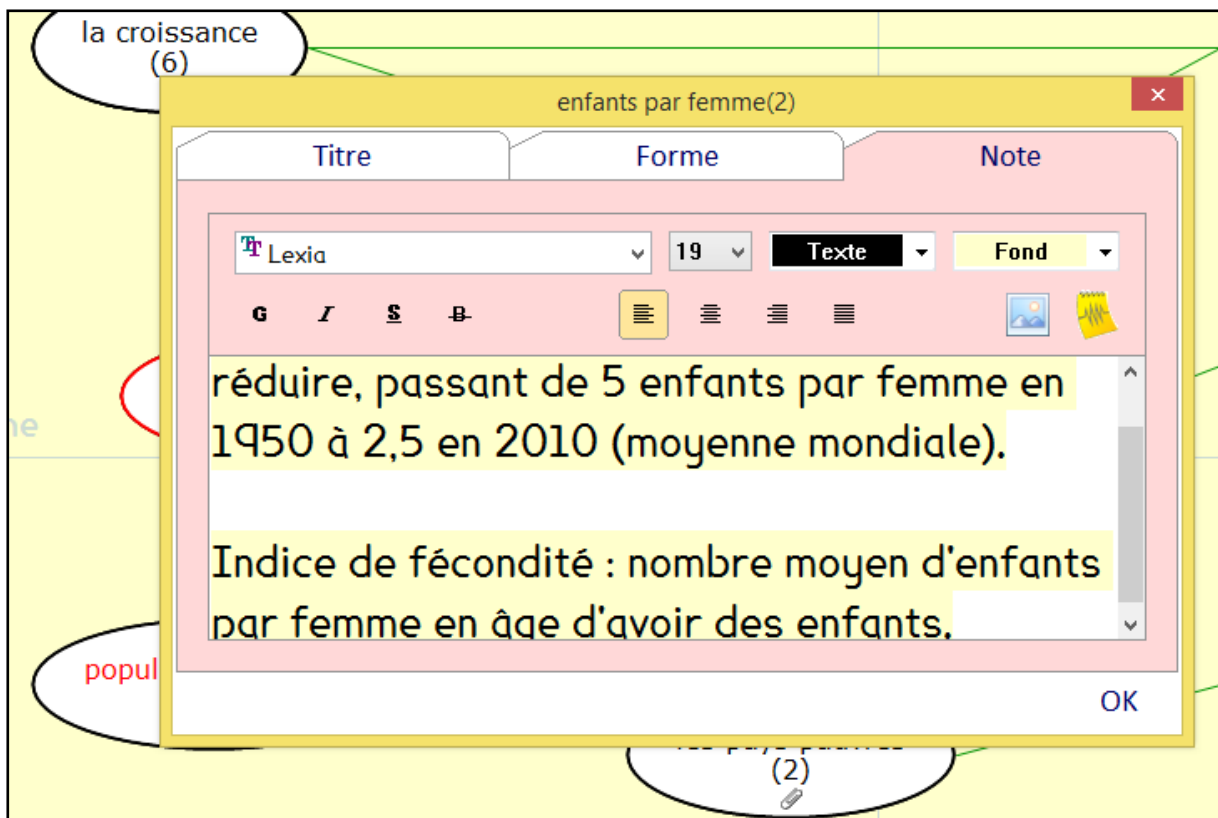


Figure 9.18 Fenêtre de concordance du terme-clé "enfants par femme" sur la carte de géographie.

Question 3 : " L'augmentation de la population mondiale :

- A 4 milliards au début du XXème siècle, 2,5 milliards en 1950, 7 milliards en 2010.
- B 1 milliard en 1800 et 7 milliards en 1950.
- C 1,5 milliards au début du XXème siècle et 7 milliards en 2010.
- D 1 milliard au début du XXème siècle, 2 milliards en 1950, 9 milliards en 2050."

Comme pour la question précédente, il suffit d'identifier le terme-clé qui conduira à l'affichage des bonnes informations. Cette fois, il s'agit du terme "milliards d'hommes" qui semble justement à première vue le plus propice pour répondre à cette question dont toutes les propositions contiennent des populations estimées en milliards (voir Figure 9.19).

Question 4 : " Que peut-on trouver dans les pays développés :

- A Un accroissement démographique important.
- B Une forte urbanisation.
- C Un fort taux de mortalité.
- D Un indice de fécondité important."

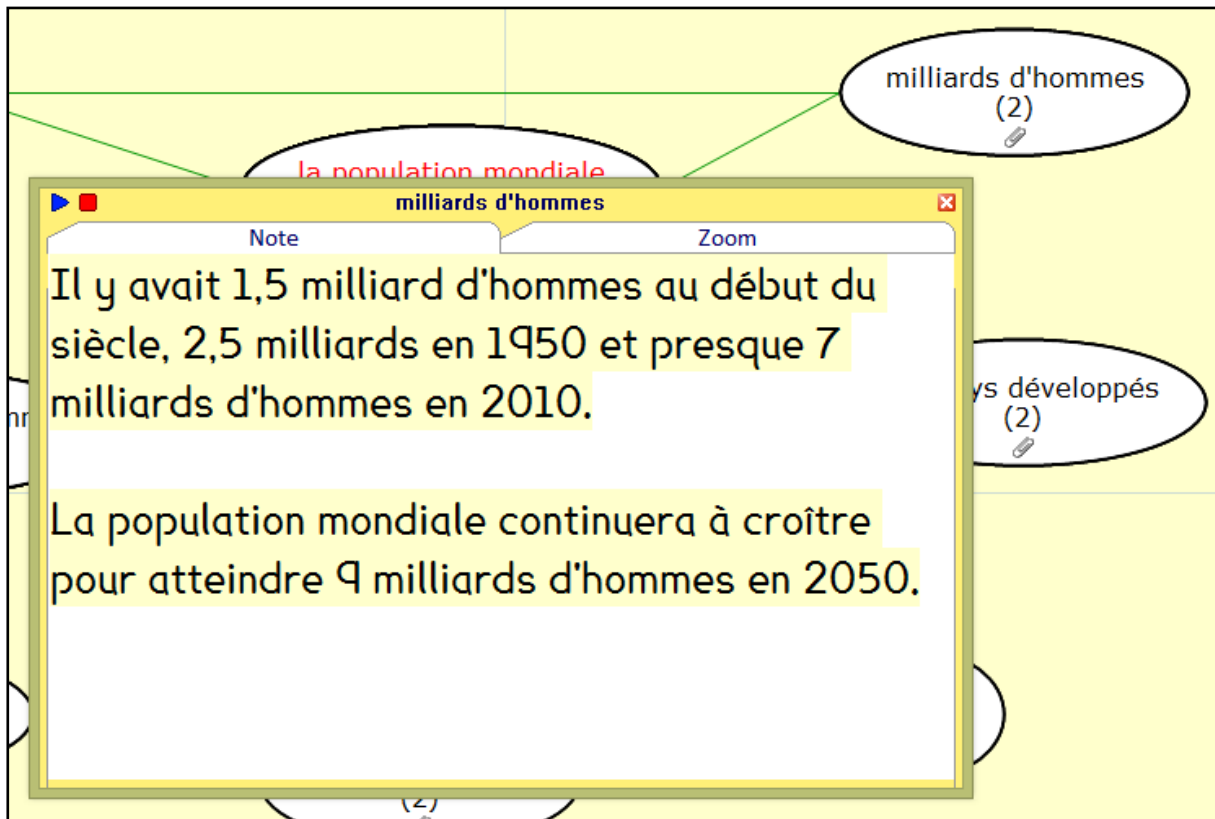


Figure 9.19 Fenêtre de concordance pour le terme-clé "milliards d'hommes" du texte de géographie.

La question 4 respecte toujours la même mécanique, avec cette fois un terme-clé évident puisqu'il est contenu dans l'énoncé, comme pour la question 2. Le contenu de la fenêtre de concordance permet peut être une réponse moins directe puisque la phrase du texte originale est " Dans les pays développés, les trois quarts de la population est urbaine.". Mais il est quoi qu'il en soit plus facile d'accéder à cette phrase qu'avec le texte seul ou avec la carte dessinée que j'avais dessinée à la main pour l'expérimentation précédente.

La question 5, qui concerne la population chinoise, alors qu'elle n'est évoquée nulle part dans le texte, peut par contre faire perdre beaucoup de temps aux participants. En effet, l'information ne peut pas être trouvée et contrairement à la condition expérimentale où le texte est présenté seul, le participant pourrait penser qu'il n'a pas cherché au bon endroit pour avoir l'information et explorer toute la carte, voire même relire le texte, avant de conclure qu'il ne peut pas répondre. Il reste toutefois la possibilité que certains répondent sans même chercher, en ne voyant aucun termes-clés correspondants, et ne perdent pas de temps.

Question 6 : "Depuis 1950, l'espérance de vie mondiale a augmenté de plus de 20 ans et la population mondiale a augmenté de plus de 4 milliards.

A Vrai.

- B Faux.
- C Je ne peux pas répondre."

Pour cette dernière question, le participant devra identifier deux termes-clés afin de croiser les informations contenues dans leurs fenêtres de concordances. Le premier "espérance de vie" est facile à identifier, par contre, le terme-clé "population mondiale", ne permet pas d'accéder à la phrase nécessaire pour extraire le reste de l'information, il faut se référer au terme-clé "milliards d'hommes" comme pour la question 3.

En résumé, certaines difficultés subsistent mais les réponses peuvent être trouvées dans leur ensemble bien plus facilement qu'avec la carte que j'avais réalisée à la main. La question de savoir si l'outil permet réellement une amélioration de la compréhension de texte reste ouverte et il serait probablement nécessaire d'établir un protocole plus sophistiqué, incluant des pré-tests et des post-tests pour évaluer le niveau de compréhension des participants, mais aussi de prendre en compte des études supplémentaires pour étalonner ces tests.

9.3.3. Évaluation de l'outil

La troisième méthode de validation du LICl que j'ai imaginée passe par l'évaluation de ses performances grâce à des indices établis par la recherche dans les domaines du TAL et de la Recherche d'Informations. Il existe, d'une part, des méthodes d'évaluation pour les résumés automatiques de texte et, d'autre part, des protocoles permettant d'évaluer la qualité de l'extraction de mots-clés d'un outil.

9.3.3.1. Évaluation des résumés automatiques

Il y a deux manières d'évaluer un résumé : de façon extrinsèque ou de façon intrinsèque.

La méthode extrinsèque consiste à évaluer le résumé *via* une tâche ultérieure à sa production (Goulet, 2007; Torres-Moreno, 2011). Pour cela, on peut, par exemple, mettre en place une expérimentation pour laquelle on constitue deux groupes. Le premier groupe va devoir répondre à des questions de compréhension sur le texte après avoir lu celui-ci. Le deuxième groupe sera mis face aux mêmes questions mais après avoir lu seulement le résumé généré automatiquement. Une autre manière de procéder peut être d'utiliser le résumé produit dans une autre tâche automatique réalisée par la machine et de comparer la qualité du résultat avec le résultat lorsqu'on fournit le texte intégral à la machine.

La méthode intrinsèque consiste à évaluer le contenu du résumé directement. Cela peut être fait manuellement, mais c'est une tâche coûteuse en temps et en moyens puisqu'il est nécessaire de faire appel à plusieurs experts. Il est aussi possible de réaliser cette tâche de façon semi-automatique, en utilisant un corpus de résumés de références écrits à la main et en comparant le résumé automatique généré à ceux-ci. Enfin, il est possible de procéder à une évaluation intrinsèque totalement automatique, à partir du texte source et de mesures

de divergences statistiques reposant sur les lois de probabilités distributionnelles (Torres-Moreno, 2011).

Lorsqu'on procède à l'évaluation des résumés, les points suivants sont à vérifier (Torres-Moreno, 2011) :

- la grammaticalité des phrases;
- l'absence de redondance des informations;
- la clarté des références (anaphores);
- la cohésion et la cohérence (structure et logique du document).

Cependant l'évaluation est difficile car de nombreuses métriques différentes ont été proposées au fil du temps par la communauté (Das & Martins, 2007).

La communauté de recherche en résumé automatique de texte a mis en place plusieurs campagnes d'évaluation des outils, au fur et à mesure de l'avancée des méthodes dans le domaine. De 1991 jusqu'à 2011 ont eu lieu les campagnes d'évaluations *SUMMAC* puis *NTCIR* et enfin *DUC* et *TAC* (Das & Martins, 2007; Torres-Moreno, 2011).

Le système d'évaluation le plus populaire lors des campagnes d'évaluation récentes est *ROUGE* (*Recall-oriented Understudy for Gisting Evaluation*). Il a été utilisé pour évaluer de nombreux systèmes présentés dans les articles que j'ai pu lire au cours de mes travaux (Bossard & Rodrigues, 2012; Erkan & Radev, 2004; Margarido et al., 2008; Mihalcea & Tarau, 2004; Petersen & Ostendorf, 2007). C'est le système qu'il serait probablement pertinent d'employer pour évaluer le résumé automatique produit par le LICI. Celui-ci repose principalement sur une mesure de rappel calculée à partir des cooccurrences de n-grammes entre un ensemble de résumés de référence et le résumé produit (Torres-Moreno, 2011). Le défaut de cette méthode et de la plupart des méthodes utilisées pour l'évaluation de résumé est de nécessiter des résumés de références, construits ou au moins validés à la main. D'autres méthodes d'évaluation semi-automatiques ont été proposées comme *Basic Elements* (Rankel, Conroy, & Schlesinger, 2012; Torres-Moreno, 2011), *Pyramid* (Bossard & Rodrigues, 2012; Rankel et al., 2012; Torres-Moreno, 2011) et *Qarla* (Torres-Moreno, 2011).

Pour évaluer les résultats du LICI, il pourrait aussi être avantageux de faire appel à des méthodes plus récentes, dont les performances sont estimées supérieures à celles de *ROUGE*, comme celle proposée par Rankel, Conroy et Schlesinger (2012).

9.3.3.2. Évaluation qualitative

Avant de présenter les méthodes d'évaluation qui sont proposées par la recherche pour la tâche d'extraction des mots-clés, je vais revenir sur le début d'évaluation de la partie « résumé automatique » du LICI que j'avais entrepris au cours du projet. Lorsque le prototype du LICI n'était pas encore terminé, j'ai établi un document présentant une comparaison des résumés obtenus avec le LICI et d'autres systèmes de résumé automatique,

dont celui de Cordial (Synapse Développement, 2016), qui était intégré à la barre d'outils Médialexie. Ce document a été présenté aux membres de l'équipe de Médialexie pour qu'ils puissent exprimer leur niveau de satisfaction et valider, ou non, les résultats obtenus avec l'algorithme d'extraction de phrases que j'ai présenté dans le 0.

Au départ, cette petite étude de performances que j'ai menée devait simplement être une comparaison de la sélection de phrases-clés, entre le programme de Cordial et mon programme personnel, codé en Python et intégré. J'ai ajouté, au fur et à mesure, d'autres « résumeurs » que j'ai rencontrés dans mes recherches, qui sont accessibles gratuitement et hébergés en ligne. Ces autres résumeurs sont :

- « Text compactor » (Edyburn, 2010) est un programme conçu pour travailler sur la langue anglaise. Il propose un curseur pour régler le nombre de phrases sélectionnées en sortie, mais celui-ci est peu précis et plus le texte est long plus le nombre de phrases minimales est grand, ce qui rend la comparaison avec les autres résumeurs impossible pour des textes longs.
- « Websummarizer » (<http://www.websummarizer.com>, ce programme n'est plus en ligne actuellement) est un programme intéressant pour résumer les articles de Wikipédia. Il propose des résumés automatiques par extraction de phrases, qui semblent basés sur les mots-clés Wikipédia (c'est-à-dire les mots pour lesquels il existe une entrée d'article Wikipédia). Websummarizer permet également d'obtenir une carte conceptuelle sommaire, qui fait apparaître les autres pages Wikipédia liées à la page traitée. Une option permet de résumer n'importe quel texte saisi directement par l'utilisateur ou copié depuis une autre page web, mais cette option est disponible uniquement en version payante.
- « Gist » (2013) est un programme de résumé automatique pour la langue anglaise également. Il se greffe sur le navigateur internet comme un favori et travaille sur la page courante, donc à partir d'un texte formaté en langage html. Il ne permet pas de régler la taille du résumé.
- « Smmry » (2013) est un autre programme en ligne, aussi conçu pour traiter la langue anglaise. Plusieurs options sont disponibles comme la sélection du nombre de phrases en sortie, ou encore l'ajout de mots-clés en entrée, à partir desquels le programme va s'adapter. Il s'agit donc d'une méthode de résumé guidée. Malheureusement, aucune information n'est fournie sur le fonctionnement de cette option.

Pour cette comparaison de performance, j'ai fait appel à différents types de textes, dont certains issus de mon exemplier. Les trois types de textes sont : des textes issus de manuels scolaires, des articles wikipédia et des textes de presse, issus du journal « Le Monde ». L'objectif était comme pour le reste du projet de se centrer sur le type de textes manipulés par les collégiens dyslexiques.

Pour les textes issus de manuels scolaires, les sorties de Cordial, de Smmry et de mon programme ont été jugées convaincantes et comparables, tandis que les autres programmes ont donné de mauvais résultats.

Pour les articles de Wikipédia, mon programme donne des résultats plus cohérents que celui de Cordial, notamment parce qu'il accorde un poids beaucoup plus important aux phrases situées en début de texte et que ce critère fonctionne bien avec les articles Wikipédia. Cependant, l'outil de Cordial a l'avantage de mieux identifier les entités nommées, telles que les dates, les noms de lieu ou de personnages. Cela est un avantage pour des formats assez longs tels que les articles de Wikipédia. Toutefois, les résultats proposés par l'outil de Cordial souffrent beaucoup du problème de cohérence, impliqué par des références anaphoriques non-résolues. Les autres programmes affichent des résultats moins convaincants.

Pour le dernier type de texte, ceux issus de journaux en ligne, c'est Text compactor qui obtient les résumés les plus convaincants. Les résultats de l'outil de Cordial et du LICI restent bons, en affichant toujours la même nuance : des éléments plus spécifiques au texte sont extraits par l'outil de Cordial, mais l'ensemble des phrases sélectionnées par le LICI est plus cohérent.

Deux perspectives d'amélioration pour le LICI sont ressorties de cette étude :

- Adapter l'algorithme au nombre de phrases demandées en sortie.

Tel qu'il existe actuellement le LICI sélectionne les phrases dans un certain ordre, établit une liste et ensuite les n premières phrases sont extraites de cette liste puis triées dans leur ordre d'apparition dans le texte. Il serait intéressant que ce ne soit pas les mêmes phrases qui soient sélectionnées en premier lorsque le nombre de phrases demandé en sortie varie. Plus le nombre de phrases est réduit, plus les phrases génériques devraient avoir de poids, plus le nombre de phrases est grand, plus les phrases contenant des éléments spécifiques devraient être sélectionnées.

- Prendre en compte les entités nommées.

La détection des entités nommées peut être intéressante et leur prise en compte dans la pondération des phrases permettra notamment de faire la différence entre les phrases génériques et spécifiques, comme je l'ai suggéré précédemment.

Finalement, au vu de ma petite étude, l'équipe de Médialexie s'est montrée satisfaite des performances de l'outil, sachant que le prototype pourrait être amélioré par la suite et que des méthodes d'évaluations techniques, comme celles présentées dans le point précédent, devront être appliquées par la suite.

9.3.3.3. Évaluation de l'extraction de mots-clés

La performance d'un système pour extraire les mots-clés d'un texte peut être évaluée de manière assez similaire à la qualité d'un résumé automatique.

La méthode la plus classique est de définir une tâche d'extraction et de demander, d'une part, à des experts du domaine des documents choisis de la réaliser à la main et, d'autre

part, d'appliquer l'outil d'extraction automatique sur les mêmes documents. Les résultats sont ensuite jugés selon des mesures relativement objectives que sont la précision, le rappel et le F-score (ou F-mesure).

Tout comme pour le calcul de l'IDF que j'ai présenté précédemment, il existe plusieurs formules pour calculer la précision, le rappel et le F-score. Quel que soit la formule utilisée, la précision représente le rapport entre le nombre de graphies-clés "correctes" sélectionné par l'outil et le nombre de graphies-clés total sélectionné. C'est à dire le rapport entre les graphies-clés sélectionnées par l'outil qui font effectivement partie des graphies-clés sélectionnées manuellement par les experts et les graphies clés sélectionnées par l'outil alors qu'elles n'ont pas été jugées pertinentes par les experts. Cette dernière catégorie de graphies-clés superflues constitue le "bruit".

Le rappel, quant à lui, représente le rapport entre le nombre de graphies-clés "correctes" sélectionné et le nombre de graphies-clés sélectionné par les experts. C'est à dire le rapport entre les graphies-clés sélectionnées par l'outil, faisant partie des graphies-clés sélectionnées manuellement par les experts, et le total des graphies-clés sélectionnées par les experts. Les graphies-clés sélectionnées par les experts mais qui n'ont pas été retrouvées par l'outil constituent le "silence".

L'objectif des outils d'extraction est donc de minimiser à la fois le bruit et le silence. Le F-score représente une combinaison des valeurs de rappel et de précision. Comme pour l'évaluation des résumés automatiques, il existe des campagnes d'évaluation des outils d'extractions de mots-clés, menées par la communauté en Recherche d'Informations, par exemple *TREC* (Das & Martins, 2007; Robertson et al., 1995) pour la communauté internationale ou encore *DEFT* pour la communauté française. Voici pour exemple la formule proposée pour calculer le F-score au cours de la campagne *DEFT* de 2012 (Paroubek, Zweigenbaum, Forest, & Grouin, 2012) :

$$\text{F-mesure} = \frac{(2 \times p \times r)}{p+r}$$

Dans cette formule, p est la précision et r est le rappel. Leurs valeurs sont calculées comme je l'ai expliqué précédemment.

Ces méthodes d'évaluation sont très faciles à appliquer et il serait intéressant de déterminer le niveau de performance du LICI avec celles-ci en comparaison des performances des autres outils connus. Le seul élément manquant pour effectuer cette évaluation ici est le corpus de référence. J'ai déjà rassemblé un certain nombre de textes prototypiques à traiter par la LICI au sein de mon exemplier, l'étape suivante pour l'évaluation sera d'extraire les termes-clés de ces textes à la main. Il sera ensuite possible de comparer les termes-clés extraits par l'outil et ceux extraits à la main *via* les différentes mesures et d'apprécier ces résultats vis à vis des outils du domaine de la Recherche d'Informations, même si ceux-ci sont généralement destinés à d'autres types de texte, tels que les articles scientifiques.

Après avoir rappelé les différentes tâches nécessaires à l'évaluation de l'outil LICI, je conclurai ce chapitre en évoquant les pistes de développement futures d'ores et déjà prévues avant même l'évaluation de l'outil, ainsi que celles envisagées au cours du projet mais qui n'ont pas été mises en place.

9.4. Perspectives de développement

L'un des objectifs principaux de l'outil LICI est de proposer une représentation simplifiée pour soulager la charge en mémoire de travail et éviter la surcharge cognitive, tout en maintenant un lien fort avec le texte grâce à un système d'accès progressif à son contenu.

9.4.1. Affichage progressif de la carte

Pour aller plus loin dans cette optique, j'ai envisagé plusieurs pistes. Tout d'abord, opter pour un affichage progressif de la carte. Une fois tous les calculs effectués par le programme, la carte pourrait non pas être présentée dans son ensemble, mais petit à petit, en commençant soit par le terme-clé le plus fréquent, soit par le terme-clé ayant le plus de relations avec les autres termes de la carte. J'avais établi deux méthodes d'affichage progressif lors de l'ébauche de mon algorithme. Le premier consiste en un affichage par branches et le second en un affichage par niveaux. Ces deux procédés ont été envisagés au cours du projet mais ne sont plus adaptés à la sortie de l'outil actuel, car ils s'appliquent sur une carte hiérarchisée.

Pour illustrer ces deux concepts, j'ai réalisé des exemples, dessinés à la main à partir d'éléments graphiques issus de *Power Point*, en m'appuyant sur un texte de mon exemplier de travail, ici un article de Wikipédia (2017) concernant la citoyenneté à Rome. Voici un court extrait de cet article :

« Dans la Rome antique, la citoyenneté romaine offre des droits étendus et fondamentaux. L'ensemble de ces droits forme le droit de cité romain (jus civitas ou civitas). À l'origine, le droit de cité, c'est-à-dire la reconnaissance de la citoyenneté, est réservée aux hommes libres inscrits dans les tribus de la ville de Rome et de son territoire limitrophe. En -89, il est étendu à tous les hommes libres d'Italie ; trois siècles après, en 212, il est accordé à tous les hommes libres de l'Empire romain. L'extension de la citoyenneté fut un puissant vecteur d'attraction de la Rome antique. [...] Par la suite la création de municipes ne conféra plus que le droit latin. Une colonie latine ou un municipes latin peuvent ensuite devenir une colonie romaine : la citoyenneté est conférée à tous les habitants libres de la cité. Toutes les cités ne connaissaient pas cependant cette évolution du droit de leur citoyen. Certains exemples sont bien connus comme par exemple le cas de Lepcis Magna, cité libre d'Afrique proconsulaire devenue municipes latin sous Vespasien et colonie romaine sous Trajan. »

Ces affichages alternatifs peuvent être complétés par plusieurs idées que j'évoquerai par la suite.

9.4.1.1. Affichage par branches

La Figure 9.20, permet de visualiser la carte finale telle qu'elle pourrait être calculée par l'outil.

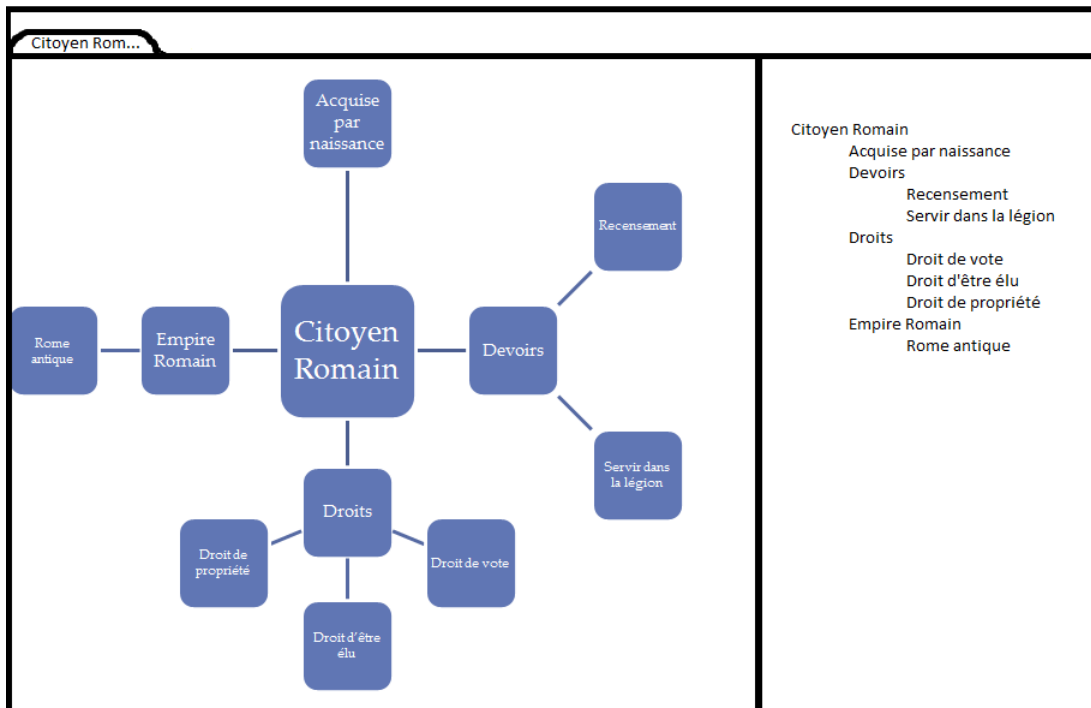


Figure 9.20 Carte hypothétique dessinée à partir de l'article Wikipédia sur la citoyenneté à Rome.

Selon le premier procédé d'affichage, par branches, la carte s'afficherait en partant du nœud central pour être dévoilée au fur et à mesure, par clics successifs de l'utilisateur, suivant les étapes intermédiaires présentées par la Figure 9.21.

Le volet à droite de la carte permet de visualiser les relations hiérarchiques entre les éléments de la carte. Il est d'ailleurs intéressant d'utiliser un volet pour afficher d'autres informations concernant la structure du texte, dans l'interface de *l'Imagineur*, il existe un tel volet, à gauche, mais celui-ci permet de créer et de gérer des relations entre différentes cartes. Il pourra être envisagé dans des développements futurs d'étendre l'utilité de ce volet à plusieurs niveaux de détails différents : des informations sur la structure intra-carte et des informations sur la structure inter-cartes (comme c'est le cas actuellement).

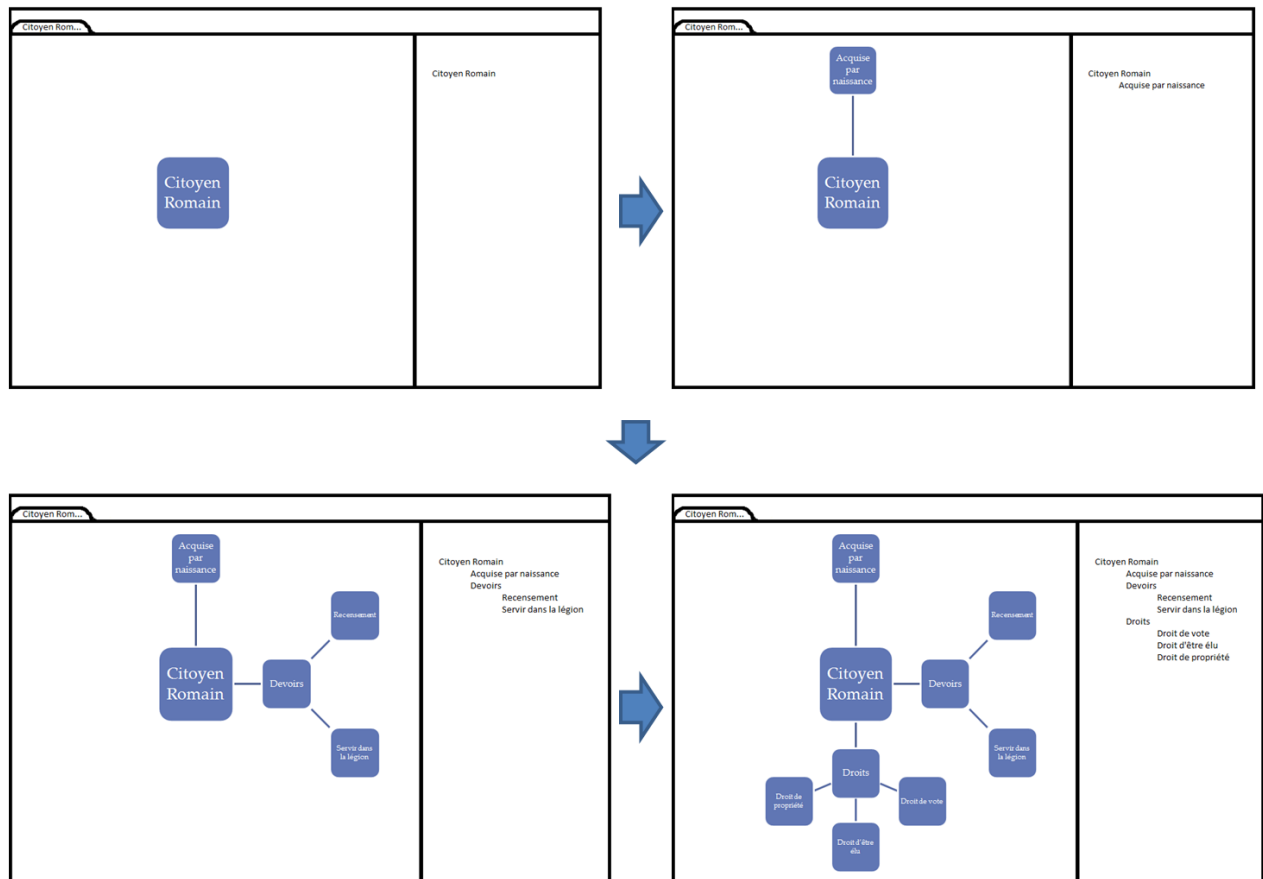


Figure 9.21 Etapes de l'affichage par branches de la carte sur la citoyenneté à Rome.

9.4.1.1. Affichage par niveaux

Ce second procédé d'affichage permet également de dévoiler la carte au fur et à mesure, mais selon la profondeur des nœuds dans l'arbre, c'est à dire que les étapes vont correspondre à des degrés de détails différents plutôt qu'à une logique thématique comme c'est le cas pour l'affichage par branches. La Figure 9.22 permet de visualiser les étapes de l'affichage par niveaux pour la carte sur la citoyenneté à Rome.

9.4.1.1. Compléments à l'accès progressif

En complément à ces variantes d'affichage, plusieurs adaptations devraient être mises en place. D'abord, la possibilité d'entendre les termes-clés, lus par la synthèse vocale, au fur et à mesure que ceux-ci sont affichés sur la carte. Dans ce cas, l'affichage se ferait de façon encore plus progressive, nœud par nœud, comme des sous étapes de celles proposées par les figures 9.21 et 9.22, le contenu de chaque nœud étant lu à son tour.

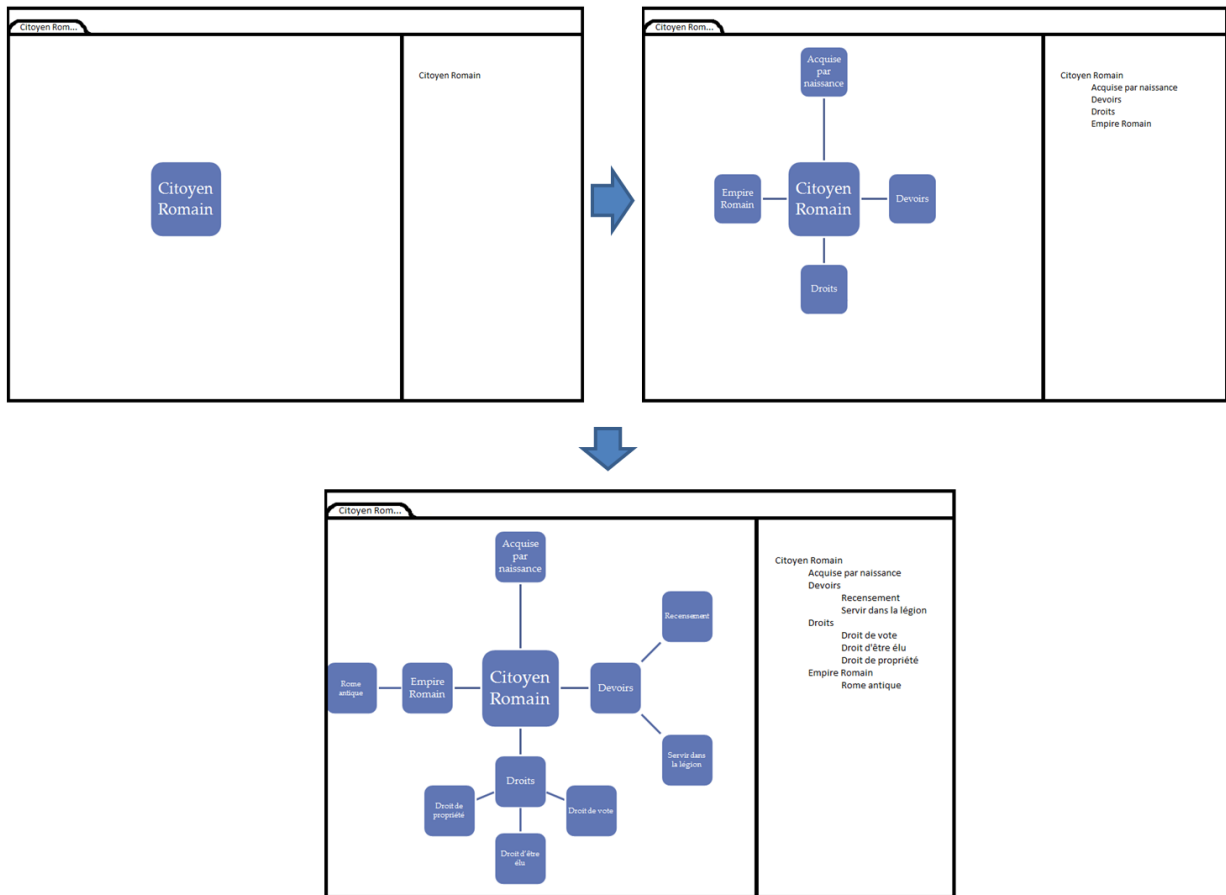


Figure 9.22 Etapes de l'affichage par niveaux de la carte sur la citoyenneté à Rome.

D'autres aménagements sont possibles afin d'augmenter l'interactivité de la carte. Une première piste consiste à modifier les nœuds affichés en fonction du parcours de l'utilisateur, en cliquant sur un nœud, celui-ci pourrait le transformer en nouveau nœud central et demander au programme de recalculer dynamiquement les nœuds affichés. C'est-à-dire que l'utilisateur pourrait sélectionner un nœud et demander à l'outil de redessiner la carte avec le terme-clé contenu comme notion centrale. Cela amènerait à la disparition de certains nœuds, qui n'étaient peu ou pas en relation avec ce terme-clé et à l'apparition d'autres nœuds, qui avaient été jugés moins significatifs par l'algorithme mais qui sont plus proches de la nouvelle notion centrale choisie. Pour que cela fonctionne idéalement il serait plus pertinent de présenter une carte hiérarchisée et de calculer les liens entre les nœuds avec un algorithme de centralité comme dans la méthode proposée dans l'article de Tauveron (2012).

Une deuxième piste serait de créer un réseau de cartes, avec des sous cartes incluses dans la carte principale. Cette possibilité de navigation est déjà prévue par *l'Imagineur*, grâce au volet à gauche de l'interface et des raccourcis pour rentrer dans une autre carte à partir d'un nœud lorsqu'on réalise un clic droit sur celui-ci. Il ne manque plus qu'à faire calculer par le LICI différentes sous cartes pour chaque nœud différent du nœud central. La Figure 9.23

montre un exemple d'une telle navigation dans la carte, toujours à partir du texte sur la citoyenneté à Rome. Un clic droit et une sélection de l'option correspondante sur un nœud permettrait l'ouverture d'un nouvel onglet contenant une sous-carte, centrée sur un nœud fils du nœud central de la carte principal.

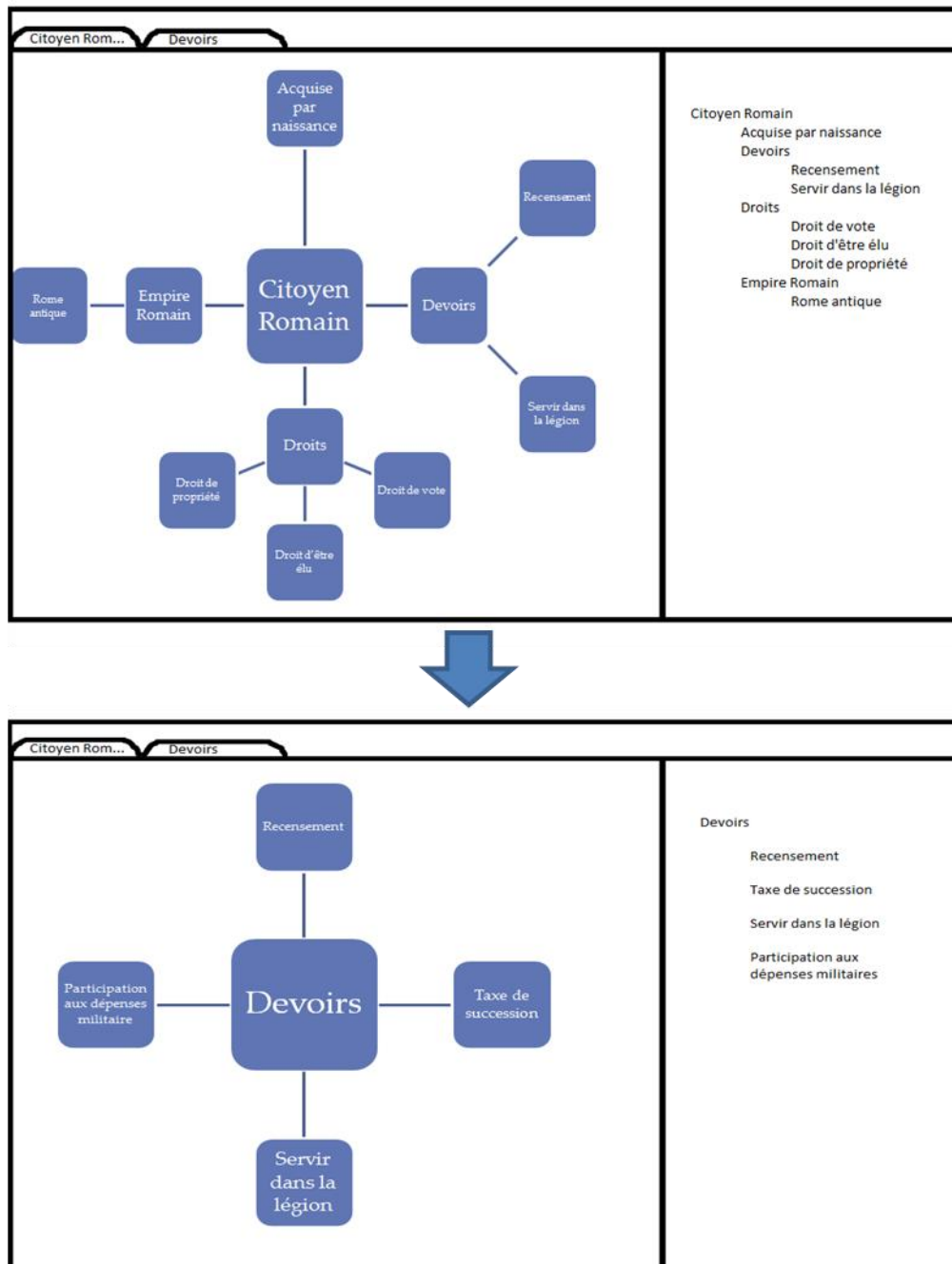


Figure 9.23 Navigation vers une sous carte à partir d'un nœud.

9.4.2. Liste d'exclusion

L'un des défauts de l'algorithme du LICl est de miser principalement sur une liste d'exclusion pour faire le tri entre les graphies considérées comme candidates au statut de graphies-clés et celles qui ne le sont pas. L'apport de ressources extérieures, comme des étiquettes morphosyntaxiques serait d'une grande aide. En effet, certaines catégories grammaticales sont plus propices à constituer des termes-clés, comme les noms. Il serait évidemment possible d'utiliser les étiqueteurs morphosyntaxiques connus dans un projet de recherche hors objectifs commerciaux. Mes futurs travaux en dehors du cadre de ce projet feront appel à davantage de ressources extérieures et à d'autres méthodes développées par les chercheurs dans le domaine du TAL ou de la RI, comme ceux que j'ai présentés dans le 0.

Du côté du Cartographe, l'équipe de Médialexie a, au contraire, proposé d'aller plus loin avec la liste d'exclusion, en intégrant aussi des noms communs de "haut niveau" dans la taxonomie de la langue, c'est à dire des noms admettant peu d'hyperonymes et qui sont donc considérés comme très généraux. Par exemple, la graphie "meuble" serait ajoutée à la liste d'exclusion, tandis que "buffet" serait toujours une candidate pour établir la liste des graphies-clés. De la même manière "animal" serait ajoutée dans la liste d'exclusion, mais pas "doberman". Cette méthode, qui paraissait séduisante sur certains exemples précis parmi les textes testés par l'équipe présente plusieurs problèmes. Tout d'abord, il est très difficile d'établir la limite entre les graphies qui seront considérées trop générales et celles qui ne le seront pas, et le type de texte ainsi que le domaine traité par le texte ont une incidence importante sur le rôle joué par une même graphie. Ensuite, et c'est la critique la plus importante, cette idée de sélectionner les termes, les notions, qui sont spécifiques au texte se rapproche de deux procédés décrits dans le 0 : d'une part du résumé par abstraction, puisque l'on interprète et que l'on juge la valeur des graphies employées et d'autre part de l'IDF, puisque l'on souhaite établir une nuance sur la valeur d'une graphie en fonction de son emploi en dehors du texte traité. Ces deux méthodes sont intéressantes, mais ne correspondent pas du tout aux autres choix de développement que j'ai faits au cours du projet.

Si l'on souhaite tendre vers un abrégé (résumé par abstraction), il est beaucoup trop agressif, vis à vis des informations contenues dans le texte, de supprimer des graphies sous prétexte qu'elles sont d'un niveau d'abstraction très haut. La meilleure méthode semble de d'abord déterminer le niveau d'abstraction du texte, en repérant toutes les graphies candidates, après élimination des mots grammaticaux, et en consultant une ressource extérieure, comme par exemple une taxonomie. Si une majorité de graphies candidates se situent à x niveaux de la racine dans la taxonomie, le niveau d'abstraction peut être considéré comme x et alors, à ce moment-là, il est possible de supprimer du texte des graphies dont le niveau d'abstraction est très éloigné de x (supérieur ou inférieur). Cependant, il sera toujours préférable de les remplacer par leur plus proche parent de niveau x.

Afin de mieux expliquer cette dernière position, je prends un exemple dans lequel j'ai déterminé le niveau d'abstraction des graphies dans la taxonomie utilisée de manière arbitraire. Admettons que dans le texte traité on rencontre les graphies "chat", "véhicule", "chien", "râteau", "charrette", "renard", "chaise", "outil", "fauteuil", "animal" et "meuble". Le programme fait appel à la taxonomie pour déterminer le niveau d'abstraction et constate qu'il est d'une valeur moyenne de 5,3. Les graphies "chat", "chien", "râteau", "renard", "chaise" et "fauteuil" seront conservées en tant que candidates, car elles sont de niveau 6. La graphie "meuble" sera conservée car elle est de niveau 5, tandis que les graphies "véhicule" et "outil" (de niveau 4) et la graphie "animal" (de niveau 3) seront éliminées.

En ce qui concerne l'idée de créer une sorte de substitut à IDF, mais de façon arbitraire, cela semble très risqué, car aucun indice ne permet de déterminer *a priori* la rareté et l'importance d'une graphie dans un texte sans contexte. Pour reprendre l'exemple plus haut : on décide d'éliminer la graphie "meuble" et de conserver la graphie "buffet". Si le texte traité a pour sujet la restauration de meubles, mais ne fait aucunement mention du type de meuble, en se centrant sur les techniques de restauration utilisées; il est crucial que l'outil soit capable d'extraire la graphie "meuble" pour constituer le terme-clé "restauration de meuble" et l'afficher sur la carte générée. De façon plus générale, il semble à la fois absurde et aussi contraire à la logique de résumé par extraction d'établir une liste d'exclusion trop importante, car il est impossible de prédire le sujet des textes qui vont être traités par l'outil et ceux-ci peuvent avoir pour thème principal des sujets extrêmement abstraits. Le mécanisme d'accès progressif au texte, *via* la liste de concordances de chacun des termes permet déjà de prévenir la difficulté d'interprétation d'un terme-clé, puisque tout terme-clé paraissant trop vague sera remis en contexte en un clic de l'utilisateur. Je souhaite tout de même proposer une alternative permettant de satisfaire cette volonté de créer une sorte d>IDF alternatif, dans le cadre du Cartographe, sans avoir besoin d'établir un corpus de référence. Il est envisageable de créer une base de données, pour chaque utilisateur, à partir de ses propres utilisations du Cartographe. Ce système fonctionnerait de la même manière que pour d'autres outils de la barre Médialexie, comme par exemple la dictée vocale. Celle-ci est enrichie par apprentissage au fur et à mesure de son utilisation, en enregistrant les modifications apportées, telles que des variations dans la prononciation des mots, dans le profil de chaque utilisateur. L'algorithme du Cartographe pourrait donc inscrire dans une base de données, propre à chaque utilisateur, toutes les listes de graphies-clés établies précédemment lors des usages successifs de l'outil. Ensuite, le programme utiliserait cette base pour calculer la fréquence documentaire d'une graphie, puis appliquerait une méthode similaire à TF-IDF ou Okapi afin de déterminer les graphies-clés du nouveau texte à traiter.

9.4.3. Usage de la multimodalité

J'ai déjà évoqué, notamment dans les chapitres 3 et 5, l'intérêt de faire varier les modalités de présentation pour adapter les informations aux différents profils d'utilisateurs. Le modèle

de représentation que j'ai choisi pour l'outil LICl actuel fait déjà appel à différentes modalités puisqu'en plus du texte, un sens particulier est accordé à l'épaisseur des liens, leurs couleurs et la couleur de la police du terme-clé contenant la graphie-clé la plus fréquente. Toutefois, cette idée pourrait être poussée plus loin, en affectant une signification différente à chacune de ces modalités, d'abord, puisque j'ai utilisé l'épaisseur des liens et leurs couleurs de manière redondante. Ensuite, en incluant d'autres modalités, par exemple en donnant une signification à l'éloignement entre deux nœuds de la carte ou encore en faisant varier les formes des nœuds (losanges, rectangles, ovales). Enfin, il est possible d'ajouter des sons qui seraient activés en fonction de certains événements, c'est-à-dire en fonction des interactions entre l'utilisateur et la carte. La Figure 9.24 présente un exemple d'usage de différentes formes pour les nœuds et de différentes couleurs pour les termes. La carte présentée sur cette figure a été générée à partir d'une ancienne version du LICl, dans l'algorithme de celle-ci la couleur des termes correspondait à leur fréquence dans le texte tandis que la forme des nœuds correspondait à l'étiquette morphosyntaxique qui leur avait été attribuée. Ici, les verbes étaient affichés dans un nœud triangulaire, les noms propres dans des nœuds rectangulaire et les autres termes dans des nœuds plus classiques.

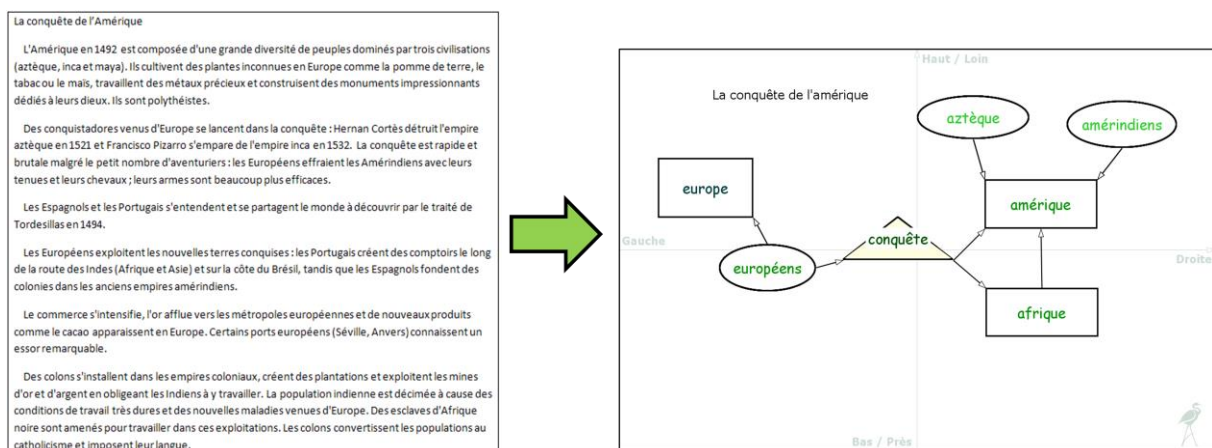


Figure 9.24 Texte et carte sur la conquête de l'Amérique avec un usage avancé des modalités d'affichage qui a été abandonné.

Pour finir, une autre piste de développement du logiciel concerne l'usage d'images, dessins ou photos dans les cartes générées. Une première possibilité serait de remplacer certains termes-clés par des représentations purement graphiques, mais cela est fortement limité par les problèmes d'ambiguïté causés par les mots polysémiques. Une seconde idée, plus proche de la direction que j'ai choisie de suivre lors de mes décisions en termes de méthode, serait d'extraire les images, schémas et tableaux inclus dans le texte original et de les afficher sur la carte, ou alors de donner des liens vers ceux-ci sur la carte, en fonction de leur importance. Enfin, une troisième possibilité serait d'adjoindre une bibliothèque d'images et de permettre leurs intégrations dans la carte, au moment où l'utilisateur édite la carte après l'avoir générée, afin de favoriser la personnalisation des cartes. En effet, Malard (2013) a étudié le lien entre la mémorisation des mots et l'utilisation d'images, ainsi que l'utilisation

d'images dans les cartes heuristiques et celles-ci sont favorables à la mémorisation des informations.

Chapitre 10. Conclusion et perspectives

Dans ce dernier chapitre, je ferai, dans un premier temps, un bilan sur les problématiques de recherche abordées au cours de mon travail de thèse, les réponses qui ont été apportées à certaines et celles qui restent irrésolues. Ensuite, je reviendrai sur le contexte dans lequel j'ai travaillé et les difficultés rencontrées. Enfin, je terminerai en exposant quelques perspectives de travail. Celles-ci sont de deux types : des tâches nécessaires à compléter le travail entrepris au sein du projet LICl mais que je n'ai pas pu réaliser, et des ouvertures vers d'autres travaux de recherche à venir dans le même domaine.

10.1. Bilan des problématiques de recherche

Au départ de ce travail, différentes questions de recherche assez vastes avaient été posées, il s'agit des cinq questions que j'ai présentées en introduction et que j'ai traitées dans la section de transition entre les deux parties de ma thèse : "Questions de recherche". En plus de ces questions, je devais remplir l'objectif pratique du projet, consistant à livrer, avant la fin du contrat CIFRE, un prototype de logiciel, capable de transformer automatiquement un texte en une carte, au format de l'*Imagineur* de Médialexie.

10.1.1. Questions de recherche

Je suis revenu en détail sur les cinq questions de départ dans la section de transition, et j'ai redéfini à cette occasion trois questions de recherche restantes à traiter. Ainsi, je propose d'aborder ici les nouvelles questions telles qu'elles ont été reformulées et j'incite le lecteur de ce travail à se reporter à la transition pour connaître l'ensemble de mes conclusions concernant les premières questions de recherche posées en introduction.

10.1.1.1. Bilan de l'expérimentation exploratoire

La première question à laquelle je cherchais à répondre dans cette deuxième partie est la suivante :

- (1) Les cartes heuristiques sont-elles un support efficace pour l'aide à la compréhension de textes pour les apprenants dyslexiques ?

C'est pour répondre à cette interrogation que j'ai monté une expérimentation exploratoire. Mes hypothèses de départ étaient que si la carte est un outil bénéfique au processus d'apprentissage lorsqu'elle est conçue par l'apprenant, elle pourrait également être un support intéressant d'accès au sens d'un texte, en fournissant une sorte de plan, à l'image

d'un hypertexte, et en faisant appel à un mode de représentation que je qualifierais d'explosif et qui semble plus adapté aux dyslexiques que le mode de représentation linéaire.

J'espérais, d'une part, montrer que les dyslexiques obtiennent de meilleurs résultats à un test de compréhension de texte lorsqu'ils étaient soutenus dans cette tâche par une carte heuristique, et d'autre part, que les normo-lecteurs ne bénéficieraient pas des mêmes avantages et obtiendraient des performances similaires avec ou sans l'aide d'une carte.

Les craintes que j'avais formulées, avant de connaître les résultats, concernaient la désorientation et la surcharge cognitive probables engendrées par la lecture d'une carte et les allers-retours entre celle-ci et le texte, indispensables au lecteur pour donner une cohérence à l'ensemble des informations. En effet, la carte peut être utile pour comprendre le texte, mais la tâche de la compréhension de la carte elle-même ne doit pas être négligée. Il est nécessaire que l'apprenant connaisse au moins l'objectif de la carte et son fonctionnement, c'est à dire le sens impliqué par la présence de termes dans les nœuds et la signification des liens, pour pouvoir s'en servir. De plus, mon manque d'expérience en ce qui concerne la mise en place d'une expérimentation et la difficulté à rassembler un public d'apprenants dyslexiques pouvaient également être des facteurs d'échecs.

Finalement, le public rassemblé n'est pas assez important, en termes d'effectifs, pour obtenir un résultat significatif. En effet, j'ai rempli les objectifs que je m'étais donné, soit la présence d'au moins 12 individus pour chaque condition expérimentale, ce qui représente tout de même un total de 123 participants dont 55 lecteurs en difficulté, qui sont à la fois difficiles à identifier et à convaincre pour participer à une telle expérimentation. Cependant, je n'ai pas été suffisamment précis lorsque j'ai défini l'âge et ou le niveau scolaire requis pour participer. Cette erreur a permis de faire des analyses qualitatives sur l'évolution des performances en fonction de l'âge et de l'âge de lecture (ou en tout cas une mesure similaire déterminée par le niveau scolaire). Malheureusement, cette erreur rend également impossible toutes analyses quantitatives sérieuses et tous les résultats quantitatifs ou statistiques présentés ne sont là qu'à titre indicatif. Ils peuvent cependant permettre de donner des pistes pour poser les hypothèses d'une future expérimentation.

Je souhaite désormais revenir sur les principaux résultats observés, de manière qualitative. Tout d'abord, le matériel utilisé semble avoir été adapté au public, que ce soit les textes ou les questions, il a permis d'évaluer les différences de compréhension entre les participants sans tomber ni dans le piège de l'effet plafond, ni dans celui de l'effet plancher. Les normo-lecteurs comme les dyslexiques ont affiché des résultats divers mais tout de même cohérents lorsqu'on les analyse un à un. Ensuite, la mise en place d'un groupe contrôle de normo-lecteurs a été utile puisqu'elle a confirmé la supériorité de performance des normo-lecteurs sur les dyslexiques dans la tâche de compréhension proposée. Les résultats confirment également le lien entre la vitesse de lecture et la performance en compréhension, de manière globale lorsque l'on compare les deux textes. Evidemment,

certain participants ont parfois lu les textes rapidement avant de mal répondre au questionnaire, mais, sur la moyenne de tous les participants, le texte de géographie est à la fois le texte lu le plus rapidement et celui pour lequel les scores obtenus sont les plus élevés. La carte de géographie est celle qui a eue le plus d'influence sur la variation des scores et c'est probablement parce qu'elle contenait de nombreuses informations de natures variées, tandis que la carte d'Histoire contenait des informations davantage liées, avec des relations hiérarchiques assez directes. Il serait intéressant de mieux étudier la structure des textes proposés et le contenu des cartes en s'appuyant sur les théories psycholinguistiques correspondantes avant de mener une nouvelle expérimentation.

La présence de la carte a parfois perturbé les participants puisqu'ils ont perdu du temps ou même mal répondu à certaines questions lorsque la carte ne comportait aucune information utile sur celles-ci.

Concernant l'âge et le niveau scolaire des participants, le résultat le plus intéressant est la corrélation entre les scores obtenus et le niveau scolaire. L'âge, quant à lui, ne donne pas d'information sur la performance des élèves. Le niveau scolaire implique peut être un niveau de lecture plus élevé, mais il est possible que d'autres facteurs soient impliqués dans ce résultat et cela constitue une perspective intéressante pour une prochaine expérimentation. L'un des facteurs jouant un rôle dans les résultats peut toutefois être supposé, il s'agit du niveau de connaissances préalable. Le matériel de l'expérimentation étant un texte du programme scolaire de 5^{ème}, il est probable que les élèves de 6^{ème} aient été les seuls à ne pas avoir un niveau de connaissances préalable suffisant pour la compréhension de la carte et du texte. Or, les élèves de 6^{ème} ont effectivement obtenu des scores beaucoup plus faible que tous les autres participants.

Enfin, le dernier résultat intéressant concerne les performances des participants en fonction de la position du texte dans le questionnaire. Pour un même texte, et une même condition (c'est-à-dire présence ou absence de la carte), les dyslexiques ont été plus performants lorsqu'il était présenté en fin de questionnaire alors que les normo-lecteurs ont été plus performants lorsqu'il était au début. Même si cet écart n'est pas statistiquement significatif, cette dynamique est étonnante et il serait là aussi intéressant de mettre en place une nouvelle expérimentation pour voir si ce résultat se répète.

Je n'avais rencontré aucun travail, sur l'apport des cartes pour la compréhension de texte, spécifique au public dyslexique lorsque j'ai imaginé mon expérimentation exploratoire. Toutefois, au moins une autre expérimentation a été menée depuis sur cette même question : il s'agit d'une étude de Rello, Saggion, Baeza-yates et Graells (2012). Ces auteurs, sont partis des mêmes hypothèses que celles que j'ai posées dans le projet LICI :

- Les difficultés de lecture éprouvées par les dyslexiques ont un impact sur leur capacité à accéder au sens d'un texte ;

- L'usage pédagogique de représentations graphiques telles que les cartes conceptuelles est recommandé comme soutien à l'apprentissage pour les dyslexiques ;
- Des études passées ont montré l'efficacité des représentations graphiques pour l'aide à la compréhension avec un public de normo-lecteurs.

De plus Rello, Saggion, Baeza-yates et Graells (2012) rapportent qu'aucune étude sur la question n'existe à leur connaissance. Leur expérimentation a réuni 23 dyslexiques et 23 normo-lecteurs ; lycéens, étudiants ou anciens lycéens, tous proches de l'âge de 20 ans. Le déroulement de leur expérimentation est similaire à celle du projet LIC1, puisque les participants sont séparés en deux groupes, chacun de ces groupes a lu successivement deux textes, suivis d'un questionnaire de compréhension. Pour l'un des groupes, une carte d'aide à la compréhension (*graphical scheme* dans l'article original, voir Figure 10.1) était disponible avec le premier texte. Pour l'autre groupe, une carte était disponible avec le deuxième texte. Lorsque la carte était disponible, elle était présentée avant le texte. Le protocole comportait, en plus, un questionnaire réflexif final, interrogeant les participants sur leur ressenti quant à l'efficacité de la carte pour l'aide à la compréhension.

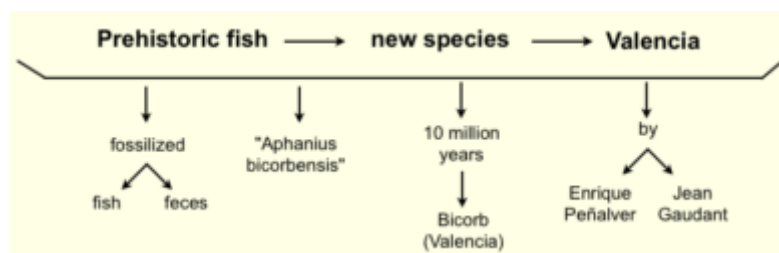


Figure 10.1 Type de représentation graphique utilisée pour l'aide à la compréhension durant l'expérimentation de Rello et al. (2012).

Un dispositif d'*eye-tracking* avait aussi été mis en place pour pouvoir constater la fluidité de lecture des participants (en examinant les éventuels blocages et la vitesse). Les résultats montrent une différence significative, telle qu'attendue entre les dyslexiques et les normo-lecteurs. De plus, les dyslexiques gagnent en fluidité de lecture lorsque le texte est accompagné de la carte. Cependant, contrairement aux hypothèses émises, le score de compréhension de texte des dyslexiques est plus bas lorsque la carte est présente. Grâce aux questionnaires réflexifs, Rello et al. (2012) ont obtenu des informations supplémentaires : certains dyslexiques se sont dits distraits du texte par la présence de la carte, tandis que d'autres ont affirmé que celle-ci les aidait à mémoriser et à étudier le texte mais sans les aider à le comprendre. Certains participants normo-lecteurs se sont dits gênés par la présence de la carte avant le texte, parce qu'ils ne connaissaient pas encore le thème de celui-ci. L'ensemble des participants s'accorde pour dire que la carte permet de mieux mémoriser les éléments du texte.

Cette expérimentation est très intéressante car en plus de ressembler à celle du projet LICI, elle présente des résultats similaires, avec une inefficacité constatée de la carte pour l'aide à la compréhension de texte. Toutefois, elle présente également des défauts semblables à l'expérimentation que j'ai menée puisqu'aucune mention n'est faite à un entraînement préalable à l'usage de la carte et les deux textes, pourtant structurellement semblables se sont révélés ne pas être de même niveau de difficulté. De plus, l'ordre de présentation des textes n'a pas été pris en compte.

Pour en revenir à la question de recherche (1), les hypothèses que j'ai posées pour mon expérimentation se révèlent fausses, pour la plupart, selon mes résultats. Cependant il est clair que les défauts, les limites et les biais de l'expérimentation ne permettent pas de répondre pour autant à la question (1) de façon négative. Le principal point que j'ai négligé et qui est essentiel pour pouvoir argumenter sur l'apport de la carte à la compréhension est l'entraînement à l'usage de la carte. J'avais estimé, à cause de la difficulté à réunir le public mais aussi et surtout à cause du nombre de participants dont j'avais besoin qu'il n'était pas possible d'organiser des sessions d'entraînements préalables à l'usage des cartes. En effet, le public étant assez éparpillé géographiquement, il aurait fallu se déplacer presque pour chaque personne, ou au minimum organiser trois ou quatre sessions d'entraînements dans des lieux et à des dates différentes. Pour avoir des résultats plus fiables, il serait aussi nécessaire de réaliser des pré-tests et des post-tests pour l'ensemble des participants. Le protocole pourrait être alors différent : des questions de compréhension sur des textes sans cartes d'accompagnement pour les pré-tests et post-tests, et entre les deux, une session d'entraînement à l'usage de la carte, puis des questions de compréhension sur un texte accompagné d'une carte. J'avais envisagé un tel protocole mais il était aussi inenvisageable pour des raisons pratiques. La solution serait probablement de remonter une expérimentation, avec moins de participants, mais qui seraient disponibles et pourraient être suivis suffisamment longtemps, par exemple dans le cadre d'un partenariat officiel entre mon laboratoire de recherche et une classe spécialisée dans l'accueil d'élèves dyslexiques, telles que celles du collège privé dont j'ai rencontré le directeur pour mon expérimentation.

La nuance entre, d'un côté, l'amélioration du protocole et du suivi, et de l'autre, l'entraînement à l'usage de la carte, est que ce dernier est indispensable. En effet, telle que mon expérimentation a été présentée aux participants, ils n'étaient pas en mesure de comprendre l'usage de l'objet « carte » (je rappelle que 120 d'entre eux, sur 123, n'avaient jamais utilisé de cartes heuristiques). C'est-à-dire qu'ils ignoraient complètement le rôle de la carte, la signification des termes apparaissant dans la carte et la signification des liens entre ces termes. Ils ont pu deviner que les termes étaient extraits du texte et que leur organisation dans la carte était en rapport avec les relations sémantiques entre les termes, mais toutes ces informations ne leur ont pas été données. C'est principalement cet argument qui m'amène à la conclusion suivante : les résultats de mon expérimentation ne

permettent pas de répondre à la question (1), car on souhaite évaluer les apports de l'usage d'une carte alors que la capacité, du public étudié, à utiliser les cartes est incertaine.

10.1.1.2. L'extraction et la présentation des informations

La deuxième question de recherche définie était la suivante :

(2) Comment extraire automatiquement les informations essentielles contenues dans un texte ?

D'après les différentes lectures présentées dans le 0, il existe de nombreuses manières de procéder à l'extraction des informations essentielles du texte. Tout d'abord, il est possible d'extraire différents niveaux de structure du texte : des paragraphes, jusqu'aux graphies, en passant par les phrases et les termes (composés d'une ou plusieurs graphies). Les tâches les plus courantes sont l'extraction de phrases et l'extraction de termes. L'extraction de phrases permet d'obtenir un résumé du texte. L'extraction des termes est utile pour déterminer le thème d'un texte, pour construire la liste des mots-clés dans un objectif de référencement, ou encore, afin de construire une autre représentation du texte, comme c'est le cas de l'outil LICl.

Afin d'extraire les phrases essentielles d'un texte, la plupart des algorithmes utilisent un système de combinaisons de critères qui déterminent un score, ou un poids, pour chaque phrase. Les phrases avec le meilleur poids sont généralement sélectionnées puis replacées dans leur ordre initial dans le texte d'origine avant d'être présentées en tant que résumé. Le principal défaut des résumés composés par extraction de phrases reste la présence d'anaphores non résolues, mais les résumés obtenus sont généralement satisfaisants. Les critères les plus souvent rencontrés sont : la position de la phrase au sein du texte, la position de la phrase au sein de son paragraphe, la présence dans la phrase de graphies à forte fréquence dans le texte, la présence dans la phrase de mots-indices. Bien sûr, d'autres critères peuvent être appliqués et les critères peuvent eux-mêmes se voir affecter différentes pondérations selon leur importance supposée. D'autres familles d'algorithmes existent pour déterminer l'importance des phrases, je citerai notamment les méthodes de calcul reposant sur le concept de centralité (PageRank, LexRank, etc..) ou encore les méthodes de calcul reposant sur la construction de vecteurs (LSA, RRI, etc..).

Pour la tâche d'extraction de termes, des méthodes similaires sont employées. Tout d'abord les algorithmes font souvent appel à des listes d'exclusion afin de nettoyer le texte des mots vides ou grammaticaux. Ensuite, l'usage d'un étiqueteur morphosyntaxique simplifie grandement la détermination de ce qui peut être un terme-clé, ceux-ci étant généralement des noms ou des groupes nominaux, rarement des adjectifs, adverbes ou verbes. Le critère principal, reste la fréquence d'occurrence dans le document traité, mais bien sûr cette fréquence peut être calculée de façon relative à un corpus, plutôt que d'être considérée de

manière brute. Pour cela on utilisera la méthode Okapi, ou d'autres méthodes similaires. Enfin, comme pour l'extraction de phrases, d'autres méthodes reposent sur des principes différents, notamment la construction de vecteurs, comme c'est le cas de la méthode RRI.

L'étude de la littérature a donc permis de répondre à la question (2) puisque de nombreuses méthodes ont été développées depuis les années 50 jusqu'à nos jours pour répondre à la problématique de l'extraction des éléments clés d'un texte.

La troisième et dernière question de recherche restant à traiter est :

- (3) Comment présenter ces informations pour faciliter leur lecture et l'accès au sens du texte ?

Comme je l'ai dit précédemment, cette question revient à poser le problème d'ergonomie de la carte produite par l'outil LICl. Cette ergonomie dépend à la fois de la présentation elle-même, c'est-à-dire de l'interface dans laquelle est affichée la carte, des éléments sélectionnés pour être présentés et de leur nombre ; mais aussi des fonctionnalités complémentaires, c'est-à-dire les manipulations dynamiques que l'on peut faire à partir de la carte générée.

En ce qui concerne la présentation elle-même, lors du développement du LICl, j'ai effectué de nombreux tests, en compagnie de l'équipe de Médialexie, pour constater le nombre d'éléments optimal afin d'obtenir une carte lisible. J'ai ainsi proposé trois niveaux de réglage de base, faisant apparaître un certain nombre de termes-clés (de 7 à 9), un certain nombre de liens sur la carte (de 12 à 20) et un certain nombre maximal de liens pouvant partir d'un seul nœud de la carte (de 3 à 5). Cependant, il sera nécessaire pour affiner ces premières recherches, de réaliser une expérimentation auprès d'utilisateurs dyslexiques en situation réelle, de manière à évaluer les résultats obtenus pour comprendre un texte selon les réglages choisis. Ces réglages optimaux sont aussi potentiellement déductibles de lecture sur l'usage de carte conceptuelle dans un contexte pédagogique, mais je n'ai pas rencontré de tels résultats dans les articles que j'ai consultés au cours de mes travaux. En attendant, le LICl contourne ce problème en proposant une option permettant à l'utilisateur de choisir ses préférences concernant ces différents réglages.

Toujours vis-à-vis de la présentation elle-même, une autre décision importante concernait la signification des liens. J'ai choisi de présenter des liens de type structurel car ce sont ceux qui respectent le mieux l'organisation originelle des informations dans le texte de référence. Enfin, concernant la position des nœuds sur la carte, de manière similaire, j'ai décidé de présenter les termes dans l'ordre de leur première apparition dans le texte. Une fois encore, la carte respecte ainsi mieux la structure du texte de référence. Ce lien fort entre structure du texte et structure de la carte peut potentiellement réduire le phénomène de désorientation, les deux modes de représentation de l'information étant cohérents. Je note aussi que le principe de tri selon l'ordre du texte est similaire à celui utilisé pour les résumés

de texte par extraction des phrases et le résultat obtenu ainsi est plus satisfaisant qu'un ordonnancement déterminé par l'importance des éléments extraits.

Le deuxième critère que j'ai déterminé pour évaluer l'ergonomie concerne les fonctionnalités disponibles. Même si ce point arrive en dernier dans ma réponse à la question (3), il s'agit probablement du plus important dans l'utilisation du LICl. En effet, pour accéder au sens du texte, il faut maintenir la possibilité d'accéder physiquement au texte, et si possible progressivement. C'est ce procédé qui peut notamment réduire la surcharge cognitive provoquée par les allers-retours entre la carte et le texte. De plus, j'ai expliqué que, lors de mon expérimentation, les participants n'avaient aucun indice sur lesquels se reposer pour comprendre d'où venaient, et pourquoi, les termes apparaissant sur la carte. Dans l'outil LICl, l'affichage des concordances possibles pour chaque terme-clé règle ce problème en remettant chaque terme en contexte. Enfin, toutes les autres options disponibles dans l'outil LICl facilitent par définition l'accès au sens du texte. Les dictionnaires permettent de connaître les définitions et les synonymes des termes-clés, et l'option de lecture par synthèse vocale rend intelligible ces mêmes termes pour les utilisateurs en difficulté qui auraient mal lu ou qui n'arriveraient pas à décoder les termes par leur simple lecture.

10.1.2. Prototype de logiciel

Du point de vue de l'entreprise Médialexie, l'objectif principal de mon travail de thèse était la réalisation d'un prototype de logiciel, permettant de transformer automatiquement un texte, en une carte au format de l'*Imagineur*. Les recherches réalisées lors d'un doctorat se veulent exploratoires, ont vocation à être prolongées et demandent généralement d'approfondir les lectures effectuées afin de mieux comprendre les domaines explorés et d'affiner les réponses proposées aux questions de recherche. Ainsi, il avait été envisagé que l'outil développé lors de ma thèse soit incomplet et soit repris par l'équipe de Médialexie à la fin de mon contrat. Mais, finalement, le prototype a été livré à temps, après une longue phase de plusieurs mois uniquement dédiée à des tests et la réalisation accélérée de versions successives du programme venant en correction des bugs et des erreurs constatées.

Le prototype du logiciel repose sur l'algorithme décrit dans le 0 et il permet de produire des cartes au format ctm, qui peuvent être ouvertes par l'*Imagineur*, telles que celles présentées dans le Chapitre 9. De plus, quelque mois après la fin de mon contrat, je suis retourné travailler pendant un mois avec l'équipe de Médialexie pour réaliser la version finale du logiciel, permettant son intégration au sein de la barre d'outils, mais aussi une variation de celle-ci, capable de traiter la langue anglaise. La version finale commercialisée, appelée *Cartographe* inclut des fonctionnalités supplémentaires, qui nécessitaient des liens dynamiques avec les autres outils de Médialexie, comme la possibilité de consulter les dictionnaires à partir d'un terme sélectionné.

Texte initial

La Table ronde : un idéal chevaleresque

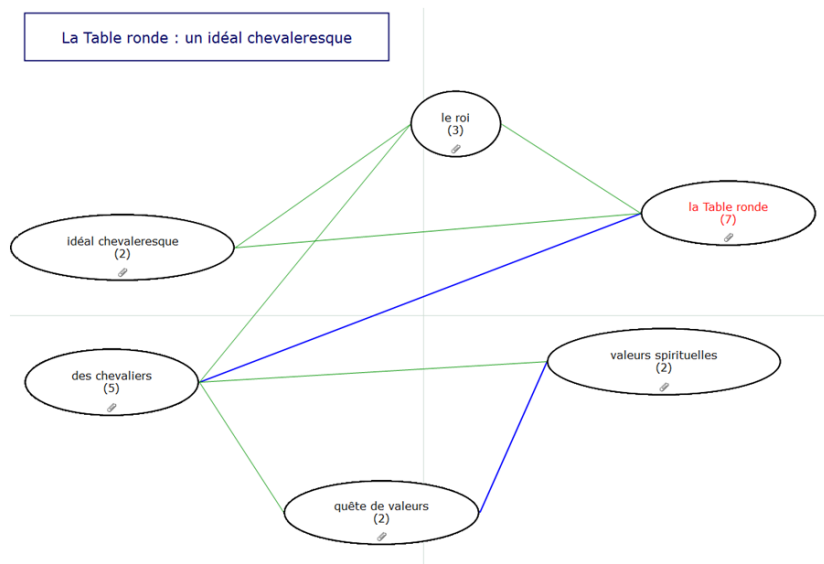
L'invention de la Table ronde est le symbole même de l'idéal de la royauté arthurienne et de la reconnaissance de la chevalerie. En privilégiant ce motif, les auteurs arthuriens rappellent ainsi l'origine ancienne et merveilleuse de la royauté d'Arthur. Selon Wace, il s'agit pour le roi de prévenir toute querelle de préséance entre des chevaliers prêts à s'emporter et à se disputer la première place. La Table ronde institue une relation d'égalité entre eux, mais aussi entre le roi et la communauté des chevaliers puisque aucune place n'est plus importante qu'une autre autour de cette table. Selon les textes le nombre des places varie : de douze pour Robert de Boron – sans doute influencé par le souvenir de la Cène – jusqu'à 1600 pour Layamon au début du XIIIe siècle ! La Table ronde perpétue l'usage ancien celte selon lequel les guerriers étaient assis autour du roi ; mais les auteurs médiévaux se plaisent à lui donner un caractère universel en expliquant que la table est ronde parce qu'elle signifie la rotondité du monde. Les chevaliers de la Table ronde ont pour mission de rendre à la terre sa prospérité, de faire cesser les enchantements ou les injustices ; la Table ronde devient à elle seule l'expression la plus haute de l'idéal chevaleresque.

En quête de valeurs spirituelles.

D'abord organisée sur le modèle féodal, l'institution de la Table ronde prend sa véritable signification lorsque les chevaliers sont lancés vers la quête de valeurs spirituelles. L'aventure du Graal en est la plus belle illustration. Le but de cette quête, c'est de parvenir à une forme de perfection morale et spirituelle, de renoncer aux valeurs mondaines et d'être parmi les élus qui rejoindront Dieu lors du Jugement Dernier. La chevalerie mondaine s'avère insuffisante pour apporter la paix et le bonheur au monde, et le héros de la Table ronde dans cette littérature médiévale tend à devenir un saint : seul Galaad, admirable création des clercs du XIIIe siècle, y parviendra et, prédestiné entre tous les autres chevaliers, trouvera le Graal.



Carte obtenue à partir du texte initial



Voici les 5 phrases clés du texte :

- > L'invention de la Table ronde est le symbole même de l'idéal de la royauté arthurienne et de la reconnaissance de la chevalerie.
- > Selon Wace, il s'agit pour le roi de prévenir toute querelle de préséance entre des chevaliers prêts à s'emporter et à se disputer la première place.
- > La Table ronde institue une relation d'égalité entre eux, mais aussi entre le roi et la communauté des chevaliers puisque aucune place n'est plus importante qu'une autre autour de cette table.
- > La Table ronde perpétue l'usage ancien celte selon lequel les guerriers étaient assis autour du roi ; mais les auteurs médiévaux se plaisent à lui donner un caractère universel en expliquant que la table est ronde parce qu'elle signifie la rotondité du monde.
- > Les chevaliers de la Table ronde ont pour mission de rendre à la terre sa prospérité, de faire cesser les enchantements ou les injustices ; la Table ronde devient à elle seule l'expression la plus haute de l'idéal chevaleresque.

Voici les mots-clés du texte et leur fréquence d'apparition :

- > ronde 9
- > Table 8
- > chevaliers 5
- > idéal 3
- > quête 3
- > roi 3
- > valeurs 3

Figure 10.2 Exemple d'application du Cartographe, utilisé pour sa promotion par l'entreprise Médialexie.

La Figure 10.2 illustre le fonctionnement du Cartographe, tel qu'il a été présenté à son lancement dans la lettre d'information mensuelle de Médialexie (Médialexie, 2015a). Le *Cartographe* est un outil parfaitement intégré à la barre d'outils de Médialexie et respecte en tout point le cahier des charges établi dans le Chapitre 6.

10.2. Contexte de travail et difficultés rencontrées

J'ai voulu dans ce chapitre conclusif revenir très brièvement sur le contexte de travail et les difficultés rencontrées dans le cadre du projet.

Tout au long du projet LICl, j'ai poursuivi un double objectif. Je devais d'une part développer le logiciel désiré par Médialexie, en fonction des demandes formulées par leurs clients et des exigences de l'entreprise pour permettre l'intégration et la commercialisation de l'outil. D'autre part, je souhaitais intégrer ce développement dans une logique de recherche, en m'appuyant sur les travaux existants, mais aussi et surtout en comprenant le contexte d'application et le vécu des adolescents dyslexiques pour lesquels est destiné le logiciel. J'ai pu bénéficier des conseils des membres de l'équipe de Médialexie, comme de mon directeur, pour atteindre ces objectifs. Cependant, il me semble important de préciser que tout au long de mon doctorat, j'ai travaillé en autonomie, à partir des contraintes qui m'avaient été fixées, particulièrement en ce qui concerne l'élaboration et la programmation de l'outil LICl.

10.2.1. Partenariat CIFRE

Le contrat CIFRE liant le LRL, Médialexie et moi-même a été établi en 2012 et a pris fin en 2015. Durant le contrat, j'ai travaillé quatre jours par semaine au sein de l'entreprise et un jour par semaine au laboratoire.

Au sein de l'entreprise, j'ai participé aux différentes réunions et activités, notamment les réunions avec l'équipe de recherche et développement, et j'ai parfois été sollicité pour participer ou donner mon avis sur d'autres projets de l'entreprise. J'ai rédigé différents documents scientifiques à l'intention de l'équipe, notamment concernant les recherches en psychologie sur la dyslexie et les recherches en TAL sur la syllabation et les correcteurs automatiques.

Au sein du laboratoire, j'ai participé aux réunions hebdomadaires avec mon premier directeur de thèse, Thierry Chanier, et ses autres doctorants, au cours desquels nous présentions régulièrement les avancées de nos travaux et nous échangeons nos idées. J'ai également participé à de nombreux séminaires des doctorants, dans lesquels j'ai présenté mes travaux une fois par an.

10.2.2. Expérimentation

Les plus grandes difficultés rencontrées au cours du projet concernent l'élaboration de l'expérimentation et surtout le recrutement des participants. Il s'est écoulé 12 mois entre la fin de l'élaboration, au moment où tout était en place pour faire passer les premiers participants, et le moment où j'ai atteint le nombre de participants souhaités. Les participants qui devaient être recrutés par les contacts de l'entreprise, notamment grâce à la filiale canadienne, ne l'ont jamais été. Plusieurs personnes rencontrées au cours de différents colloques ou séminaires m'ont proposé de l'aide dans le recrutement de participants pour finalement laisser tomber le projet par manque de temps ou refuser de participer sans que j'effectue certaines modifications, qui n'étaient pas en adéquation avec le protocole que j'avais prévu et ne m'auraient pas permis de mesurer ce que je souhaitais.

10.3. Perspectives

Je séparerai ce dernier point, présentant les perspectives en deux parties. D'une part j'évoquerai les perspectives en termes de recherche et d'autre part les perspectives concernant le projet LICI lui-même, impliquant donc l'équipe de Médialexie. J'ai déjà évoqué des perspectives de développement au sujet de l'outil LICI lui-même, dans le Chapitre 9, aussi je les compléterai sans me répéter dans ce chapitre.

10.3.1. Perspectives de recherche

Les recherches que j'ai menées au cours de mon doctorat peuvent être améliorées suivant plusieurs axes, concernant chacun un domaine identifié.

Premièrement, le domaine de recherche que j'ai le moins exploré et qui peut apporter beaucoup de réponses à mes problématiques de recherche, mais aussi permettre d'améliorer l'outil que j'ai développé est le domaine de la compréhension de texte. L'exploration des théories décrivant l'architecture cognitive pourrait permettre de mieux décomposer les étapes du processus de compréhension par le cerveau humain. Ces étapes peuvent ensuite être modélisées en autant d'étapes algorithmiques pour traiter le texte et sa compréhension par la machine. Cette modélisation pourrait permettre un accès direct au sens du texte, très utile pour un public connaissant des difficultés à suivre le processus de compréhension. Il reste cependant à prouver qu'une représentation graphique proche du graphe mental constitué par la cognition humaine permet réellement un accès au sens plus direct qu'un autre type de représentation. Il est aussi possible que les graphes constitués par chaque individu divergent, par exemple en fonction de leurs connaissances préalables, et qu'un programme générique soit mal adapté pour certains lecteurs. Il est également probable que chaque lecteur ait stocké en mémoire des scripts différents, ou encore que chacun n'accorde pas les mêmes valeurs sémantiques à un même terme, selon son vécu.

Une première piste intéressante pour répondre à ces questions serait de lire les travaux menés par Schnotz (2002). Ses travaux visent à comprendre et décrire la manière dont le système cognitif interagit avec les informations contenues dans différents types de cartes. Il a montré que les cartes ont un effet bénéfique sur l'apprentissage à condition d'utiliser un scénario pédagogique et des stratégies de traitement adéquats.

Toujours dans le domaine de la compréhension de texte, le rôle des éléments para-textuels, de la mise en forme ou des signaux est à étudier davantage. Des études récentes tentent de théoriser le fonctionnement des signaux, avec l'objectif de montrer par quel procédé ceux-ci modifient l'apprentissage et la mémorisation (Lemarié et al., 2008). Cette théorie a été appliquée, par exemple, sur les titres de textes (Lorch Jr, Lemarié, & Grant, 2011).

Deuxièmement, comme je l'ai souligné dans l'analyse de mon expérimentation, je n'ai pas suffisamment pris en compte les caractéristiques des textes qui définissent leur difficulté de lecture. Parmi ces caractéristiques se trouvent notamment la structuration des textes, la richesse lexicale, la ponctuation mais aussi des caractéristiques de plus haut niveau tel que le type de texte. Lorsque le lecteur identifie le type de texte auquel il a à faire, par exemple un texte d'opinion argumentatif, il va adapter sa manière d'interpréter les informations, qui serait différente s'il se trouve face à un texte de fiction narratif. L'outil LICI contourne ce problème en se spécialisant sur le traitement d'un type de texte particulier, mais il serait intéressant de développer davantage l'adaptation du traitement au type de texte. La recherche théorique en linguistique pourrait permettre de dresser une liste de l'ensemble des marqueurs qui permettent de reconnaître le type de texte. Ensuite, un ensemble de règles pourrait être inclus dans l'algorithme de l'outil pour qu'il reconnaisse ces marqueurs et adapte la suite du traitement et donc modifie la carte finale de sortie en fonction du type de texte.

En matière de détermination de la difficulté d'un texte et d'impact de cette difficulté sur la compréhension, un éclairage intéressant pourrait être apporté par les travaux sur la lisibilité linguistique. Ces recherches ont pour objectifs, à la fois de prédire et de contrôler la difficulté du langage écrit, mais aussi de donner des clés pour améliorer l'efficacité de la transmission des informations par écrit. Des méthodes permettent de mesurer la difficulté d'un texte selon des facteurs tels que la longueur des phrases, la structure des phrases, la proportion de mots usuels, de mots courts, de mots concrets (entités physiques visualisables) et de mots « personnels » (qui réfèrent à des personnes ou des objets touchant à l'affect du lecteur) (Richaudeau, 1978). Cependant ce champ de recherche s'attache davantage à définir les types de mots et de texte à écrire pour améliorer la compréhension, tandis que l'outil LICI doit permettre d'améliorer le processus de compréhension sans avoir de contrôle sur les mots choisis pour transmettre l'information. Les théories en lisibilité linguistique restent cependant intéressantes dans l'objectif d'établir des documents pédagogiques adaptés aux lecteurs en difficultés et leur efficacité a été montrée par plusieurs études (Kotula, 2003; Kurniawan & Conroy, 2007).

Enfin, si j'ai présenté les méthodes de base du résumé automatique de texte et de l'extraction de mots-clés, de nombreuses méthodes algorithmiques ont été développées depuis les concepts fondateurs de ces domaines et méritent d'être explorées. Chaque méthode du domaine que je n'ai pas étudiée constitue une potentielle piste à explorer, c'est le cas par exemple des méthodes *Divergence from Randomness* (Amati & Van Rijsbergen, 2002) et *Information based model*, utilisée pour la recherche d'information dans les textes multilingues (Li & Gaussier, 2012). Une autre piste séduisante est à saisir en sortant de ce champ de recherche et en explorant les tendances générales dans le domaine de l'informatique. Depuis quelques années, tous les problèmes complexes populaires sont soumis aux algorithmes fonctionnant par apprentissage, notamment avec l'usage de « l'apprentissage profond » et des « réseaux de neurones ». Ces algorithmes reposent sur des calculs statistiques et probabilistes faisant appel à des bases de données de plus en plus larges. C'est le cas de problèmes dans des domaines aussi variés que la composition symphonique (IQ Intel, 2016; Emerging Technology from the arXiv, 2016), le jeu de Go (V. Garcia, 2016), ou encore, d'un problème plus proche du projet LICI : la reconnaissance vocale (utilisée par exemple par l'outil d'*Apple* : « Siri »). Les concepts se cachant derrière ces nouveaux logiciels ultra-performants sont assez anciens, et malgré les croyances populaires l'apprentissage profond n'a rien d'une Intelligence Artificielle. En effet, ce sont surtout les capacités à traiter et à stocker de plus en plus de données qui permettent d'obtenir des résultats spectaculaires. Dans le cadre de mon travail, une ouverture très ambitieuse serait d'imaginer ce type de méthode appliqué à grande échelle sur la génération automatique de cartes à partir de texte. Pour ce faire, plusieurs approches sont envisageables. L'une d'elles consisterait à intégrer l'outil sur une plate-forme en ligne, l'ensemble des travaux des utilisateurs seraient sauvegardés dans une unique base de données et l'outil pourrait « apprendre » des cartes ayant été modifiées à la main afin d'améliorer son processus de génération récursivement. Parallèlement au stockage des cartes des utilisateurs, l'ensemble des textes traités pourrait être stocké, ce qui permettrait de créer un corpus de couples d'objets texte/carte. Ainsi, le corpus de textes pourrait aussi être utilisé pour les calculs de spécificité des termes, tels que l'IDF, ou encore pour construire une représentation sémantique par vecteurs très solide s'appuyant sur l'ensemble des textes, avec une méthode du type RRI.

En conclusion de la présentation de ces différents axes d'améliorations, considérant le temps consacré au projet LICI et les résultats obtenus, j'estime que toute poursuite de recherche sur un sujet similaire, à l'avenir, passera par un travail d'équipe, incluant des spécialistes de différents domaines.

10.3.2. Perspectives pour le projet LICI

Lors de mes derniers mois de travail avec l'équipe de Médialexie, un projet novateur et ambitieux a été lancé. Il s'agit du développement d'un outil nommé *MémoDys* dont l'objectif

est de soulager les dyslexiques d'une partie de la charge de travail qui doit être effectuée en cours (Bernardon, 2015). L'idée est de rendre entièrement automatique la tâche de prise de notes et de construire un environnement informatique dans lequel les élèves vont retrouver l'ensemble des informations utiles à leur apprentissage scolaire. Plus précisément, cet environnement prend la forme d'une plate-forme en ligne du type ENT (Environnement Numérique de Travail) dans laquelle sera stocké le contenu de tous les cours dispensés dans un établissement et dont l'interface inclut l'accès aux différents outils de Médialexie. Pour tester et développer cet outil, l'entreprise s'est associée au lycée Amédée-Gasquet (à Clermont-Ferrand). Le projet n'a pas pu être mené à terme, pour des raisons financières. Cependant, il m'a inspiré un certains nombres d'ouvertures et de perspectives pour mes travaux de recherche, qui pourraient être menées dans un autre cadre, à l'avenir.

En effet, tous les avantages de l'outil LICI pourraient être utilisés de manière intelligente, au service du public défini au départ du projet, et au cœur d'un système réunissant les conditions favorables au développement de toutes les perspectives exposées précédemment. L'environnement envisagé et l'interaction avec le public utilisant cet environnement serait idéal pour aller plus loin autant en termes de recherche théorique, d'expérimentation, d'amélioration de l'outil et, enfin, d'application d'autres méthodes pour le moteur de calcul du logiciel.

De manière concrète, le nouveau projet, imaginé sur les bases de *MémoDys*, implique d'équiper en matériel d'acquisition chaque classe dont on souhaite récupérer l'ensemble des cours. L'équipement nécessaire inclut une caméra et un micro, situé près de l'enseignant, et éventuellement un tableau blanc interactif, afin de recueillir directement les productions écrites de l'enseignant sous format numérique. L'usage de ce dispositif est couteux, mais, en contrepartie, les élèves dyslexiques n'auraient plus besoin d'amener leur ordinateur en cours, ni de prendre de notes. L'absence d'écran devant les élèves permet de libérer toute leur attention et l'exemption de prise des notes permet de libérer toute leur mémoire de travail. Un temps précieux qui était dépensé à chercher l'orthographe correcte des mots serait aussi économisé. Les élèves se retrouveraient ainsi en situation idéale pour l'écoute du cours et la participation à l'oral. Ces activités favorisent du même coup la mémorisation du cours et l'apprentissage sur le long terme.

L'ensemble du discours de chaque enseignant enregistré en cours serait automatiquement téléversé (uploadé) sur l'environnement de travail. Le discours serait alors transcrit automatiquement au format écrit, grâce à la technologie de dictée vocale, puis mis à disposition dans une interface permettant l'écoute de l'enregistrement original en synchronisation avec le texte transcrit. La synchronisation pourrait prendre la forme d'un affichage phrase par phrase, avec un surlignement des mots au fur et à mesure qu'ils sont prononcés par l'enseignant. Depuis cette interface, l'utilisateur aurait accès à tous les outils habituels d'aide à la lecture (mise en forme et coloration adaptées, dictionnaires, etc...) et à l'écriture (espace de prise de notes avec correcteur automatique, écho oral, etc...).

Chaque élève disposerait d'un identifiant et d'un mot de passe pour se connecter à la plateforme, comme sur un ENT classique. Une fois identifié, l'élève verrait s'afficher la liste de ses cours dans une structure hypertexte. Un champ de recherche permettrait de faire des requêtes afin de parcourir l'ensemble du corpus de cours disponible. L'élève en accédant à la plateforme pourrait donc saisir un mot-clé ou une phrase et voir apparaître tous ses cours abordant les thèmes choisis. C'est là qu'intervient l'outil LICl.

Lors de l'import de chaque cours et de sa transcription, une carte serait générée par le LICl à partir du format textuel du cours. C'est cette carte qui serait présentée comme résultat des recherches d'un élève *via* le moteur de recherche de la plateforme. Une recherche aurait donc pour résultat l'affichage d'une mosaïque de cartes, éventuellement réparties en plusieurs pages dans le cas de résultats nombreux. Cette mosaïque serait classée selon la pertinence des cartes, la date du cours ou la matière, selon les préférences de l'élève. Ainsi, l'élève pourrait visualiser très rapidement tous les cours abordant les mots-clés saisis et il pourrait identifier et choisir le cours qu'il souhaitait réviser beaucoup plus rapidement que si les résultats étaient affichés au format textuel. Il serait évidemment ensuite en capacité de modifier les cartes et de les sauvegarder et, de cette façon, d'améliorer ce qui va lui servir de support de révisions.

Le dispositif inclurait également le recueil des tableaux, schémas, images et autres documents que l'enseignant choisirait d'associer à son cours. L'élève pourrait donc, une fois qu'il a accédé au cours souhaité, à la fois bénéficier de la représentation sous forme de carte, de l'accès progressif au texte grâce aux fenêtres affichant les concordances des termes clés, mais aussi des liens vers les documents associés par l'enseignant.

Cet ensemble de fonctionnalités et d'information semble extrêmement prometteur s'il est accompagné d'une formation à son usage pour les enseignants et pour les élèves. De plus pour moi, ce dispositif constituerait un terrain de recherche idéal. S'il est mis en place en partenariat avec un établissement scolaire spécialisé, il permettrait d'abord de bénéficier d'un échange direct entre le chercheur, les enseignants et les élèves et de bénéficier des retours de ces derniers pour finaliser les améliorations de l'outil prévues, que j'ai décrites en fin de Chapitre 9. Un partenariat permettrait facilement de mettre en place un test d'utilisabilité avec certains élèves. Ce contexte serait également favorable à la réalisation de nouvelles expérimentations. De plus, en mettant en place un système de récupération des traces pour connaître l'ensemble des actions effectuées par les utilisateurs sur la plateforme, le chercheur pourrait connaître la fréquence d'usage des différents outils et de cette façon estimer leur popularité et leur influence sur l'apprentissage des élèves. Ce serait une première car à ma connaissance aucune étude n'a été effectuée sur l'usage d'un ensemble d'outils d'aide et de remédiation sur le long terme. Enfin, l'ajout progressif des leçons dans la base de données et le stockage de toutes les cartes sauvegardées par les élèves permettra de tester toutes les méthodes alternatives de calculs envisagées en perspective pour l'outil LICl. D'une part l'utilisation du corpus des textes permet de mettre

en place les méthodes telles que IDF et RRI, et d'autre part, le stockage de nombreux couples texte/carte permet d'envisager l'usage d'un algorithme par apprentissage pour la génération automatique de cartes.

Références

- Ahmad, S. Z., Ludin, N. N. A. A. N., Ekhsan, H. M., Rosmani, A. F., & Ismail, M. H. (2012). Bijak Membaca - Applying Phonic Reading Technique and Multisensory Approach with interactive multimedia for dyslexia children. *CHUSER 2012 - 2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research*, (Chuser), 554–559. [https://doi.org/10.1109/CHUSER.2012.6504375]
- AIVA : l'IA qui compose de la musique classique. (2016, November 29). *IQ Intel*. [https://iq.intel.fr/aiva-lia-qui-compose-de-la-musique-classique/]
- Alm, J. (2004). *Dyslexia: Relevance of concepts, validity of measurements, and cognitive functions*. Uppsala University. [http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:164232/FULLTEXT01]
- Alvarez, J., & Damien, D. (2011). An introduction to Serious game Definitions and concepts. In P. FAUQUET-ALEKHINE & L. SOLER (Eds.), *Proceedings of the Serious Games & Simulation for Risks Management Workshop* (pp. 10–15). Paris: LARSEN Science.
- Amadiou, F., & Salmeron, L. (2014). Concept Maps for Comprehension and Navigation of Hypertexts. In D. Ifenthaler & R. Hanewald (Eds.), *Digital Knowledge Maps in Education: Technology-Enhanced Support for Teachers and Learners* (pp. 139–159). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3178-7]
- Amadiou, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Prior knowledge in learning from a non-linear electronic document : Disorientation and coherence of the reading sequences. *Computers in Human Behavior*, 25, 381–388. [https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.12.017]
- Amadiou, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2010). Interaction between prior knowledge and concept-map structure on hypertext comprehension, coherence of reading orders and disorientation. *Interacting with Computers*, 22(2), 88–97. [https://doi.org/10.1016/j.intcom.2009.07.001]
- Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19(5), 376–386. [https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.005]
- Amati, G., & Van Rijsbergen, C. J. (2002). Probabilistic models of information retrieval based on measuring the divergence from randomness. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 20(4), 357–389. [https://doi.org/10.1145/582415.582416]
- American Psychological Association. (2000). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision (DSM-IV-TR)*. Text (Vol. 1). American Psychiatric Association. [https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890423349]
- ANAPEDYS. (2005). Site internet de l'Association Nationale d'Associations d'Adultes et de Parents d'Enfants DYSlexiques. [http://www.apedys.org/]
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105(4), 678–723. [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9830376]

- Asikainen, M. (2005). *Diagnosing specific language impairment*. Tampere University Press. [<http://acta.uta.fi/pdf/951-44-6455-9.pdf>]
- Assemblée Nationale. LOI n°2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, Pub. L. No. SANX0300217L (2005). France: JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.
- Assemblée Nationale. LOI no 2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'école (1), Pub. L. No. MENX0400282L (2005). France: JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.
- Ausubel, D. P. (1962). A subsumption theory of meaningful verbal learning and retention. *The Journal of General Psychology*, 66(2), 213–224. [<https://doi.org/10.1080/00221309.1962.9711837>]
- Azzano, V., Jacquier-roux, M., Lepaul, D., Lequette, C., Pouget, G., & Zorman, M. (2011). *Bilan de Santé Évaluation du Développement pour la scolarité 5 à 6 ans (V4.0)*. Grenoble, France.
- Baligand, P. (2014). De la formation des enseignants - en vue de la scolarisation des enfants handicapés. [<http://scolaritepartenariat.chez-alice.fr/page80.htm>]
- Bara, F., Gentaz, É., & Colé, P. (2004). Les effets des entraînements phonologiques et multisensoriels destinés à favoriser l'apprentissage de la lecture chez les jeunes enfants. *Enfance*, Vol. 56(4), 387–403. [http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=ENF_564_0387]
- Bavelier, D., Green, C. S., & Seidenberg, M. S. (2013). Cognitive development: Gaming your way out of dyslexia? *Current Biology*, 23(7), 282–283. [<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.02.051>]
- Baxendale, P. (1958). Machine-made index for technical literature - an experiment. *IBM Journal of Research Development*, 2(4), 354–361.
- Becchetti-Bizot, C., Assouline, D., Bambuck, R., Brisset, C., Chateau, J.-Y., Claus, P., ... Simler, B. (2008). *La scolarisation des élèves handicapés*.
- Bernardon, J. (2015, July 11). L'entreprise clermontoise Médialexie développe un système de prise de notes automatique. *La Montagne*. [http://www.lamontagne.fr/clermont-ferrand/education/2015/07/11/lentreprise-clermontoise-medialexie-developpe-un-systeme-de-prise-de-notes-automatique_11517114.html]
- Bessette, S., & Duquette, H. (2003). *Découvrir ses savoirs d'action et enrichir sa pratique grâce aux cartes mentales*.
- Bianco, M. (2003). Apprendre à comprendre : l'entraînement à l'utilisation des marques linguistiques. In D. Gaonac'h & M. Fayol (Eds.), *Aider les élèves à comprendre : Du texte au multimédia* (pp. 156–181). Paris: Hachette éducation.
- Bigras-Dunberry, C. (2012). Le Français Animé. [<http://lefrancaisanime.bigrasdunberry.com/capsules/>]
- Bird, S. (2012). NLTK 2.0.1. [<https://pypi.python.org/pypi/nltk/2.0.1>]
- Bird, S., Klein, E., & Loper, E. (2009). *Natural Language Processing with Python – Analyzing Text with the Natural Language Toolkit*. O'Reilly. [http://www.nltk.org/book_1ed/]
- Bishop, D. V. M., & Snowling, M. J. (2004). Developmental Dyslexia and Specific Language

- Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin*, 130(6), 858–886. [https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.6.858]
- Boets, B., Op De Beeck, H. P., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., ... Ghesquière, P. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science (New York, N.Y.)*, 342(6163), 1251–1254. [https://doi.org/10.1126/science.1244333]
- Borel-Maisonny, S. (1966). *Langage oral et écrit* (3th ed.). Delachaux et Niestlé. [http://manuelsanciens.blogspot.fr/2014/05/borel-maisonny-langage-oral-et-ecrit.html]
- Bossard, A., Génereux, M., & Poibeau, T. (2009). Résumé automatique de textes d'opinion. *Traitement Automatique Des Langues*, 51. [http://www-lipn.univ-paris13.fr/~genereux/pub_fichiers/48.pdf]
- Bossard, A., & Rodrigues, C. (2012). Combining a Multi-document Summarization System with a Genetic Algorithm. [http://hal.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=4ncl1kghdolhpgf5msku97tg65&view_this_doc=hal-00573580&version=1]
- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230. [https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009]
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, 32(2), 230–253. [https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2008.01387.x]
- Boudin, F., & Hernandez, N. (2012). Participation du LINA à DEFT 2012. In *JEP-TALN-RECITAL 2012, Workshop DEFT 2012: D{É}fi Fouille de Textes (DEFT 2012 Workshop: Text Mining Challenge)* (pp. 61–68). Grenoble, France.
- Bretesche, B. D. La (Ed.). (2000). *La méthode APTE : analyse de la valeur, analyse fonctionnelle*. Paris: Pétrelle.
- Broca, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletins de La Société D'anthropologie de Paris*, 6(1), 377–393. [https://doi.org/10.3406/bmsap.1865.9495]
- Brodin, E. (2006). Instrumenter la lecture de textes théoriques en ingénierie de formation linguistique. In M. Sidir, E. Bruillard, & G.-L. Baron (Eds.), *Colloque JOCAIR'06 : Premières journées communication et apprentissage instrumentés en réseau* (pp. 219–234). Amiens, France.
- Brouwers, L., Bernhard, D., Ligozat, A.-L., & François, T. (2012). Simplification syntaxique de phrases pour le français. *Proceedings of the Joint Conference JEP-TALN-RECITAL 2012, Volume 2: TALN*, 2(1), 211–224. [http://aclweb.org/anthology/F12-2016]
- Buzan, T., & Buzan, B. (1999). *Mind map: dessine-moi l'intelligence*. Paris: Éd. d'Organisation.
- Cañas, A. J., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Gómez, G., ... Carvajal, R. (2004). CmapTools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment. *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping*, 1(1984), 125–135. [https://doi.org/10.1.1.132.6645]

- Caro Dambreville, S. (2014). Les cartes mentales : un changement de paradigme dans les apprentissages. *Communication, Technologie et Développement*, 1, 71–88. [<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01061022/document>]
- Castel, C. (2008). *La Dyslexie Développementale: Origines et Remédiation*. Université d'Aix-Marseille I.
- Charris208, Jarrodmillman, Kern, Rgommers, & Teoliphant. (2014). Numerical Python. [<http://sourceforge.net/projects/numpy/files/NumPy/1.8.2/>]
- Charsky, D. (2010). From Edutainment to Serious Games: A Change in the Use of Game Characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177–198. [<https://doi.org/10.1177/1555412009354727>]
- Chevrier, J., Fortin, G., Leblanc, R., & Théberge, M. (2000). Le style d'apprentissage : une perspective historique. *Education et Francophonie*, XXVIII(1), 20–46.
- Claro Software Ltd. (2015). Claro Software. [<https://www.clarosoftware.com/>]
- Claveau, V. (2012). Vectorisation, Okapi et calcul de similarité pour le TAL : pour oublier enfin le TF-IDF. In *TALN - Traitement Automatique des Langues Naturelles*. Grenoble, France. [<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00760158>]
- Claveau, V., & Raymond, C. (2012). Participation de l'IRISA à DeFT2012: recherche d'information et apprentissage pour la génération de Prétraitements et extraction terminologique. In *JEP-TALN-RECITAL 2012, Workshop DEFT 2012: D'Éfi Fouille de Textes (DEFT 2012 Workshop: Text Mining Challenge)* (pp. 49–60). Grenoble, France.
- Clément, L., Gerdes, K., & Marlet, R. (2009). Grammaires d'erreur – correction grammaticale avec analyse profonde et proposition de corrections minimales. In *TALN 2009* (pp. 24–26). Senlis. [<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/39/62/29/PDF/susabda-taln2009.pdf>]
- Cognet, B. (2010). *La vie entre mes mots*. France: Médialexie. [<https://www.youtube.com/watch?v=NHeMit3u1Rs>]
- Cohen, T., Schvaneveldt, R., & Widdows, D. (2010). Reflective Random Indexing and indirect inference: a scalable method for discovery of implicit connections. *Journal of Biomedical Informatics*, 43(2), 240–56. [<https://doi.org/10.1016/j.jbi.2009.09.003>]
- Coirier, P., Gaonac'h, D., & Passerault, J.-M. (1996). *Psycholinguistique textuelle - Approche cognitive de la compréhension et de la production des textes*. Paris: Armand Colin/Masson.
- Collocations. (2017). [<http://www.nltk.org/howto/collocations.html>]
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001, January). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*. [<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11212628>]
- Compagnie des Dys. (2009). La compagnie de Dys. [<http://compagniedesdys.com/>]
- Conklin, J. (1987). Hypertext : An Introduction and Survey. *IEEE Computers*, 20(9), 17–41.
- Couteret, P. (2009). Les Tice au service des élèves avec Troubles spécifiques des apprentissages (TSA). *La Nouvelle Revue de L'adaptation et de La Scolarisation*, 48. [<http://laboutique.inshea.fr/site/Nras/n48/Couteret.pdf>]

- Cress, U., & Knabel, O. B. (2003). Previews in hypertexts: effects on navigation and knowledge acquisition. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 517–527. [<https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2003.00054.x>]
- Danjon, J., & Pacton, S. (2009). Apprentissages implicites dans l'acquisition de l'orthographe. In *Entretiens de Bichat* (pp. 35–41).
- Das, D., & Martins, A. F. T. (2007). *A Survey on Automatic Text Summarization Single-Document Summarization*.
- Davis, R., & Braun, E. (2010). *The Gift of Dyslexia* (Revised an). Perigee Books. [http://davis-method.narod.ru/Gift_of_Dyslexia.pdf]
- Davis Dyslexia Association International. (2016). Davis Dyslexia Correction-Research Overview. [<http://www.dyslexia.com/science/research.htm#mclaughlin>]
- De Broeck, F. (2013). Optimind. [<http://www.optimind.be/blog/>]
- DeFries, J., & Alarcón, M. (1996). Genetics of specific reading disability. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 2, 39–47. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2779\(1996\)2:1<39::AID-MRDD7>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2779(1996)2:1<39::AID-MRDD7>3.0.CO;2-S)
- Dehaene, S. (2007). *Les neurones de la lecture*. Paris: Odile Jacob.
- Dejerine, J. (1891). Sur un cas de cécité verbale avec agraphie suivi d'autopsie. *Mémoires de La Société de Biologie*, 3, 197–201.
- Delamare, C. (2012). *Dyslexie-dysorthographe et handicap scolaire: les outils informatiques de compensation du langage écrit et leur intégration dans la prise en charge en orthophonie. Réalisation d'une plaquette d'information et d'un site Internet à l'usage des orthophonis*. Université de Poitiers. [<http://orthoremedtechno.wifeo.com/le-memoire-en-format-pdf.php>]
- Démonet, J.-F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 363(9419), 1451–1460. [[https://doi.org/DOI:10.1016/S0140-6736\(04\)16106-0](https://doi.org/DOI:10.1016/S0140-6736(04)16106-0)]
- Denis, P., & Sagot, B. (2010). Exploitation d'une ressource lexicale pour la construction d'un étiqueteur morpho-syntaxique état-de-l'art du français. In *TALN*. Montréal. [<http://pauillac.inria.fr/~pdenis/papers/taln10.pdf>]
- Dewplayer. (2013). [<http://www.dewplayer.fr/>]
- Dosset, P. (2014). Coupe-Mots. Dys-Vocal. [<http://www.dyslogiciel.fr/>]
- Drouin, P. (2003). Term extraction using non-technical corpora as a point of leverage. *Terminology*, 9(1), 99–115. [<https://doi.org/10.1075/term.9.1.06dro>]
- Dubuc, B., Robert, P., Paquet, D., & Daigen, A. (2002). BROCA, WERNICKE ET LES AUTRES AIRES DU LANGAGE.
- Dumais, S. T., Furnas, G. W., Landauer, T. K., Deerwester, S., & Harshman, R. (1988). Using latent semantic analysis to improve access to textual information. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '88* (pp. 281–285). Washington DC. [<https://doi.org/10.1145/57167.57214>]
- Eden, G. F., Jones, K. M., Cappell, K., Gareau, L., Wood, F. B., Zeffiro, T. A., ... Flowers, D. L. (2004). Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia. *Neuron*, 44(3), 411–422. [<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.10.019>]

- Éditions Lelivrescolaire.fr. (2013). Les seuls manuels interactifs gratuits sur Internet. [<http://www.lelivrescolaire.fr/>]
- Edmundson, H. (1969). New Methods in Automatic Extracting. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 16(2), 264–285.
- Eduscol. (2009). La carte heuristique, un outil pédagogique. [<http://eduscol.education.fr/lettres/pratiques/tic/action-utilis>]
- Edyburn, K. (2010). Text compactor. Knowledge by Design, Inc. [textcompactor.com]
- Elbeheri, G., & Everatt, J. (2012). Dyslexia and IQ. In G. Reid (Ed.), *The Routledge Companion to Dyslexia* (pp. 22–32).
- Elkind, J. (1998). *Computer reading machines for poor readers*. Lexia Institute. Los Altos, California.
- Emerging Technology from the arXiv. (2016, December 14). Deep-Learning Machine Listens to Bach, Then Writes Its Own Music in the Same Style. *MIT Technology Review*. [<https://www.technologyreview.com/s/603137/deep-learning-machine-listens-to-bach-then-writes-its-own-music-in-the-same-style/>]
- Erkan, G., & Radev, D. R. (2004). Lexrank: Graph-based lexical centrality as salience in text summarization. *JOURNAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH*, 22, 457–479. [<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.76.9855>]
- Evans, B. J. W., Cook, A., Richards, I. L., & Drasdo, N. (1994). Effect of Pattern Glare and Colored Overlays on a Simulated-Reading Task in Dyslexics and Normal Readers. *Optometry and Vision Science*, 71(10), 619–628.
- Fayol, M. (2003). Les difficultés de l'orthographe. *Cerveau & Psycho*, 3.
- Fellbaum, C. (Ed.). (1998). *WordNet: An Electronic Lexical Database*. Cambridge, MA: MIT Press. [<https://mitpress.mit.edu/books/wordnet>]
- Ferrer, E., Shaywitz, B. A., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Michaels, R., & Shaywitz, S. E. (2015). Achievement Gap in Reading Is Present as Early as First Grade and Persists through Adolescence. *Journal of Pediatrics*, 167(5), 1121–1125. [<https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.07.045>]
- Ferrer, E., Shaywitz, B. A., Holahan, J. M., Marchione, K., Sally, E., Shaywitz, B. A., ... Marchione, K. (2010). Uncoupling of Reading and IQ Over Time: Empirical Evidence for a Definition of Dyslexia. *Psychological Science*, 21(1), 93–101. [<https://doi.org/10.1177/0956797609354084>]
- Florida Institute For Human and Machine Institution. (2004). CmapTools. [<http://ftp.ihmc.us/>]
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facchetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology : CB*, 23(6), 462–6. [<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.044>]
- Fulcher, G. (1989). Cohesion and coherence in theory and reading research, 2, 146–163.
- Galaburda, a M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18(2), 222–33. [<https://doi.org/10.1002/ana.410180210>]

-
- Gaonac'h, D., & Fayol, M. (Eds.). (2003a). *Aider les élèves à comprendre : Du texte au multimédia*. Paris: Hachette éducation.
- Gaonac'h, D., & Fayol, M. (2003b). La compréhension : une approche de psychologie cognitive. In D. Gaonac'h & M. Fayol (Eds.), *Aider les élèves à comprendre : Du texte au multimédia*. Paris: Hachette éducation.
- Garcia, G. (2016). *Une approche logicielle du traitement de la dyslexie Étude de modèles et applications*. Université Blaise Pascal.
- Garcia, V. (2016, March 11). Jeu de go: l'ordinateur a battu l'homme, mais ce n'est pas (si) révolutionnaire. *L'Express*. [http://www.lexpress.fr/actualite/sciences/la-victoire-d-un-ordinateur-sur-un-joueur-de-go-n-est-pas-si-revolutionnaire_1771648.html]
- Gardner, H. (2008). *Les intelligences multiples*. Paris: Retz.
- Gentleman, R., & Ihaka, R. (1997). R. Auckland: The R Foundation. [<https://www.r-project.org/>]
- Ghali, A. El, Hromada, D., & Ghali, K. El. (2012). Enrichir et raisonner sur des espaces sémantiques pour l'attribution de mots-clés. In *TALN*. Grenoble, France.
- Giordan, A., & Saltet, J. (2015). *Apprendre à apprendre*. J'ai lu.
- Girard, C., Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: How effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207–219. [<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x>]
- GIST. (2013). [<https://www.teacherspayteachers.com/Product/GIST-a-summarizer-718458>]
- Gonzalez, A. (2011). OpenDyslexic. DaFont. [<http://www.dafont.com/open-dyslexic.font>]
- goQ Software. (2016). WordQ + SpeakQ. [<http://www.goqsoftware.com/>]
- Goswami, U., & Bryant, P. (1990). *Phonological Skills and Learning to Read*. Hove, England: Lawrence Erlbaum.
- Gotesman, E., & Goldfus, C. (2009). The Impact of Assistive Technologies on the Reading Outcomes of College Students with Disabilities. In Y. Eshet-Alkalai, A. Caspi, S. Eden, N. Geri, & Y. Yair (Eds.), *Proceedings of the Chais conference on instructional technologies research 2009* (Vol. 2, pp. 92–98). Raanana: The Open University of Israel.
- Gotti, F., Langlais, P., Lapalme, G., Charest, S., & Brunelle, É. (2012). Atténuation des surdétections d'un correcteur grammatical de qualité commerciale. *TAL*, 53(3), 33–60.
- Goulet, M. (2007). Terminologie et paramètres expérimentaux pour l'évaluation des résumés automatiques. *Traitement Automatique Des Langues*, 48, 161–185. [<http://www.atala.org/IMG/pdf/TAL-2007-48-1-07-Goulet.pdf>]
- Graham, S., Berninger, V. W., Abbot, R. D., Abbot, S. P., & Whitaker, D. (1997). Role of mechanics in composing of elementary school students: A new methodological approach. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 170–182. [<https://doi.org/10.1037/0022-0663.89.1.170>]
- Grainger, J., Bouttevin, S., Truc, C., Bastien, M., & Ziegler, J. (2003). Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and Language*, 87(3), 432–440. [[https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00145-7](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00145-7)]

- Groupe Tomatis. (2016). La méthode Tomatis. [<http://www.tomatis.com/>]
- Gruez, L. (2015). Gérer l'hétérogénéité avec les cartes heuristiques. [<http://www.crdp-strasbourg.fr/9249-gerer-lheterogeneite-avec-les-cartes-heuristiques/>]
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain*, 123(12), 2373–2399. [<https://doi.org/10.1093/brain/123.12.2373>]
- Habib, M., & Joly-pottuz, B. (2008). Dyslexie , du diagnostic à la thérapeutique : un état des lieux. *Revue de Neuropsychologie*, 18(4), 247–325.
- Habib, M., & Joly-Pottuz, B. (2008). Dyslexie, du diagnostic à la thérapeutique: un état des lieux. *Revue de Neuropsychologie*, 18(4), 247–325.
- Habib, M., Livet, M.-O., Mancini, J., & Pech, C. (2003). Troubles du langage écrit. Les dyslexies et dysorthographies. [<http://www.cndp.fr/bienlire/04-media/a-troubles-imp.htm>]
- Half-Baked Software Inc. (2013). Hot Potatoes. Victoria, Canada: Half-Baked Software Inc. [<https://hotpot.uvic.ca/>]
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software. *SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1), 10. [<https://doi.org/10.1145/1656274.1656278>]
- Hamon, T. (2012). Acquisition terminologique pour identifier les mots clés d'articles scientifiques. In *JEP-TALN-RECITAL 2012, Workshop DEFT 2012: D{É}fi Fouille de Textes (DEFT 2012 Workshop: Text Mining Challenge)* (pp. 25–31). Grenoble, France. [http://www.pourmonfils.com/deft/actes/actes_deft2012.pdf#page=43]
- Hanley, J. R., Hastie, K., & Kay, J. (1992). Developmental surface dyslexia and dysgraphia: an orthographic processing impairment. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 44(2), 285–319. [<https://doi.org/10.1080/02724989243000046>]
- Harrar, V., Tammam, J., Pérez-Bellido, A., Pitt, A., Stein, J., & Spence, C. (2014). Multisensory Integration and Attention in Developmental Dyslexia. *Current Biology*, 1–5. [<https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.01.029>]
- Havelick, T. (2012). Summarize. GitHub. [<https://github.com/thavelick/summarize>]
- Hecker, L., & Engstrom, E. U. (2005). Assistive Technology and Individuals with Dyslexia. In *Multisensory Teaching of Basic Language Skills (2nd Edition)* (Judith R.). Paul H. Brookes Publishing Company.
- Hitchens, P. (2014). Dyslexia is NOT a disease. It is an excuse for bad teachers. *Mail Online*. [<http://www.dailymail.co.uk/debate/article-2570977/PETER-HITCHENS-Dyslexia-not-disease-It-excuse-bad-teachers.html>]
- Hofman, R., & van Oostendorp, H. (1999). Cognitive Effects of a Structural Overview in a Hypertext. *British Journal of Educational Technology*, 30(2), 129–140. [<https://doi.org/10.1111/1467-8535.00101>]
- Houle, C. (2011). Le predicteur phonologique médialexie. [<http://ecolebranchee.com/2011/05/12/le-predicteur-phonologique-medialexie/>]
- Hovy, E., & Lin, C. . (1999). Automated Text Summarization in SUMMARIST. In I. Mani (Ed.),

- Advances in automatic text summarization*. Cambridge: MIT Press. [http://www.isi.edu/natural-language/people/hovy/papers/98hovylin-summarist.pdf]
- Huc-chabrolle, M., Barthez, M., Tripi, G., & Barthélémy, C. (2010). Les troubles psychiatriques et psychocognitifs associés à la dyslexie de développement : un enjeu clinique et scientifique. *L'Encephale*, 36, 172–179. [https://doi.org/10.1016/j.encep.2009.02.005]
- Hulme, C., & Snowling, M. J. (2016). Reading disorders and dyslexia. *Current Opinion in Pediatrics*, 28(6), 731–735. [https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000411]
- Ingvar, M., af Trampe, P., Greitz, T., Eriksson, L., Stone-Elander, S., & von Euler, C. (2002). Residual differences in language processing in compensated dyslexics revealed in simple word reading tasks. *Brain and Language*, 83(2), 249–267. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00055-X]
- INSERM (dir.). (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie: bilan des données scientifiques*. Paris: INSERM. [http://lara.inist.fr/handle/2332/1303]
- Irlen Institute. (2015). What is Irlen syndrome ? [http://irlen.com/what-is-irlen-syndrome/#]
- Jacquier-Roux, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S., & Zorman, M. (2010). *B.A.L.E. (Batterie Analytique de Langage Ecrit)*. (Cogni-Sciences, Ed.). Grenoble. [http://www.cognisciences.com/article.php3?id_article=81]
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Zorman, M., Lequette, C., & Pouget, G. (2005). *Outil de Dépistage des DYSlexies*. Grenoble, France.
- Jamet, E. (2008). Peut-on concevoir des documents électroniques plus efficaces? L'exemple des diaporamas. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 58(3), 185–198. [https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.10.003]
- Jarvella, R. J. (1971). Syntactic processing of connected speech. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10(4), 409–416. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371(71)80040-3]
- Jretz, Mhammond, & Theller. (2008). Py2exe. [https://sourceforge.net/projects/py2exe/files/py2exe/0.6.9/]
- Jucla, M. (2009). *Aspects phonologiques, orthographiques et lexico-sémantiques du traitement du langage: production orale versus écrite chez l'adulte et protocole d'intervention dans les dyslexies du développement - études comportementales et par la méthode des potentiels*. université de Toulouse.
- Kaplan, B. J., Wilson, B. N., Dewey, D., & Crawford, S. G. (1998). DCD may not be a discrete disorder. *Human Movement Science*, 17, 471–490.
- Kast, M., Baschera, G.-M., Gross, M., Jäncke, L., & Meyer, M. (2011). Computer-based learning of spelling skills in children with and without dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 61(2), 177–200. [https://doi.org/10.1007/s11881-011-0052-2]
- Kintsch, W. (1988). the Role of Knowledge in Discourse Comprehension - a Construction Integration Model. *Psychological Review*, 95(2), 163–182. [https://doi.org/10.1037//0033-295X.95.2.163]
- Kotula, A. W. (2003). Matching readers to instructional materials: The use of classic

- readability measures for students with language learning disabilities and dyslexia. *Topics in Language Disorders*, 23(3), 190–203.
- Kupiec, J., Pedersen, J., & Chen, F. (1995a). A Trainable Document Summarizer. In *SIGIR'95 Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 68–73). Seattle, USA: ACM. [<https://doi.org/10.1145/215206.215333>]
- Kupiec, J., Pedersen, J., & Chen, F. (1995b). A Trainable Document Summarizer. In *SIGIR'95 Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 68–73). Seattle, USA: ACM. [<https://doi.org/10.1145/215206.215333>]
- Kurniawan, S., & Conroy, G. V. (2007). Comparing Comprehension Speeds and Accuracy of Online Information in Students with and without Dyslexia. In S. Kurniawan (Ed.), *Advances in Universal Web Design and Evaluation: Research, Trends and Opportunities*. Hershey PA, USA: Idea Group Inc.
- L'Haire, S. (2011). *Traitement Automatique des Langues et Apprentissage des Langues Assisté par Ordinateur : bilan , résultats et perspectives*. Université de Genève. [<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:16552>]
- Lalain, M., Mendonça-alves, L., Espesser, R., Ghio, A., De Looze, C., & Reis, C. (2012). Lecture et prosodie chez l'enfant dyslexique, le cas des pauses. In *JEP-TALN-RECITAL* (Vol. 1, pp. 41–48). Grenoble, France: ATALA & AFCP.
- Landaeur, T. K., & Psocka, J. (2000). Simulating Text Understanding for Educational Applications with Latent Semantic Analysis: Introduction to LSA. *Interactive Learning Environments*, 8(2), 73–86. [[https://doi.org/10.1076/1049-4820\(200008\)8](https://doi.org/10.1076/1049-4820(200008)8)]
- Laurent, M. (2011). *Structuration des données des blogs de la formation Infral à l'aide des outils de programmation Python et NLTK*. Université Blaise Pascal.
- Lebart, L. (2007). Which bootstrap for principal axes methods? In P. Brito, P. Bertrand, G. Cucumel, & F. de Carvalho (Eds.), *Selected Contributions in Data Analysis and Classification* (pp. 581–588). Springer.
- Lebart, L. (2016). DTM Vic. [<http://www.dtmvic.com/>]
- Lebart, L., & Salem, A. (1994). *Statistique Textuelle*. Paris: Dunod.
- Leblanc, R. (1997). Une difficulté d'apprentissage : sous la lentille du modèle des intelligences multiples. *Les Difficultés D'apprentissage*, XXV(2). [<http://w4.uqo.ca/moreau/documents/Leblanc1997.pdf>]
- Lemarié, J., Lorch Jr., R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). SARA : A Text-Based and Reader-Based Theory of Signaling. *Educational Psychologist*, 43(1), 27–48. [<https://doi.org/10.1080/00461520701756321>]
- Li, B., & Gaussier, E. (2012). Modèles d'information pour la recherche multilingue. In M. Beigbeder, V. Eglin, N. Ragot, & M. Géry (Eds.), *CORIA 2012 - Conférence en Recherche d'Information et Applications* (pp. 9–24). Bordeaux, France.
- Longeon, T. (2010). Les cartes heuristiques au service d'une pédagogie active. In *TICE2010 - 7ème Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement*.
- Lorch Jr, R. F., Lemarié, J., & Grant, R. A. (2011). Three Information Functions of Headings : A Test of the SARA Theory of Signaling. *Discourse Processes*, 48(3), 139–160.

- [<https://doi.org/10.1080/0163853X.2010.503526>]
- Lund, K., & Burgess, C. (1996). Producing high-dimensional semantic spaces from lexical co-occurrence. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 28(2), 203–208. [<https://doi.org/10.3758/BF03204766>]
- Luhn, H. P. (1958). The Automatic Creation of Literature Abstracts. *IBM Journal of Research Development*, 2(2), 159–165. [[http://www.di.ubi.pt/~jpaulo/competence/general/\(1958\)Luhn.pdf](http://www.di.ubi.pt/~jpaulo/competence/general/(1958)Luhn.pdf)]
- MacArthur, C. A. (1999). Word prediction for students with severe spelling problems. *Learning Disabilities Quarterly*, 22, 158–172. [<https://doi.org/10.2307/1511283>]
- MacArthur, C. A. (2009). Reflections on Research on Writing and Technology for Struggling Writers. *Learning Disabilities Research & Practice*, 24(2), 93–103. [<https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2009.00283.x>]
- MacArthur, C. A., & Cavalier, A. R. (2004). Dictation and Speech Recognition Technology as Test Accommodations. *Exceptional Children*, 71(1), 43–58.
- Macdonald, S. J. (2007). *Hidden biographies: dyslexia, disability and social class*. University of Newcastle.
- Macdonald, S. J. (2010). Towards a social reality of dyslexia. *British Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 271–279. [<https://doi.org/10.1111/j.1468-3156.2009.00601.x>]
- MacGill, M. (2013). New ADHD test uses brainwaves. *Medical News Today*. [<http://www.medicalnewstoday.com/articles/263440.php>]
- Macrae, F. (2014). Dyslexia is a “meaningless label used by middle-class parents who fear their children are being branded stupid”, professor claims. *Mail Online*. [<http://www.dailymail.co.uk/health/article-2567690/Dyslexia-meaningless-label-used-middle-class-parents-claims-Professor-Julian-Elliot.html>]
- Magnan, A., & Ecalte, J. (2006). Audio-visual training in children with reading disabilities. *Computers & Education*, 46(4), 407–425. [<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.08.008>]
- Magnuson, T., & Hunnicutt, S. (2002). Measuring the effectiveness of word prediction : The advantage of long-term use. *TMH-Quarterly Progress and Status Report*, 43(1), 57–67.
- Maïonchi-Pino, N. (2012). Phonological Restriction Knowledge in Dyslexia : Universal or Language-Specific ? In T. Wydell (Ed.), *Dyslexia - A Comprehensive and international Approach* (pp. 47–60). InTech. [<https://doi.org/10.5772/33329>]
- Maïonchi-Pino, N., Magnan, A., & Écalte, J. (2010). Syllable frequency effects in visual word recognition: Developmental approach in French children. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 31(1), 70–82. [<https://doi.org/10.1016/j.appdev.2009.08.003>]
- Maïonchi-Pino, N., Taki, Y., Yokoyama, S., Magnan, A., Takahashi, K., Hashizume, H., ... Kawashima, R. (2013). Is the phonological deficit in developmental dyslexia related to impaired phonological representations and to universal phonological grammar? *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(1), 53–73. [<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.10.006>]

- Malard, S. (2013). *Les schémas heuristiques : découverte et suggestions d'utilisation dans le cadre d'une intervention orthophonique*. Université de Nantes.
- Marendaz, C., Valdois, S., & Walch, J. (1996). Dyslexie développementale et attention visuo-spatiale. *L'année Psychologique.*, 96, 193–224.
[<https://doi.org/10.3406/psy.1996.28893>]
- Margarido, P. R. ., Pardo, T., Antinio, G. ., Fuentes, V. ., Aires, R., Aluisio, S., & Fortes, R. P. M. (2008). Automatic Summarization for Text Simplification: Evaluating Text Understanding by Poor Readers. In *XIV Brazilian symposium on Multimedia and the Web, WebMedia'08*. Vila Velha, Brazil.
[<http://caravelas.icmc.usp.br/wiki/images/f/f7/47901.pdf>]
- Martin, C. D., Nazir, T., Thierry, G., Paulignan, Y., & Démonet, J. F. (2006). Perceptual and lexical effects in letter identification: An event-related potential study of the word superiority effect. *Brain Research*, 1098(1), 153–160.
[<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.04.097>]
- Martins Da Cunha, H. (1987). Le syndrome de déficience posturale (SDP). *Agressologie*, 28, 941–943. [<http://ada-posturologie.fr/SDP1987.htm>]
- Mayer, M. (1969). *Frog, where are you?* New York: Dial Books for Young Readers.
- Médialexie. (2005). Imagineur. [<http://www.medialexie.com/>]
- Médialexie. (2012). Définition de la dyslexie. [<http://www.medialexie.com/dyslexie.html>]
- Médialexie. (2015a). Le Cartographe est enfin disponible !
[<http://www.medialexie.com/fr/lettres/lettre100.html>]
- Médialexie. (2015b). Médialexie. [<http://www.medialexie.com/>]
- Merdy, E. (2014). *Accompagnement de l'apprentissage de la lecture pour les jeunes dyslexiques par la mise en évidence automatique de syllabes visuelles ou sonores*. Université Toulouse 2 - Jean Jaurès.
- MicrolinkPC. (2016). Colour Explorer. [<http://colour-explorer.software.informer.com/9.0/>]
- Mihalcea, R., & Tarau, P. (2004). TextRank: Bringing order into texts. *Proceedings of EMNLP*, 85, 404–411. [<https://doi.org/10.3115/1219044.1219064>]
- Ministère de l'Éducation Nationale. Programme Scolaire (2002).
[<http://www.education.gouv.fr/bo/2002/hs1/cycle2.htm>]
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2008a). Les programmes du collège.
[<http://www.education.gouv.fr/pid24207/les-programmes-du-college.html>]
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2008b). Programmes du collège. Programmes de l'enseignement de mathématiques. *Le BO. Bulletin Officiel Spécial*. education.gouv.fr.
[http://media.education.gouv.fr/file/special_6/21/8/programme_francais_general_33218.pdf]
- Ministère de l'éducation nationale de l'enseignement supérieur et de la recherche. (2015). *Guide pour la scolarisation des enfants et adolescents en situation de handicap*.
- Mogasale, V. V., Patil, V. D., Patil, N. M., & Mogasale, V. (2012). Prevalence of specific learning disabilities among primary school children in a south Indian city. *Indian Journal of Pediatrics*, 79(3), 342–347. [<https://doi.org/10.1007/s12098-011-0553-3>]

- Moodle Pty Ltd. (2016). Moodle. Perth, Australia. [<https://moodle.org/>]
- Morozov, I. (2016). Balabolka. [<http://www.cross-plus-a.com/fr/balabolka.htm>]
- Müller, J., Polansky, D., Novak, P., Foltin, C., & Polivaev, D. (2004). FreeMind. [http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page]
- Nakamura, K., Dehaene, S., Jobert, A., Le Bihan, D., & Kouider, S. (2005). Subliminal convergence of Kanji and Kana words: further evidence for functional parcellation of the posterior temporal cortex in visual word perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 954–968. [<https://doi.org/10.1162/0898929054021166>]
- Nandhini, K., & Balasundaram, S. R. (2011). Improving Readability of Dyslexic Learners through Document Summarization. *2011 IEEE International Conference on Technology for Education*, 246–249. [<https://doi.org/10.1109/T4E.2011.49>]
- Németh, L. (2016). Hunspell. GitHub. [<https://hunspell.github.io/>]
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2007). Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *Trends in Neurosciences*, 30(4), 135–41. [<https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.02.003>]
- Nobis, P. (2014). Les cartes heuristiques : pourquoi et pour qui ? [<http://www.cndp.fr/agence-usages-tice/que-dit-la-recherche/les-cartes-heuristiques-pourquoi-et-pour-qui-65.htm>]
- Novak, J. D., & Canas, A. J. (2008). *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them, Technical Report IHMC CmapTools*. [<http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>]
- Nuance. (n.d.). Dragon Naturally Speaking. Nuance. [<http://www.nuance.fr/dragon/index.htm>]
- O’Brien, B. A., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 332–349. [<https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00273.x>]
- Orasan, C., & Evans, R. (2007). NP Animacy Identification for Anaphora Resolution. *JOURNAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH*, 29, 79–103.
- Pacton, S., Fayol, M., & Lete, B. (2008). L’intégration des connaissances lexicales et infralexicales dans l’apprentissage du lexique orthographique. *A.N.A.E.*, (sección 3), 213–218.
- Page, L., Brin, S., Motwani, R., & Winograd, T. (1998). The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. *World Wide Web Internet And Web Information Systems*, 54(1999–66), 1–17. [<https://doi.org/10.1.1.31.1768>]
- Paroubek, P., Zweigenbaum, P., Forest, D., & Grouin, C. (2012). Indexation libre et contrôlée d’articles scientifiques Présentation et résultats du défi fouille de textes DEFT2012. In *JEP-TALN-RECITAL 2012, Workshop DEFT 2012: D{É}fi Fouille de Textes (DEFT 2012 Workshop: Text Mining Challenge)* (pp. 1–13).
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., ... Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3(1), 91–96.

- [<https://doi.org/10.1038/71163>]
- Penfriend Ltd. (2014). Penfriend. [<http://www.penfriend.biz/pf-xl.html>]
- Perry, C., Ziegler, J. C., & Zorzi, M. (2010). Beyond single syllables: large-scale modeling of reading aloud with the Connectionist Dual Process (CDP++) model. *Cognitive Psychology*, 61(2), 106–51. [<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2010.04.001>]
- Petersen, S. E., & Ostendorf, M. (2007). Text Simplification for Language Learners: A Corpus Analysis. In *Speech in Language Technology in Education (SLaTE2007)* (p. 4). Farmington, PA, USA.
- Pfeiffer, S., Davis, R., Kellogg, E., Hern, C., McLaughlin, T. F., & Curry, G. (2001). The effect of the Davis learning strategies on first grade word recognition and subsequent special education referrals. *Reading Improvement*, 38(2). [http://www.davislearn.com/research/Effect_of_Davis_Learning_Strategies.pdf]
- Polivaev, D., Boerchers, V., Natter, F., Archibald, B., Goebel, H., & Robert. (2012). Freeplane. [http://freeplane.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page]
- Polony, N. (2009, November 24). L'école face à l'épidémie de dyslexie. *Le Figaro.fr*. [<http://www.lefigaro.fr/actualite-france/2009/11/24/01016-20091124ARTFIG00625-l-ecole-face-a-l-epidemie-de-dyslexie-.php>]
- Princeton University. (2010). About Wordnet. [<http://wordnet.princeton.edu>]
- PythonProgramming. (2016). Wordnet with NLTK. [<https://pythonprogramming.net/wordnet-nltk-tutorial/>]
- Quercia, P. (2011). Dyslexie de développement, contrôle postural et proprioception : état de la recherche médicale. [http://www.dysproprioception.fr/documents_pdf/12_11_dyslexie_du_developpement.pdf]
- Quercia, P., Seigneuric, A., Chariot, S., Vernet, P., Pozzo, T., Bron, A., ... Robichon, F. (2005). Proprioception oculaire et dyslexie de développement À propos de 60 observations cliniques. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 28(7), 713–723. [<https://doi.org/JFO-09-2005-28-7-0181-5512-101019-200504224>]
- Raberger, T., & Wimmer, H. (2003). On the automaticity/cerebellar deficit hypothesis of dyslexia: balancing and continuous rapid naming in dyslexic and ADHD children. *Neuropsychologia*, 41, 1493–1497. [[https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00078-2](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00078-2)]
- Ramus, F. (2010). Génétique de la dyslexie développementale. In S. Chokron & J.-F. Démonet (Eds.), *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages* (pp. 67–90). Marseille: Solal.
- Ramus, F. (2012). Les troubles spécifiques de la lecture. *L'Information Grammaticale*, 133, 34–40. [<http://www.lscp.net/persons/ramus/docs/IG12.pdf>]
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 129–141. [<https://doi.org/10.1590/S1516-80342007000400015>]
- Rankel, P. a., Conroy, J. M., & Schlesinger, J. D. (2012). Better Metrics to Automatically Predict the Quality of a Text Summary. *Algorithms*, 5(4), 398–420. [<https://doi.org/10.3390/a5040398>]

- Rapcsak, S. Z., Beeson, P. M., Henry, M. L., Leyden, A., Kim, E., Rising, K., ... Cho, H. (2009). Phonological dyslexia and dysgraphia: Cognitive mechanisms and neural substrates. *Cortex*, 45(5), 575–591. [<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.04.006>]
- Rebeyrol, A., Bablet, M., Bisson-Vaivre, C., Caraglio, M., Carsin, C., Costa-Lascoux, J., ... Negrel, I. (2010). *Discriminations à l'École*.
- Regnard, D. (2010). Apports pédagogiques de l'utilisation de la carte heuristique en classe. *Etudes de Linguistique Appliquée*, 2(158), 215–222. [<http://www.refdoc.fr/Detailnotice?idarticle=51180527>]
- Rello, L., Saggion, H., Baeza-yates, R., & Graells, E. (2012). Graphical Schemes May Improve Readability but Not Understandability for People with Dyslexia. In *Proceedings of the First Workshop on Predicting and Improving Text Readability for target reader populations* (pp. 25–32). Montréal, Canada.
- Richaudeau, F. (1978). Le texte le plus efficace que je connaisse. *Communication et Langages*, 37(1), 6–24. [<https://doi.org/10.3406/colan.1978.1167>]
- Ringard, J.-C. (2000). *A propos de l'enfant dysphasique et de l'enfant dyslexique*.
- Robertson, E. S., Walker, S., Jones, S., Hancock-Beaulieu, M. M., & Gatford, M. (1995). Okapi at TREC-3. In D. K. Harman (Ed.), *Overview of the Third Text REtrieval Conference TREC3* (pp. 109–126). Gaithersburg, MD. [<http://dblp.uni-trier.de/db/conf/trec/trec94.html#RobertsonWJHG94>]
- Rousseau-Giral, A.-C., Strohl, H., Bizot, C., Ravary, Y., & Gossot, B. (2002). *Enquête sur le rôle des dispositifs médico-social sanitaire et pédagogique dans la prise en charge des troubles complexes du langage*.
- Sagot, B. (2010). The Lefff, a freely available and large-coverage morphological and syntactic lexicon for French. In *Proceedings of the 7th international conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2010)*. Istanbul, Turquie. [<https://hal.inria.fr/inria-00521242/>]
- Sagot, B., & Fišer, D. (2008). Construction d'un wordnet libre du français à partir de ressources multilingues. In *TALN* (Vol. 2). Avignon, France.
- Sampath, H., Sivaswamy, J., & Indurkha, B. (2010). Role of technology in assisting children with Developmental Disorders. In *IGAI Workshop on Emerging Research Trends in Artificial Intelligence (ERTAI - 2010)*.
- Sanchez, E. (2012). "Serious games" ou "serious play" ? Interactions et apprentissages. [<http://www.educ-revues.fr/ARGOS/AffichageDocument.aspx?iddoc=41674>]
- Sanchez, E., & Emin-Martinez, V. (2013). Atelier « Serious games , jeux épistémiques numériques » Méthodologies de recherche pour l'étude des interactions Sommaire. In E. Sanchez & V. Emin-Martinez (Eds.), *Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain* (pp. 1–27). Toulouse: ATIEF.
- Sanchez, M., Ecalle, J., & Magnost, A. (2012). Linfluence précoce des connaissances morphologiques et orthographiques sur l'apprentissage de la lecture: une étude longitudinale de la GSM au CE1. *Psychologie Française*, 57(4), 277–290. [<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2012.05.001>]
- Savoy, J., & Abdou, S. (2006). Évaluation statistique des stratégies d'indexation et de

- recherche pour les langues asiatiques. *Interaction Intelligence Information*, 6(2), 9–30. [https://www.irit.fr/journal-i3/volume06/numero02/revue_i3_06_02_02.pdf]
- Schank, R. C. (1999). *Dynamic memory revisited*. Cambridge University Press.
- Schmid, H. (1994). Probabilistic Part-of-Speech Tagging Using Decision Trees. In *Proceedings of the International Conference on New Methods in Language Processing* (pp. 44–49). [<https://doi.org/10.1.1.28.1139>]
- Schmitz, C. (2016). LimeSurvey: An Open Source survey tool. Hamburg, Germany: LimeSurvey Project Team. [<http://www.limesurvey.org>]
- Schnotz, W. (2002). Towards an Integrated View of Learning From Text and Visual Displays. *Educational Psychologist Review*, 14(1), 101–120.
- Scribble Maps. (2013). 52 Stairs Studio Inc. [<https://www.scribblemaps.com/>]
- Sebastiani, F. (2002). Machine learning in automated text categorization. *ACM Computing Surveys*, 34(1), 1–47. [<https://doi.org/10.1145/505282.505283>]
- Seymour, P. H. K., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94(2), 143–74. [<https://doi.org/10.1348/000712603321661859>]
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11), 1301–1309. [<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>]
- Silberstein, M. (n.d.). Nooj. [<http://www.nooj4nlp.net/pages/references.html>]
- Silio, M. C., & Barbetta, P. M. (2010). The effects of Word Prediction and Text-to-Speech Technologies on the Narrative Writing Skills of Hispanic Students with Specific Learning Disabilities. *Journal of Special Education Technology*, 25(4), 17–32. [<http://www.tamcec.org/jset/>]
- Simonov, K. (2012). PyYAML. [<https://pypi.python.org/pypi/PyYAML>]
- Siok, W. T., Perfetti, C. A., Jin, Z., & Tan, L. J. (2004). Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature*, 431, 71–76. [<https://doi.org/10.1038/nature02709.1>]
- Siok, W. T., Spinks, J. a, Jin, Z., & Tan, L. H. (2009). Developmental dyslexia is characterized by the co-existence of visuospatial and phonological disorders in Chinese children. *Current Biology*, 19(19), R890-2. [<https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.08.014>]
- Smmry. (2013). [smmry.com]
- Snowling, M. J., & Hulme, C. (2011). Evidence-based interventions for reading and language difficulties: Creating a virtuous circle. *British Journal of Educational Psychology*, 81(1), 1–23. [<https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2010.02014.x>]
- Spärck Jones, K. (1972). A Statistical Interpretation of Term Specificity and its Retrieval. *Journal of Documentation*, 28(1), 11–21. [<https://doi.org/10.1108/eb026526>]
- Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A., & Zoccolotti, P. (2002). Crowding Effects on Word Identification in Developmental Dyslexia. *Cortex*, 38(2), 179–200. [[https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70649-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70649-X)]
- “Spinoza1670.” (2011). Bien lire Aimer lire - BM - La méthode Borel-Maisonny.
- Stevenson, H. W., Stigler, J. W., Lucker, G. W., Lee, S., Stevenson, H. W., Stigler, J. W., ... Lee,

- S. (1982). Society for Research in Child Development Reading Disabilities : The Case of Chinese , Japanese , and English, 53(5), 1164–1181.
- Stull, A. T., & Mayer, R. E. (2007). Learning by doing versus learning by viewing: Three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 808–820. [https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.4.808]
- Sweller, J. (2008). Human Cognitive Architecture. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, & M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (3rd ed., pp. 369–381). New York: Routledge.
- Swiffin, A., Arnott, J., Pickering, J. A., & Newell, A. (1987). Adaptive and predictive techniques in a communication prosthesis. *Augmentative and Alternative Communication*, 3(4), 181–191. [https://doi.org/10.1080/07434618712331274499]
- Sylvestre de Sacy, C. (2008). *Bien lire et aimer lire - Livre 1: Méthode phonétique et gestuelle Borel-Maisonny* (33th ed.). ESF éditeur.
- Synapse Développement. (2016). Cordial. Toulouse: Synapse Développement. [http://www.cordial.fr/]
- Tallal, P., Miller, S. L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S. S., ... Merzenich, M. M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271(5245), 81–84. [https://doi.org/10.1126/science.271.5245.81]
- Tanaka, H., Black, J. M., Hulme, C., Stanley, L. M., Kesler, S. R., Whitfield-Gabrieli, S., ... Hoeft, F. (2011). The brain basis of the phonological deficit in dyslexia is independent of IQ. *Psychological Science*, 22(11), 1442–51. [https://doi.org/10.1177/0956797611419521]
- Tauveron, M. (2012). Incrément lexicale dans les textes: une auto-organisation. *Jep-TalN-Recital 2012*, 3, 15–28. [http://www.aclweb.org/anthology-new/F/F12/F12-3002.pdf]
- TEI Consortium. (2012). TEI Lite. [http://www.tei-c.org/Guidelines/Customization/Lite/]
- Thomas, M. S. C. (2008). L'acquisition du langage dans les pathologies du développement. In M. Kail, M. Fayol, & M. Hickmann (Eds.), *L'apprentissage des langues* (pp. 451–475). Paris: CNRS Edition.
- Torres-Moreno, J.-M. (2011). *Résumé automatique de documents : une approche statistique*. Hermes-Lavoisier.
- Turk, M. (2014). Multimodal interaction: A review. *Pattern Recognition Letters*, 36, 189–195. [https://doi.org/10.1016/j.patrec.2013.07.003]
- Université Clermont Auvergne. (2010). Ecole Doctorale LSHS.
- Valdois, S. (2003a). *Les élèves en difficulté d'apprentissage de la lecture*. [http://www.cndp.fr/bienlire/01-actualite/document/valdois.pdf]
- Valdois, S. (2003b). *Les élèves en difficulté d'apprentissage de la lecture*.
- Valdois, S. (2008). Dyslexies développementales : Théorie de l'empan visuo-attentionnel. *A.N.A.E.*, 96–97(20), 213–219.
- Valdois, S. (2010). Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture. *Revue Française de Linguistique Appliquée*, 15(1), 89–103.

- [http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=RFLA_151_0089]
- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing*, 16, 541–572. [<http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-00826014/document>]
- Venkatagiri, H. S. (1994). Effect of Window Size on Rate of Communication in a Lexical Prediction AAC System. *AAC System, Augmentative and Alternative Communication*, 10(2), 105–112. [<https://doi.org/10.1080/07434619412331276810>]
- Vikidia. (2013). [<https://fr.wikidia.org/wiki/Vikidia:Accueil>]
- VoxPop. (2017). J'ai cours de e-sport. France, Germany: Arte. [<http://info.arte.tv/fr/jai-cours-de-e-sport>]
- Widell, V. (2016). Diveslxa. [http://geon.github.io/programming/2016/03/03/dsxyliea?utm_source=hackernewsletter]
- Wikipédia. (2017). [<https://fr.wikipedia.org/wiki>]
- Williams, S. (2002). How Speech-Feedback and Word-Prediction Software Can Help Students Write. *TEACHING Exceptional Children*, 34, 72–78. [<http://cec.metapress.com/content/hu30578544u15385/>]
- World Health Organization. (2011). *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD-10)*. World Health Organization.
- Xmind. (2006). Xmind. [<http://www.xmind.net/>]
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Coltheart, M. (2003). Speed of lexical and nonlexical processing in French : The case of the regularity effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(4), 947–953. [<https://doi.org/10.3758/BF03196556>]
- Ziegler, J. C., Perry, C., Ma-Wyatt, A., Ladner, D., & Schulte-Körne, G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, 86(3), 169–193. [[https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(03\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(03)00139-5)]
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., ... Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(28), 11455–9. [<https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109>]

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Ordonnancement de 13 langues européennes selon leur profondeur orthographique, basé sur le tableau de Seymour, Aro et Erskine (2003).....	42
Tableau 6.1 Fonctionnalités et contraintes déterminés par le cahier des charges du LICL... ..	152
Tableau 7.1 Répartition des groupes pour l'expérimentation.....	170
Tableau 7.2 Moyenne des scores obtenus et effectif, suivant le sexe et le groupe.....	200
Tableau 7.3 Moyenne des temps de complétion en secondes et effectif, suivant le sexe et le groupe.	201
Tableau 7.4 Récapitulatif du temps passé, en secondes, à la lecture des deux textes.	201
Tableau 7.5 Répartition des effectifs par situation expérimentale.	202
Tableau 7.6 Temps de lecture accordés aux textes selon leur position dans le questionnaire.	202
Tableau 7.7 Moyennes des temps de lecture des textes respectifs lorsqu'ils sont rencontrés en 1er dans le questionnaire.....	203
Tableau 7.8 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte d'Histoire, avec la carte disponible.	206
Tableau 7.9 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte d'Histoire sans la carte disponible.	206
Tableau 7.10 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte de géographie, avec la carte disponible.....	207
Tableau 7.11 Temps moyens de réponse aux questions sur le texte de géographie, sans la carte disponible.....	207
Tableau 7.12 Moyenne globale des scores de compréhension obtenus.....	208
Tableau 7.13 Moyenne des scores obtenus en fonction de la position du texte dans le questionnaire.	208
Tableau 7.14 Moyenne des scores obtenus pour le texte d'Histoire accompagné de la carte, selon sa position dans le questionnaire.	209
Tableau 7.15 Moyenne des scores obtenus pour le texte d'Histoire sans la carte, selon sa position dans le questionnaire.	209
Tableau 7.16 Moyenne des scores obtenus pour le texte de géographie accompagné de la carte, selon sa position dans le questionnaire.....	210
Tableau 7.17 Moyenne des scores obtenus pour le texte de géographie sans la carte, selon sa position dans le questionnaire.	210
Tableau 7.18 Comparatif des temps de lecture du texte pour les normo-lecteurs, selon la disponibilité de la carte.....	215
Tableau 7.19 Tableau récapitulatif des temps moyens de réponse aux questionnaires suivant les différentes conditions expérimentales.....	217

Tableau 7.20 Temps moyen consacré à la lecture de la carte lorsque celle-ci était présentée en première partie de questionnaire.	217
Tableau 7.21 Temps moyen consacré à la lecture de la carte lorsque celle-ci était présentée en seconde partie de questionnaire.	218
Tableau 7.22 Pourcentages de bonnes réponses données par les participants aux questions sur le texte d'Histoire.	226
Tableau 7.23 Pourcentages de bonnes réponses données par les participants aux questions sur le texte de géographie.	226
Tableau 7.24 Taux de bonnes réponses aux questions d'Histoire pour les dyslexiques.	229
Tableau 7.25 Taux de bonnes réponses aux questions d'Histoire pour les normo-lecteurs.	229
Tableau 7.26 Taux de bonnes réponses aux questions de géographie pour les dyslexiques.	229
Tableau 7.27 Taux de bonnes réponses aux questions de géographie pour les normo-lecteurs.	229
Tableau 7.28 Temps de réponse des dyslexiques pour la question G3 en comparaison du temps moyen de réponse aux questions.	230
Tableau 7.29 Temps de réponse moyen pour la question G3 et temps de réponse moyen maximum et minimum.	231
Tableau 7.30 Temps moyen accordé à la lecture de la carte, en secondes, selon les groupes.	233
Tableau 7.31 Scores moyens sur les questions d'Histoire en fonction du temps de lecture accordé au texte au départ.	234
Tableau 7.32 Scores moyens sur les questions de géographie en fonction du temps de lecture accordé au texte au départ.	234

Liste des figures

Figure 1.1 Carte heuristique illustrant le diagnostic de la dyslexie, réalisée avec <i>Freemind</i> (Müller, Polansky, Novak, Foltin, & Polivaev, 2004).	18
Figure 1.2 Schéma représentant l'hémisphère gauche du cerveau contenant les aires du langage, extrait du site <i>Le cerveau à tous les niveaux</i> (Dubuc, Robert, Paquet, & Daigen, 2002).	21
Figure 1.3 Modèle neurologique de la lecture : interprétation classique et interprétation moderne, figure extraite du livre <i>Les neurones de la lecture</i> (Dehaene, 2007, p.97).	23
Figure 1.4 Schéma de modélisation des voies de lecture, le DRC (figure reprise de la thèse de Garcia (2016) d'après le modèle de Coltheart et al. (2001))	26
Figure 1.5 Capture d'écran de la page affichée par le simulateur de dyslexie de Widell (2016).	29
Figure 1.6 Schéma illustrant le traitement de mots avec le modèle multi-traces de lecture, extrait de l'article de Valdois (2010).	33
Figure 1.7 Carte heuristique illustrant les types de dyslexie et leurs symptômes, réalisée avec <i>Freemind</i> (Müller et al., 2004).	36
Figure 1.8 "Dyslexia failed to repress Picasso" dessin de Vince Low, réalisé pour l'International Dyslexia Association.	38
Figure 1.9 Représentation géographique des résultats de l'étude de Seymour et al. (2003), extraite du livre de Dehaene (2007).	44
Figure 1.10 Troubles diagnostiqués en concomitance de la dyslexie, graphique tiré de l'article de Habib et Joly-pottuz (2008).	45
Figure 3.1 Présentation des cartes conceptuelles, figure extraite de la traduction du rapport de Novak & Canas (2008) par Serge Racine.	70
Figure 3.2 Carte heuristique extraite du mémoire d'orthophonie de Malard (2013).	71
Figure 3.3 Carte heuristique d'organisation des courses, extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).	76
Figure 3.4 Carte heuristique superposée à une carte géographique grâce à l'outil Scribble Maps (2013), extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).	77
Figure 3.5 Carte heuristique réunissant les connaissances de l'élève sur l'architecture des églises, extraite du blogue Optimind (De Broeck, 2013).	78
Figure 3.6 Extrait d'une carte dessinée par un élève dyslexique avec l' <i>Imagineur</i> , de la barre d'outils Médialexie.	81
Figure 4.1 Schéma de prise en charge par la MDPH.	94
Figure 4.2 Illustration de la méthode Borel, dans le manuel <i>Bien lire et aimer lire</i> , extraite du site « école : référence » ("Spinoza1670", 2011).	105
Figure 4.3 Capture de la vidéo de présentation de l'effet Tomatis (Groupe Tomatis, 2016)	108
Figure 5.1 Illustration du fonctionnement du Lecteur Médialexie (Médialexie, 2015b).	117

Figure 5.2 Image issue de la lettre d'information de promotion de l'outil de syllabation Osiris, de Médialexie (Médialexie, 2015b).....	122
Figure 5.3 Illustration de la police OpenDyslexic(Gonzalez, 2011) par un pangramme.....	125
Figure 5.4 Phrase d'illustration de la police OpenDyslexicMono(Gonzalez, 2011).	125
Figure 5.5 Motif éblouissant, extrait de l'article de Evans et al. (1994).	126
Figure 5.6 L'outil d'écho oral en fonctionnement, avec la possibilité de sélectionner un ou plusieurs des modes "lettre", "phonétique", "spécial", etc.....	132
Figure 5.7 La barre d'outils Médialexie classique.	133
Figure 5.8 Design de la nouvelle "barre" d'outils Médialexie	135
Figure 6.1 La "bête à cornes" décrivant l'analyse du besoin pour le projet LICl	150
Figure 6.2 Diagramme de la "pieuvre", représentant les fonctions et contraintes attendues pour le développement du LICl.....	153
Figure 6.3 Extrait d'une leçon d'Histoire telle qu'elle est présentée sur <i>lelivrescolaire.fr</i> (Éditions Lelivrescolaire.fr, 2013).....	157
Figure 6.4 Extrait de l'article de <i>Vikidia</i> sur le chevalier.	158
Figure 6.5 La version TEI Lite que j'ai produite de l'article de <i>Vikidia</i> sur le chevalier.	159
Figure 6.6 Structures des fichiers python permettant le fonctionnement de l'exécutable ..	163
Figure 6.7 L'icône permettant de lancer le cartographe dans la barre d'outils (plume sur arbre violet).....	164
Figure 6.8 Schéma de fonctionnement général du LICl	165
Figure 7.1 Illustration d'une interface simple et intuitive pour l'accès au texte, à la carte et à la question suivante.	172
Figure 7.2 Illustration de l'interface simple et intuitive, du point de vue du texte.	172
Figure 7.3 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur les Cités-États Grecques.....	181
Figure 7.4 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur la vie dans la Seigneurie.	181
Figure 7.5 Carte heuristique réalisée à partir du texte sur la croissance démographique dans le monde.....	182
Figure 7.6 L'interface permettant d'éditer mes questionnaires avec LimeSurvey (Schmitz, 2016).....	191
Figure 7.7 Un des textes de l'expérimentation tel que présenté dans le questionnaire LimeSurvey.	193
Figure 7.8 Écran de consignes générales pour le questionnaire.	194
Figure 7.9 Écran de présentation de l'une des questions de l'expérimentation, avec la carte disponible (le texte se trouve plus bas).	195
Figure 7.10 Temps de lecture respectifs des deux groupes pour le premier texte, représentés sous forme de boîtes de dispersion avec le logiciel <i>R</i>	205
Figure 7.11 Répartition des participants en fonction de leur score et de leur temps de complétion du questionnaire.....	212
Figure 7.12 Moyennes de score des participants, par groupe, en fonction de leur âge.	213
Figure 7.13 Moyennes de score des participants, par groupe, en fonction de leur niveau scolaire.	214

Figure 7.14 Projection sur un plan des classes d'âge, de niveau et de type de public avec l'ACP.	221
Figure 7.15 Projection sur un plan des classes de sexe, de situation expérimentale et de type de public avec l'ACP.	222
Figure 7.16 Projection de l'ACP avec validation par <i>Bootstrap</i> pour les classes de type de public.	223
Figure 7.17 Projection de l'ACP avec validation par <i>Bootstrap</i> pour les classes d'âge.	224
Figure 7.18 Projection de l'ACP avec validation par <i>Bootstrap</i> pour les classes de niveaux.	225
Figure 7.19 Projection des classes de participants ayant répondu correctement à la question H5 et ayant choisi une mauvaise réponse à la question H1, avec la méthode ACP et validation par <i>Bootstrap</i>	227
Figure 7.20 Histogramme représentant les effectifs d'élèves pour chaque choix de réponse à la question H5.	232
Figure 7.21 Histogramme présentant le temps moyen de réponse, en secondes, des participants suivant leur choix à la question H5.	233
Figure 7.22 Projection de l'ACP pour les différentes situations expérimentales avec validation par <i>Bootstrap</i>	235
Figure 8.1 Graphe de représentation de l'importance des mots en fonction de leur fréquence d'apparition, extrait de l'article de Lunh(1958).	248
Figure 8.2 Schéma d'un algorithme de résumé automatique par extraction standard.	251
Figure 8.3 Illustration de la méthode TextRank appliquée à un texte court pour la tâche d'extraction des termes-clés, extraite de l'article de Mihalcea et Tarau (2004).	262
Figure 8.4 Chaîne de traitement du LICI découpée en quatre étapes de traitement principales (ET1, ET2, ET3, ET4)	272
Figure 8.5 Cheminement de l'étape 1.	272
Figure 8.6 Description de l'étape d'importation	273
Figure 8.7 Processus de chargement des textes par le programme.	275
Figure 8.8 Seconde étape de la chaîne de traitement découpée en sous étapes.	275
Figure 8.9 Troisième étape de la chaîne de traitement, permettant la construction de la liste de termes-clés.	277
Figure 8.10 Cheminement de l'étape 4.	281
Figure 9.1 La sortie du LICI à partir du texte <i>Pauvreté et inégalités dans le monde</i>	288
Figure 9.2 Concordances pour le terme-clé "les pays pauvres".	289
Figure 9.3 Fenêtre d'accès aux différents dictionnaires de la barre d'outils Médialexie.	290
Figure 9.4 Affichage de la liste des phrases-clés.	290
Figure 9.5 Carte générée à partir de l'article sur La prise de la Bastille.	291
Figure 9.6 Affichage de la fenêtre de concordances pour le terme-clé "Bastille"	293
Figure 9.7 Fenêtre d'ajustement des paramètres de génération de la carte par le Cartographe.	294
Figure 9.8 Carte de "La prise de la Bastille" focalisée sur les relations entre les termes-clés les plus importants.	295

Figure 9.9 La carte de La prise de la Bastille avec 12 termes-clés et un nombre de liens limité.	296
Figure 9.10 Application de la fonction "Masquer" sur un nœud de la carte de "La prise de la Bastille".....	297
Figure 9.11 Application de la fonction "Ranger" sur un nœud de la carte de "La prise de la Bastille".....	297
Figure 9.12 Carte générée par le LICI pour le texte d'Histoire de l'expérimentation.....	298
Figure 9.13 Rappel de la carte produite à la main pour le texte d'Histoire de l'expérimentation.....	299
Figure 9.14 Carte plus complète générée par le LICI pour le texte d'Histoire.....	299
Figure 9.15 Carte générée par le LICI pour le texte de géographie de l'expérimentation. ...	300
Figure 9.16 Rappel de la carte réalisée à la main pour le texte de géographie de l'expérimentation.....	301
Figure 9.17 Carte générée à partir du texte de géographie de l'expérimentation, avec 9 termes-clés.....	304
Figure 9.18 Fenêtre de concordance du terme-clé "enfants par femme" sur la carte de géographie.....	305
Figure 9.19 Fenêtre de concordance pour le terme-clé "milliards d'hommes" du texte de géographie.....	306
Figure 9.20 Carte hypothétique dessinée à partir de l'article Wikipédia sur la citoyenneté à Rome.	313
Figure 9.21 Etapes de l'affichage par branches de la carte sur la citoyenneté à Rome.	314
Figure 9.22 Etapes de l'affichage par niveaux de la carte sur la citoyenneté à Rome.....	315
Figure 9.23 Navigation vers une sous carte à partir d'un nœud.....	316
Figure 9.24 Texte et carte sur la conquête de l'Amérique avec un usage avancé des modalités d'affichage qui a été abandonné.....	319
Figure 10.1 Type de représentation graphique utilisée pour l'aide à la compréhension durant l'expérimentation de Rello et al. (2012).	324
Figure 10.2 Exemple d'application du Cartographe, utilisé pour sa promotion par l'entreprise Médialexie.....	329

Table des matières

Table des matières

Résumé	3
Abstract.....	5
Sommaire	6
Abréviations et acronymes	8
Introduction.....	11
Partie 1. Contexte de recherche	16
Chapitre 1. La dyslexie	17
1.1. Dyslexie développementale.....	17
1.2. Types de dyslexies.....	26
1.3. Difficultés de diagnostic.....	36
1.4. Problématiques soulevées par la dyslexie	48
Chapitre 2. Le processus de lecture et de compréhension de texte	51
2.1. Mécanique de lecture	52
2.2. Apprentissage de la lecture	54
2.3. Compréhension de texte	58
2.4. Conséquences pour les dyslexiques	64
Chapitre 3. Les cartes heuristiques et conceptuelles	67
3.1. Terminologie	67
3.2. Un support d'apprentissage.....	72
3.3. La carte comme aide aux apprenants dyslexiques	80
3.4. Application au projet LICl et conclusion	91
Chapitre 4. La prise en charge, la reconnaissance et la remédiation.....	93
4.1. Prise en charge institutionnelle	93
4.2. Bilan et tests.....	101
4.3. Remédiation et compensation.....	104
Chapitre 5. Les logiciels d'aide et de compensation au service des dyslexiques	113
5.1. Des solutions pertinentes ?	113
5.2. Logiciels dédiés aux dyslexiques	114
5.3. Barre d'outils Médialexie	131

5.4. Remédiation par les jeux vidéo.....	136
Questions de recherche.....	141
Partie 2. Le projet LICI : expérimentation exploratoire et développement du logiciel...147	
Chapitre 6. Les éléments de conception du LICI.....	148
6.1. Cahier des charges fonctionnel.....	148
6.2. Exemplier de textes.....	153
6.3. Réalisation technique du LICI.....	159
6.4. Intégration du LICI dans la barre d'outils.....	162
Chapitre 7. L'expérimentation exploratoire : compréhension de texte à l'aide d'une carte	166
7.1. Conception.....	166
7.2. Instanciation.....	177
7.3. Résultats.....	197
Chapitre 8. La cartographie automatique de texte.....	243
8.1. Terminologie.....	243
8.2. Résumé automatique et extraction de mots clés.....	245
8.3. Algorithme du LICI.....	266
Chapitre 9. La mise en application du LICI.....	283
9.1. Exemples d'utilisation et discussion.....	283
9.2. Variantes du programme.....	301
9.3. Évaluation de l'outil LICI.....	302
9.4. Perspectives de développement.....	312
Chapitre 10. Conclusion et perspectives.....	321
10.1. Bilan des problématiques de recherche.....	321
10.2. Contexte de travail et difficultés rencontrées.....	330
10.3. Perspectives.....	331
Références.....	338
Liste des tableaux.....	356
Liste des figures.....	358
Table des matières.....	362