Conception, intégration et validation de systèmes numériques d'enseignement accessibles aux personnes en situation de handicap cognitif

Pierre-Antoine Cinquin

▶ **To cite this version:**

Pierre-Antoine Cinquin. Conception, intégration et validation de systèmes numériques d'enseignement accessibles aux personnes en situation de handicap cognitif. Psychologie. Université de Bordeaux, 2019. Français. NNT : 2019BORD0253 . tel-02481722

HAL Id: tel-02481722
https://theses.hal.science/tel-02481722

Submitted on 17 Feb 2020

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 de BORDEAUX

THÈSE PRÉSENTÉE

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE

L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE

Sociétés, Politiques et Santé Publique (SP2)

SPÉCIALITÉ

Sciences cognitives et Ergonomie, option Sciences Cognitives

Par Pierre-Antoine CINQUIN

Conception, intégration et validation de systèmes numériques d'enseignement accessibles aux personnes en situation de handicap cognitif

Sous la direction de : Hélène SAUZÉON et Pascal GUITTON

Soutenue le 26 novembre 2019

Membres du jury :

M.	DUGAS, Éric	PU	Université de Bordeaux	Président
M.	TRICOT, André	PU	Université Paul Valéry Montpellier 3	Rapporteur
M.	MARIN-LAMELLET, Claude	DR	IFSTTAR Lyon	Rapporteur
Mme	CARDOSO, Stéphanie	MCU	Université Bordeaux Montaigne	Examinatrice
Mme	SAUZEON, Hélène	PU	Université de Bordeaux	Directrice
M.	GUITTON, Pascal	PU	Université de Bordeaux	Directeur

Résumé

Titre : Conception, intégration et validation de systèmes numériques d'enseignement accessibles aux personnes en situation de handicap cognitif.

La proportion de personnes handicapées décroit fortement tout au long du parcours scolaire. Cela a comme conséquence de plus faibles niveaux de qualification, ce qui amène un obstacle supplémentaire aux possibilités d'emploi et renforçe leur exclusion de la sphère sociale. De plus, ce constat est aggravé lorsque la situation de handicap implique des troubles cognitifs. L'importante évolution des formations en ligne, comme en témoigne la croissance massive des plates-formes MOOC (Massive Open Online Courses) pourrait fournir une réelle opportunité afin de répondre aux besoins de formation des personnes handicapées. Malheureusement, comme pour de nombreux autres dispositifs numériques, ces systèmes souffrent d'un déficit d'accessibilité. Sur la base d'un état de l'art sur l'accessibilité des systèmes numériques d'éducation (Étude 1), nous avons mis en place un processus de co-conception auquel ont participé des étudiants ayant des déficiences cognitives (N = 6), ainsi que des professionnels du domaine du handicap cognitif et de l'accessibilité (N = 13). Celui-ci a permis le développement d'un cadre de travail pour la conception de systèmes d'apprentissage en ligne accessibles, découlant des différents besoins et recommandations qui ont émergé au cours de ce processus. Il a donné lieu au développement et à l'implémentation d'un premier prototype de lecteur de MOOC accessible nommé « Aïana » (Étude 2). Une expérimentation (Études 3 et 4) en environnement écologique autour d'un MOOC diffusé sur la plateforme nationale FUN a été réalisé afin d'évaluer l'efficacité d'Aïana en termes de performances d'apprentissage, de charge cognitive, d'auto-détermination induites, d'utilisabilité et d'efficience des interactions personne-système, et ce auprès d'un échantillon assez large de participants (N = 1087 dont 150 ont déclaré un handicap). Les résultats confirment la bonne utilisabilité de notre lecteur ainsi que son impact positif sur l'apprentissage et le soutien à d'autodétermination des personnes handicapées, notamment celles ayant des troubles cognitifs, renforçant ainsi la pertinence des principes de conception mis en œuvre.

Mots clés : Accessibilité, e-learning, Massive Open Online Courses, Troubles cognitifs.

Abstract

Title : Design, integration and validation of digital education systems accessible to people with cognitive disabilities.

The proportion of disabled persons decreases sharply over time in the educational system. This results in lower levels of qualification, which further impedes employment opportunities and reinforces their exclusion from the social sphere. Moreover, this situation is even more acute in the case of persons with cognitive impairments. The considerable evolution of online training, as reflected in the massive growth of MOOC (Massive Open Online Courses) platforms, could provide a real opportunity to address the training needs of disabled persons. Unfortunately, similarly to many digital devices, these systems suffer from a lack of accessibility. Starting from a state of the art on the accessibility of e-learning systems (Study 1), we initiated a co-design process involving students with cognitive impairments (N = 6) and professionals in the field of cognitive disability and accessibility (N = 13). This work has led to the development of a framework for the design of accessible e-learning systems that arose from the various needs and recommendations that emerged during the process. It resulted in the development and implementation of a first prototype of an accessible MOOC player named "Aïana" (Study 2). A field study (Studies 3 and 4), based on a MOOC broadcasted on the national FUN platform was conducted to evaluate Aïana's effectiveness in terms of learning performances, cognitive load, induced self-determination, usability and efficiency of person-system interactions among a fairly large sample of participants (N = 1087 of which 150 reported a disability). The results confirm the good usability of our player and its positive impact on the learning and self-determination of disabled persons, particularly those with cognitive disabilities, which supports the relevance of the design principles we have introduced.

Keywords : Accessibility, e-learning, Massive Open Online Courses, Cognitive impairments

Unité de recherche

Équipe HACS (Handicap Activité Cognition Santé) du laboratoire Bordeaux Population Health U1219 INSERM – Université de Bordeaux, 146 rue Léo Saignat, 33000 Bordeaux, France

Table des matières

1 Introduction **1**

Première partie Partie Théorique **3**

2 Contexte et enjeux sociétaux **5**
- 2.1 Évolution de la représentation du Handicap 8
- 2.2 La CIF : Un nouveau paradigme dans l'approche du handicap 9
- 2.3 CIF et éducation 11
- 2.4 Impacts des troubles cognitifs sur l'apprentissage à tous les âges de la vie . 13
  - 2.4.1 Modèle environnemental de compensation 15
  - 2.4.2 Importance des fonctions attentionnelles et exécutives pour l'apprentissage 17
  - 2.4.3 Théorie de la charge cognitive et activités d'apprentissage 17

3 Systèmes numériques d'éducation (SNE) **21**
- 3.1 Enseignement à distance 22
- 3.2 L'émergence des MOOCs 23
  - 3.2.1 Caractéristiques des MOOCs 25
- 3.3 Approches, Modèles et Méthodes de conception et validation des SNE . . 27
  - 3.3.1 Utilité 28
  - 3.3.2 Utilisabilité 36
  - 3.3.3 Acceptabilité 38
  - 3.3.4 Motivation et auto-détermination 39

4 Méthodes de conception pour l'accessibilité des SNE **45**
- 4.1 Petit historique du développement théorique des IHM 46
- 4.2 Accessibilité numérique 50
  - 4.2.1 Cas particulier des MOOCs 52
- 4.3 Approche Design en Accessibilité 53

4.3.1 Ability-Based Design 54
4.3.2 Approches et modèles pour la conception d'Interfaces Utilisateur . 55
4.3.3 Méthodes de conception (centrée utilisateur) de SNE accessibles . 57
4.3.4 Conception participative 58

Deuxième partie Problématique et Méthode 59

5 Problématique du travail **61**
5.1 Objectifs scientifiques du travail 62

6 Méthodes générales utilisées **65**
6.1 Étude 1 : Revue de l'existant en matière d'accessibilité des SNE en ligne pour le handicap cognitif 65
6.2 Étude 2 : Conception d'un lecteur de MOOC accessible 66
6.3 Études 3 et 4 : Validation empirique du lecteur Aïana 67
6.3.1 Learning Analytics 68

Troisième partie Partie Empirique 71

7 Accessibilité des systèmes e-learning **73**
7.1 Introduction 74
7.2 ICF Framework and cognitive impairments 75
7.3 Related Work 77
7.4 Questions 79
7.5 Survey Methodology 79
7.5.1 Identification of Studies 80
7.5.2 Inclusion and Exclusion Criteria 80
7.5.3 Study Selection 81
7.5.4 Data Extraction 81
7.5.5 Quality Assessment 82
7.6 Results 83
7.6.1 Domain characterization 83
7.6.2 Standards shoring 86
7.6.3 Theoretical rationale 87
7.6.4 Main outcomes 88
7.7 Discussion and Recommendations 96
7.7.1 Design Recommendations 97
7.7.2 Evaluation 99

7.8 Limitations . . . 100
7.9 Conclusion . . . 100

8 Conception participative d'un lecteur de MOOC accessible **103**
8.1 Introduction . . . 104
8.2 Related Work . . . 106
8.2.1 MOOC Accessibility . . . 106
8.2.2 Accessibility Design approaches . . . 107
8.2.3 Participatory Design . . . 108
8.2.4 The evaluation of MOOC accessibility . . . 109
8.3 Participatory Design Method . . . 110
8.3.1 Participants . . . 110
8.3.2 Participatory Design Process . . . 111
8.3.3 Phase 1 : Requirements Gathering . . . 112
8.3.4 Phase 2 : Design Alternatives . . . 118
8.3.5 Results : Design ideas . . . 118
8.3.6 Phase 3 : Low-fidelity prototyping . . . 121
8.4 Discussion . . . 125
8.5 Limits . . . 127
8.6 Conclusion . . . 128

9 Évaluation pilote **129**
9.1 Introduction . . . 130
9.2 Related Work . . . 130
9.2.1 Accessibility design approaches . . . 130
9.2.2 Accessibility & MOOCs . . . 131
9.3 Design of Aïana, an accessible MOOC player . . . 132
9.3.1 Key design features . . . 132
9.4 Field Assessment . . . 135
9.4.1 Assessment procedure . . . 135
9.4.2 Results . . . 136
9.5 Limitations and future work . . . 137

10 Évaluation finale d'Aïana **139**
10.1 Introduction . . . 140
10.2 Related Work . . . 140
10.2.1 MOOCs Accessibility . . . 140
10.2.2 Challenging the evaluation methodology for MOOC Accessibility 142
10.2.3 Learning analytics for accessibility . . . 143

10.3 Previous Work : Design of an accessible MOOC player 144
10.4 Materials & Methods 147
10.4.1 Procedure and participants inclusion criteria 148
10.5 Part I : Quantitative assessment 149
10.5.1 Participants 149
10.5.2 Measures & Statistical Treatment 150
10.5.3 Results 152
10.6 Part II : Qualitative assessment 157
10.6.1 Participants 157
10.6.2 Measures & Statistical Treatment 157
10.6.3 Results 159
10.7 Discussion 163
10.8 Limitations & Future Work 164
10.9 Conclusion 165

Quatrième partie Discussion et Conclusion 167

11 Synthèse, discussion et perspectives **169**
11.1 Synthèse des principaux résultats 169
11.1.1 Conception centrée utilisateur d'un lecteur de MOOC 170
11.1.2 Évaluation du lecteur Aïana 171
11.1.3 Proposition d'une méthodologie d'évaluation de l'accessibilité des dispositifs e-learning 172
11.2 Limites 172
11.2.1 Choix du cadre théorique 173
11.2.2 Limites de la conception participative 173
11.2.3 Limites de la validation expérimentale 174
11.3 Perspectives 175
11.3.1 Vers un élargissement des usages d'Aïana 175
11.3.2 Des MOOCs aux Serious Games 176
11.3.3 Création d'un référentiel LA d'accessibilité 178

12 Conclusion générale **181**

Bibliographie **183**

Annexess **209**
A Participatory Design Verbatim examples 210
B Theoretical Framework Description 213

C Liste des publications 216

Car, pour l'homme, la vie en dehors de toute société et de toutes les influences humaines, l'isolement absolu, c'est la mort intellectuelle, morale et matérielle aussi. La solidarité est non le produit, mais la mère de l'individualité, et la personnalité humaine ne peut naître et se développer que dans l'humaine société.

Mikhaïl Bakounine, L'instruction intégrale (1869)

1

Introduction

Tandis que sont prônées les valeurs d'inclusion au cœur des politiques d'éducation depuis plus d'une dizaine d'années, force est de constater que l'accès au système éducatif demeure grandement inégalitaire. Ainsi, la proportion de personnes handicapées diminue considérablement entre l'école primaire et l'enseignement supérieur. Ce déficit de qualification constitue un obstacle supplémentaire aux opportunités d'emploi, renforçant leur exclusion de la sphère sociale. Ces dernières années, les systèmes numériques d'enseignement ont connu une véritable révolution, comme en témoigne la croissance massive des plates-formes MOOC (Massive Open Online Courses). Suffisamment polyvalents, ces dispositifs pourraient offrir de réelles opportunités pour créer des environnements d'apprentissage capables de fournir une assistance adaptée aux besoins spécifiques des personnes handicapées. Malheureusement, comme nombre de dispositifs technologiques, les progrès sociaux attendus de la révolution numérique en matière d'inclusion scolaire ne sont pas suffisamment au rendez-vous, et la plupart des MOOCs souffrent d'un déficit d'accessibilité, en particulier pour les personnes qui présentent des troubles cognitifs et des capacités d'apprentissage limitées.

Dans la première partie de ce document nous présenterons ainsi les éléments de contexte pour exposer le cadre théorique sous-jacent à ce travail de thèse. Après une brève description de l'évolution des approches du handicap, nous définirons les caractéristiques des troubles cognitifs et leurs répercussions sur les activités d'apprentissage (Chap. 2). Nous définirons

et exposerons en détail les systèmes numériques d'enseignement, en s'intéressant tout particulièrement aux MOOCs, et nous passerons en revue les approches, modèles et méthodes associés à la conception et la validation de ces systèmes (Chap. 3). Puis, en nous saisissant des concepts issus des recherches en Interaction Humain-Machine et en Ergonomie Cognitive, nous présenterons les modèles et méthodes de conception spécifiques à l'accessibilité numérique (Chap. 4). Cette partie théorique étaye la construction de notre problématique et de nos objectifs scientifiques (Chap. 5) et l'élaboration de la méthodologie générale (Chap. 6) définie en vue d'entreprendre nos réalisations empiriques (Chap. 7, 8, 9 et 10). En guise d'ouverture et de conclusion, nous discuterons l'ensemble de nos réalisations et présenterons les perspectives qui ont pu émerger à l'issue de ces travaux doctoraux (Chap. 11 et 12).

Première partie

Partie Théorique

Lorsque les pouvoirs sont inégalement distribués, le monde économique et social se présente non comme un univers de possibles également accessibles à tout sujet possible - postes à occuper, études à faire, marchés à conquérir, biens à consommer, propriétés à échanger, etc. -, mais plutôt comme un univers balisé, parsemé d'injonctions et d'interdits, de signes d'appropriation et d'exclusion, de sens obligatoires ou de barrières infranchissables et, en un mot, profondément différencié, notamment selon le degré auquel il propose des chances stables et propres à favoriser et à remplir des attentes stables.

Pierre Bourdieu, Méditations Pascaliennes, 1997

2

Contexte et enjeux sociétaux

2.1 Évolution de la représentation du Handicap **8**

2.2 La CIF : Un nouveau paradigme dans l'approche du handicap **9**

2.3 CIF et éducation **11**

2.4 Impacts des troubles cognitifs sur l'apprentissage à tous les âges de la vie **13**

Lors de sa publication en 2011, le rapport mondial sur le handicap produit par l'Organisation Mondiale de la Santé et la Banque mondiale présentait pour la première fois un panorama détaillé de la situation des personnes handicapées dans le monde (Organisation Mondiale de la Santé, 2011). À travers l'analyse de questionnaires de recensement issus de plus de 100 pays, il estimait que plus d'un milliard de personnes de plus de 15 ans étaient en situation de handicap, ce qui représentait alors entre 15,6 % et 19,4 % de la population mondiale. Dressant un état des lieux des principaux obstacles qu'elles rencontrent pour participer pleinement à la vie de leur société, le rapport montre que les personnes handicapées obtiennent des niveaux d'éducation inférieurs à ceux des personnes non handicapées, et qu'il existe un risque de pauvreté plus important pour cette population.

En France, l'enquête Handicap-Santé de 2008 menée par la Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques représente encore aujourd'hui la source officielle

la plus récente sur la santé et le handicap (Bouvier, 2011). Selon celle-ci, il y aurait 11,5 millions de personnes handicapées de plus de 16 ans vivant en ménage ordinaire, soit 23 % de cette classe d'âge. Avec la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées[1], l'État français affichait sa volonté de promouvoir la participation des personnes handicapées dans les différentes sphères de la vie sociale. Celle-ci affirme que toute personne handicapée doit avoir les moyens de réaliser son projet de vie, et promeut l'accès à l'éducation et à l'emploi, en particulier en milieu ordinaire, comme un des facteurs clés pour soutenir leur insertion sociale. À cet égard, l'article 19 soutient le droit pour tout élève en situation de handicap d'accéder à l'éducation et l'obligation pour l'État de garantir cette égalité d'accès. Dans la continuité de la loi en faveur de l'emploi des travailleurs handicapés de 1987[2], elle renforce l'obligation d'emploi d'au moins 6% de personnes handicapées dans les établissements publics et privés de plus de vingt salariés.

En ratifiant la Convention internationale relative aux droits des personnes handicapées (2007) promue par l'Organisation des Nations Unis le 18 février 2010, la France montrait à nouveau son engagement pour le respect des droits fondamentaux des personnes handicapées vis-à-vis de la communauté internationale. En cohérence avec la loi de 2005, l'article 24 de cette convention détaille les droits à l'éducation et notamment l'obligation de fournir tous les moyens humains et matériels facilitant l'accessibilité aux programmes d'éducation et de formation nécessaires à la réalisation du projet de vie des personnes handicapées. Dans l'enseignement supérieur, la charte Université-Handicap signée en 2007 et renouvelée en 2012 est prometteuse de progrès social en ce qui concerne l'accès à un haut niveau de certification. À cette fin, services d'accompagnement, accessibilité des locaux et des services et aide à l'insertion professionnelle sont aujourd'hui des mesures identifiées comme prioritaires pour favoriser l'éducation des personnes handicapées.

Malheureusement, malgré ces évolutions notables, il existe toujours un déficit en termes d'inclusion scolaire (Fage et al., 2016b). Ainsi, si l'inclusion en milieu ordinaire est bien effective pour le premier degré, elle l'est significativement moins pour le second degré et l'enseignement supérieur : seuls 6 % des jeunes handicapées âgés de 20 à 24 ans sont diplômés de l'enseignement supérieur contre près de 30 % en population générale[3] (Figure 2.1). En 2013, seulement 37 % des personnes de 15 à 64 ans administrativement reconnues

1. Loi 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, publiée au *Journal officiel de la République française* du 12 février 2005.

2. Loi n° 87-517 du 10 juillet 1987 en faveur de l'emploi des travailleurs handicapés, publiée au *Journal officiel de la République française* du 12 juillet 1987.

3. Repères et références statistiques 2015 sur les enseignements, la formation et la recherche, Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

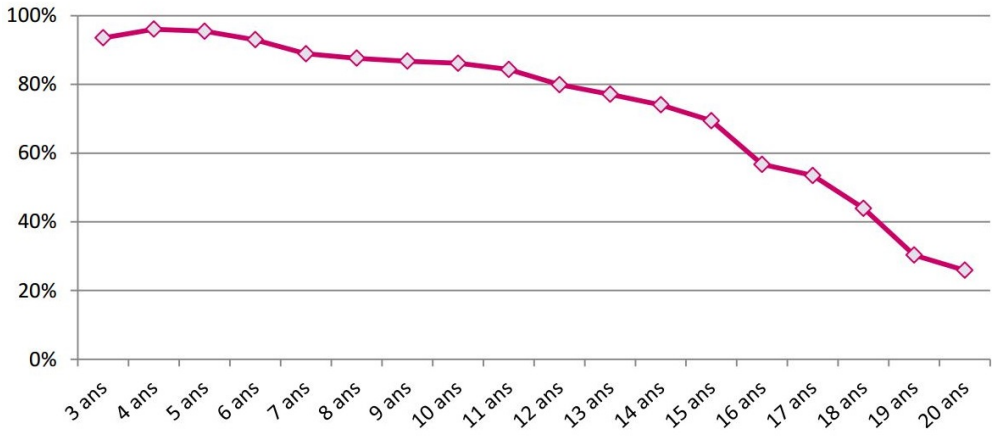


Fig. 2.1 : Taux de scolarisation en milieu ordinaire des élèves handicapées en 2014-2015. Source : MENESR-DEPP

comme handicapées ont un emploi, contre 65 % de la population générale[4]. Dans une étude s'appuyant sur les résultats de l'enquête Handicap-Santé auprès des ménages, Maude Espagnacq (2015) apporte des précisions sur les caractéristiques des personnes handicapées et met en avant la grande hétérogénéité des situations au sein de cette population : alors que 30 % des personnes handicapées sont sans diplôme (contre 14 % pour la population des 20-59 ans), ce chiffre est de 55 % lorsqu'il s'agit de limitations psychiques, intellectuelles ou mentales. Par ailleurs, elle montre que l'âge d'apparition de la déficience et la nature de la limitation fonctionnelle ont une conséquence importante sur l'avenir professionnel des personnes. En effet, celles dont la limitation est survenue avant 20 ans sont moins diplômées, or, c'est le cas pour près de 50 % des personnes qui déclarent une limitation psychique, intellectuelle ou mentale. Par voie de conséquence, ces personnes sont souvent dans une situation encore plus défavorable que celles ayant un autre type de limitation.

Bien que ces chiffres soient révélateurs du déficit de prise en compte du handicap dans ces domaines, il convient de rappeler qu'ils ne représentent qu'une fraction de la réalité de la situation et dépendent des choix conventionnels opérés par les différents organismes qui les produisent (*e.g.,* les services statistiques ministériels, organismes de protection sociale ou les organismes nationaux généralistes). Ainsi, comme le souligne le défenseur des droits dans sa décision du 26 septembre 2017, il est à l'heure actuelle particulièrement difficile de mesurer l'effectivité des politiques publiques en matière de handicap[5]. N'ayant pas fait l'objet d'un cadrage national, les diverses enquêtes et études réalisées ces dix dernières années s'appuient sur une pluralité de définition du handicap et décrivent des populations qui représentent

4. Synthèse DARES (novembre 2015). *Emploi et chômage des personnes handicapées*, Numéro 17, p.19.

5. Défenseur des Droits (2017). *Étude sur la connaissance statistique de la situation et des besoins des personnes handicapées*, Décision n° 2017-257.

pourtant des réalités très différentes. Dès lors, il est important de définir les termes et les choix de classification qui permettent de s'interroger sur ce que constitue réellement la question de la participation des personnes handicapées et de leur inclusion dans la société.

2.1 Évolution de la représentation du Handicap

Le terme de handicap tire son origine d'un jeu de hasard du XVIII[e] siècle où des objets apportés par les participants étaient redistribués au hasard d'un tirage aléatoire dans un chapeau (*hand in cap* - la main dans le chapeau ; Stiker, 2013). L'objectif visé à travers ce jeu était d'annuler les différences de statut en assignant les dotations de valeurs variables entre les participants selon le hasard de son déroulement. L'utilisation de ce terme s'est ensuite étendue aux courses de chevaux, pour lesquelles il représentait l'utilisation de plaques de fonte qui permettaient d'alourdir les concurrents les plus performants afin d'égaliser les chances en dépit des inégalités de performance qui pouvaient exister entre les chevaux et leurs cavaliers.

Cette genèse sémantique du handicap se retrouve jusque dans la loi de 2005 qui définit ce terme comme une « limitation d'activité ou une restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant »[6].

Cette définition illustre un important changement de paradigme dans la prise en compte du handicap à travers l'institutionnalisation d'un modèle social du handicap, servant dès lors de référence dans l'élaboration des politiques publiques à destination des personnes handicapées (Mabbett, 2005). S'appuyant sur le développement du champ de la réhabilitation et de la prise en charge des vétérans de la Seconde Guerre mondiale, la catégorie du handicap a progressivement remplacé celle de l'infirmité pour définir un nouveau domaine d'intervention entre les définitions sociales d'une altérité et d'une normalité des individus, tout en conservant le principe du rétablissement d'égalité entre les statuts sociaux (Calvez, 1994). L'interprétation sociale du champ du handicap va aussi être alimentée par les premiers travaux en *Disability Studies* (Harpur, 2012) et sera aussi influencée par les mouvements activistes aux États-Unis dans les années 70 (notamment le *Disability Rights Movement* ; Fleischer et al., 2012) qui permettront l'édification de l'American with Disabilities Act en 1990 dont les standards seront progressivement importés dans les institutions supranationales (*e.g.*, Nations Unies) et européennes. Alors

6. Il est néanmoins intéressant de noter le glissement de sens qui s'est opéré dans les définitions modernes où le handicap ne représente plus tant un désavantage attribué aux personnes les plus performantes mais bien un poids dont on essaie de diminuer les effets.

que le modèle médical établit que le handicap est la conséquence d'une déviation de condition biologique ou mentale d'un individu par rapport à un état normal tel que défini par le corps médical (Parsons, 1951), le modèle social met en avant l'importance que revêt la dimension sociale dans le processus de création du handicap. En apportant une distinction entre les notions de déficiences et de handicap, le modèle social a pour but de démontrer que les individus sont le plus souvent d'abord handicapés par la société avant de l'être par leur corps.

Ce changement dans l'approche du handicap va aussi faire évoluer la nature des interventions de l'État auprès des personnes handicapées. Alors que, par le passé, celles-ci étaient principalement les bénéficiaires de solutions qui les excluaient de la société, à travers leur placement dans des institutions de long séjour ou dans des écoles spécialisées, les politiques actuelles sont désormais en faveur de leur inclusion sociale, notamment dans le système éducatif dit « ordinaire »[7]. Ces initiatives découlent notamment de l'intégration des droits humains dans la problématique du handicap, qui donnera lieu à l'adoption en 2006 de la Convention internationale Relative aux Droits des Personnes Handicapées (CRDPH) par l'Organisation des Nations Unies (Harpur, 2012). Celle-ci reconnaît que « la notion de handicap évolue et que le handicap résulte de l'interaction entre des personnes présentant des incapacités et les barrières comportementales et environnementales qui font obstacle à leur pleine et effective participation à la société sur la base de l'égalité avec les autres ». En le définissant comme interaction, le handicap n'est plus envisagé d'un point de vue strictement médical ou social, mais plutôt au regard d'un compromis systémique entre ces deux modèles qui permet une évaluation plus juste des multiples dimensions qu'il recouvre. À travers cette définition, la CRDPH s'inscrit dans une approche bio-psycho-sociale du handicap telle que présentée dans la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé promue par l'OMS (2001).

2.2 La CIF : Un nouveau paradigme dans l'approche du handicap

Au XIX^{e} siècle, les importants progrès de la médecine ont imposé le développement d'outils de classification afin de favoriser l'étude rigoureuse des maladies et l'analyse des besoins en santé publique (Chapireau, 2001). Ainsi, l'OMS fournira dès 1948 une « Classification Internationale des Maladies » (CIM) qui sera mise à jour régulièrement jusqu'en 1992 (CIM-10). Instrument privilégié des médecins et des épidémiologistes, cette classification ne permet néanmoins pas une représentation globale de l'état de santé des populations si bien qu'une classification complémentaire verra le jour en 1983, la « Classification Internationale des Handicaps : déficiences, incapacités et désavantages »

7. Rapport 2019 de l'ONU sur le droits des personnes handicapées.

(CIH). Supervisée par Philip Wood, celle-ci se fonde sur les trois axes qui forment la *« classification de Wood »* : les DÉFICIENCES créent des perturbations fonctionnelles pouvant entrainer une INCAPACITÉ à accomplir des tâches dans différents domaines de la vie, avec pour résultante un désavantage subi par la personne, le HANDICAP (Organisation Mondiale de la Santé, 1988). Cette classification sera mise à l'épreuve par différents groupes de travail internationaux sur le terrain et aboutira à une version révisée rebaptisée « Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé » (CIF) qui sera adoptée en 2001.

La CIF n'est pas uniquement réservée à décrire le handicap mais vise en premier lieu à offrir les outils d'une représentation générale des états de la santé et de ses états connexes. Dans ce but, elle fournit un cadre pour décrire les situations relatives au fonctionnement humain et aux restrictions qu'il peut subir. L'information y est organisée en deux grandes parties, elles-mêmes divisées en deux composantes représentant une classification spécifique selon la structure suivante :

1. COMPOSANTES DU FONCTIONNEMENT ET DU HANDICAP

    a. Les **fonctions organiques et les structures anatomiques** désignent les fonctions physiologiques des systèmes organiques, y compris les fonctions psychologiques. Elles se structurent en seize catégories allant des fonctions sensorielles et de la douleur aux fonctions de l'appareil locomoteur et aux structures liées aux mouvements.

    b. Les **activités et la participation** désignent toutes les activités réalisées par un individu dans la vie quotidienne ainsi que les rôles qu'il peut être amené à prendre dans la vie sociale et civique (*e.g.*, éducation, lieu de travail, domicile, famille, *etc.*). Ces deux domaines sont regroupés en une liste unique de sept catégories comprenant par exemple l'apprentissage élémentaire ou l'occupation d'un emploi.

2. FACTEURS CONTEXTUELS

    c. Les **facteurs environnementaux**, externes à la personne constituent l'environnement physique, social et attitudinal à l'intérieur duquel les individus vivent.

    d. Les **facteurs personnels** représentent les caractéristiques extérieures à l'état de santé d'une personne et incluent entre autres le sexe, l'âge, le niveau d'instruction ou l'origine sociale. La CIF ne propose pas de classification spécifique pour ce domaine mais rappelle l'importance de considérer le rôle que ces facteurs peuvent avoir sur la situation de handicap.

L'avantage de la CIF en tant que cadre universel est qu'il se détache des seules conditions médicales pour privilégier une vision multidimensionnelle et systémique du handicap. En raison de la variabilité individuelle au sein d'une même condition médicale ainsi qu'entre différentes conditions médicales, la CIF envisage le fonctionnement et le handicap comme une interaction dynamique entre l'état de santé et les facteurs contextuels, à la fois environnementaux et personnels. Chacune de ses composantes pouvant être exprimée en termes positifs ou négatifs, elle permet d'évaluer l'étendue du fonctionnement et du handicap à travers la mesure des déficiences ou déficits fonctionnels[8], des limitations d'activités et des restrictions de participation sociale (Figure 2.2). Cette vision fonctionnelle des incapacités favorise la mutualisation des soutiens environnementaux au sein des mêmes incapacités fonctionnelles malgré des conditions médicales différentes (*e.g.*, Gillespie et al., 2012). Par exemple, les outils de rappels sont des supports de mémoire efficaces pour les personnes ayant des troubles de la mémoire, quel que soit leur état de santé (*e.g.*, épilepsie, traumatisme cérébral, maladie d'Alzheimer, schizophrénie, *etc.*). De plus, la CIF met tout particulièrement l'accent sur les relations bidirectionnelles qui existent entre les composantes du handicap. Si la limitation des activités et de la participation sociale sont essentiellement les conséquences de l'altération des fonctions corporelles, elles sont aussi la cause d'altérations fonctionnelles. Par conséquent, plus un individu est empêché d'assumer un rôle social, moins il est en mesure de participer à des activités liées à ce même rôle, et plus les fonctions liées à ces activités resteront inopérantes ou détériorées du fait de leur non utilisation.

2.3 CIF et éducation

L'évolution des approches du handicap et de sa prise en charge dans le domaine de l'éducation spécialisée a suivi une trajectoire similaire à celle qui a eu lieu dans le contexte général. Claes Nilholm (2006) décrit cette évolution à travers trois perspectives spécifiques : la perspective de compensation (*Compensation perspective*), la perspective critique (*Critical Perspective*) et la perspective du dilemme (*Dilemma perspective*). Proche du modèle médical, la perspective de compensation va considérer que les problèmes et les difficultés ont pour origine l'élève et, en ce sens, utilise des catégories diagnostiques dans l'organisation de sa prise en charge. La perspective critique s'inscrit en opposition à celle de compensation, et se rapproche du modèle social du handicap en proposant de déplacer l'origine des difficultés rencontrées par l'élève sur le contexte dans lequel il évolue, rejetant de fait la responsabilité sur l'école ou le système éducatif. En réponse à ces deux perspectives antagonistes, la

8. Si ceux-ci peuvent consister en une anomalie, carence, perte ou autre écart important par rapport à une norme, la CIF s'écarte toutefois du modèle médical en précisant qu'ils ne sont pas équivalents à une pathologie sous-jacente, mais désignent plutôt les manifestations de cette pathologie.

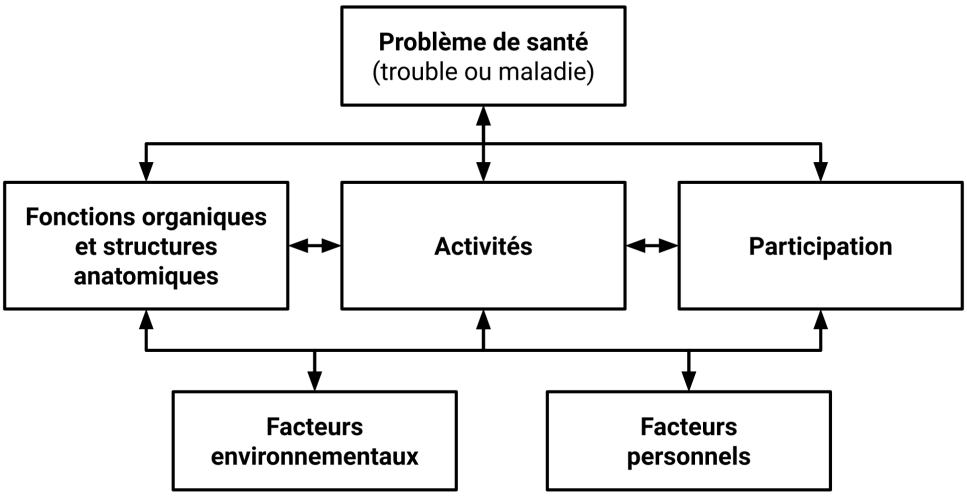


Fig. 2.2 : Représentation de la CIF

perspective du dilemme propose quant à elle d'adopter une approche pragmatique qui consiste à reconnaitre qu'il n'existe aucune solution parfaite à une situation d'éducation, tant chacune d'entre elles est façonnée par le contexte et le moment où elle se produit. En combinant les causes identifiées dans les deux autres approches, elle s'intéresse à leur influence sur la situation, et redéfinit la problématique de l'inclusion scolaire à travers la question de la participation aux activités éducatives, rejoignant alors l'approche de la CIF (Maxwell et al., 2018). Dans ce contexte, cette dernière peut alors servir de cadre pour définir les mesures d'accompagnement des élèves handicapés les plus appropriées dans le cadre des différentes activités scolaires.

Néanmoins, les premiers travaux qui ont essayé de mettre en pratique cette approche vont rapidement mettre en évidence certaines lacunes, notamment l'absence de contenu prenant en compte le développement des caractéristiques fonctionnelles chez les jeunes enfants (Simeonsson et al., 2003). Différents travaux vont alors être menés afin d'apporter des précisions quant à ces aspects spécifiques qui ne figuraient pas dans l'original. Ceux-ci aboutiront en 2007 à la production d'une nouvelle version de la classification centrée sur les enfants et les adolescents, la CIF-EA (Organisation Mondiale de la Santé, 2007) qui ajoute 231 nouveaux éléments aux 1400 déjà présents dans la CIF pour décrire la particularité du développement cognitif, l'acquisition du langage et la pratique du jeu chez l'enfant, s'inspirant principalement de la littérature sur le développement du jeune enfant. On y trouve également des précisions sur les activités et les environnements auxquels les enfants sont confrontés au quotidien, avec une attention toute particulière apportée à la cellule familiale et aux environnements proximaux, comme l'école.

En élargissant la définition des facteurs qui influencent le fonctionnement et l'apprentissage, ce nouveau cadre permet d'analyser les besoins de l'enfant, ses forces et ses faiblesses par rapport aux environnements physiques et sociaux dans lesquels il est amené à évoluer. De plus, la CIF-EA propose une terminologie et offre des outils pour le développement d'une passerelle entre les différentes disciplines qui collaborent habituellement dans le milieu de l'éducation spécialisée (*e.g.,* psychologues, travailleurs sociaux, ergothérapeutes, orthophonistes, *etc.*). À cet égard, les exemples de la promotion de son utilisation dans les lois d'éducation spécialisée de pays comme le Portugal[9] ou la Suisse[10] démontrent son intérêt pour faciliter les échanges au sein d'équipes multidisciplinaires pour offrir un accompagnement concerté et sans discontinuité dans les différentes sphères de participation de l'enfant.

Ces dernières années, un nombre croissant d'étudiants rapportent avoir des troubles déficitaires de l'attention/hyperactivité (TDA-H), des troubles d'apprentissage spécifiques (*e.g.*, dyslexie, dyscalculie) ou des troubles de santé mentale (*e.g.*, schizophrénie, dépression ou trouble bipolaire Schelly et al. 2011). Bien qu'ils représentent des troubles distincts dont les causes, les symptômes et les conséquences leur sont spécifiques, ils affichent toutefois une comorbidité dans l'altération de certaines fonctions cognitives. On peut par exemple observer des déficits en lecture non seulement chez les personnes dyslexiques, mais aussi chez les personnes schizophrènes (Revheim et al., 2014). De même, le déficit en mémoire de travail que l'on retrouve dans de nombreux troubles du développement et de difficultés d'apprentissage spécifiques, comme le TDAH ou la dyslexie entraine de nombreuses difficultés dans les activités d'apprentissage (*e.g.*, difficultés à suivre les instructions comportant plusieurs étapes, incapacité à accomplir les activités qui exigent la prise en compte d'une grande quantité d'informations, *etc.* ; Holmes, 2012). Ainsi, dans l'objectif de fournir des soutiens environnementaux re-capacitants, il semble plus pertinent de considérer les fonctions cognitives dégradées par les pathologies, plutôt que les pathologies elles-mêmes. En d'autres termes, cela revient à adopter l'approche *bio-psycho-sociale* de la CIF/CIF-EA présentée auparavant.

2.4 Impacts des troubles cognitifs sur l'apprentissage à tous les âges de la vie

La CIF présente une classification des fonctions cognitives élémentaires à travers la catégorie des fonctions mentales. Celle-ci se divise en deux catégories : les fonctions

9. Ministério de Educação. Decreto-Lei 3/2008, Diário da República, 1.ª série – N.º 4 –, Lisbon, Portugal, January, 2008.

10. Erziehungsdirektorenkonferenz (EDK) : *Standardisiertes Abklärungsverfahren zur Ermittlung des individuellen Bedarfs*.

mentales globales (*e.g.*, conscience, fonctionnement intellectuel, fonctionnement exécutif, orientation, personnalité, *etc.*) et les fonctions mentales spécifiques (*e.g.*, attention sélective, mémoire, apprentissage, langue, calcul, praxis, *etc.*). Ainsi, les déficiences cognitives font références aux déficiences des fonctions mentales et peuvent donc être globales (*e.g.*, déficiences intellectuelles ou troubles exécutifs, *etc.*) ou sélectives (*e.g.*, dysphasie, amnésie, apraxie, *etc.*). Dans le domaine de l'éducation, les déficiences cognitives (globales et spécifiques) ont un impact considérable sur les activités d'apprentissage et sont par conséquent une des causes principales d'une participation scolaire chaotique (*i.e.*, plus forte scolarisation en milieu protégé ou redoublements, abandons et faible diplômation plus fréquents en milieu ordinaire). Alors que les déficiences cognitives globales auront un effet négatif sur toutes les activités liées à l'apprentissage, les déficiences spécifiques ont souvent un impact sur des activités bien particulières. Dans les deux cas, les difficultés d'apprentissage qu'elles génèrent ont des conséquences négatives sur le parcours scolaire ainsi que sur le niveau de qualification professionnelle des personnes handicapées.

Quels que soit les troubles cognitifs (globaux ou spécifiques) les personnes qui en possèdent ont besoin de fournir des efforts attentionnels constants pour effectuer les activités d'apprentissages. En effet, les stratégies cognitives de contournement mises en place chez les personnes en situation de handicap impliquent un coût cognitif préjudiciable à la tâche en cours, et ce particulièrement pour les personnes ayant des troubles cognitifs qui sont ainsi plus enclines à l'épuisement cognitif[11] (Dixon et al., 2008). Par conséquent, toutes les pratiques professionnelles en réadaptation évitent d'imposer des tâches trop exigeantes sur le plan cognitif à une personne handicapée lorsqu'elle n'est pas nécessaire ou qu'elle nuit aux capacités de la personne. Par ailleurs ce constat peut aussi être fait chez les personnes ayant des troubles moteurs ou sensoriels pour qui la compensation entraine des efforts cognitifs supplémentaires. À titre d'exemple, les études sur la perte d'audition liée à l'âge ont mis en avant qu'une déficience auditive entraine une plus importante allocation des ressources cognitives disponibles au traitement cognitivo-perceptif de l'information auditive, au détriment des processus cognitifs requis pour la tâche en cours (Tun et al., 2009). Qu'il s'agisse de troubles développementaux ou acquis, les troubles cognitifs ou le déclin cognitif ont fait l'objet d'une attention particulière dans le domaine de la remédiation cognitive ou plus généralement dans celui des sciences de la réadaptation et de la compensation du handicap. Il existe un grand nombre de modèles de compensation cognitive plus ou moins spécifiques à une fonction cognitive. Nous avons choisi d'appuyer nos travaux sur le modèle environnemental de compensation (Morrow & Rogers, 2008) pour plusieurs raisons. En premier lieu, dans sa formulation ce modèle fait écho à l'approche systémique

11. Par exemple, lors de la prise de note du discours d'un enseignant, une dysgraphie de maladresse va mobiliser toutes les ressources attentionnelles de l'étudiant pour la réalisation de la tâche d'écriture au détriment de la compréhension du contenu du cours.

du fonctionnement de l'individu tel que promu dans la CIF et se veut applicable à tout un chacun. Aussi, il est suffisamment généraliste pour s'appliquer aux différentes catégories de troubles (*e.g.*, sensoriels, cognitifs, *etc.*) qu'ils soient de nature globale ou spécifique. Enfin, il formalise des mécanismes d'ajustement ou de compensation que peux mettre en place l'individu lui-même ou que l'environnement peut provoquer par des aides qui lui sont habilement apportées pour lui permettre d'exprimer ses forces et contourner ses faiblesses.

2.4.1 Modèle environnemental de compensation

Le modèle de compensation cognitive proposé par Lars Bäckman et Roger Dixon montre qu'une activité est réalisée de manière optimale lorsqu'il y a un équilibre entre la demande environnementale de la tâche, la performance attendue et l'efficience fonctionnelle de la personne qui la réalise (Bäckman & Dixon, 1992 ; Dixon et al., 2008). Une rupture d'équilibre peut provenir soit d'une augmentation de l'exigence environnementale dépassant l'efficience de l'individu qui pour autant souhaite rester performant (*e.g.*, *burn-out*), soit d'une perte d'efficience fonctionnelle. Dans ce cadre, il est possible de faire levier sur une de ces parties afin de rétablir un équilibre rompu, notamment dans le cas d'une altération de certaines fonctions cognitives (Figure 2.3). Trois mécanismes majeurs sont déclinés dans ce modèle :

- Ajustement : la personne adapte ses buts et ses attentes de performances en fonction de ce qu'elle est capable de faire. Il ne s'agit pas ici de compenser mais d'accepter les limitations fonctionnelles et les restrictions de participation ;
- Compensation quantitative : la personne va mobiliser l'essentiel de ses ressources cognitives sur les fonctions et les capacités dégradées afin de maintenir sa performance, se mettant souvent en situation d'épuisement cognitif ;
- compensation qualitative : la personne a recours à une fonction de substitution (optimisation d'une compétence préservée) pour maintenir son efficience fonctionnelle.

Le coût cognitif du mécanisme d'ajustement est quasi-nul mais devient plus coûteux pour les deux autres, notamment pour la compensation qualitative qui puiserait dans les réserves cognitives de résilience ou dans les réserves de neuroplasticité (Stern, 2002).

Dans la perspective de formaliser les aides extérieures efficaces, Daniel Morrow et Wendy Rogers (2008) ont proposé un cadre reposant sur le concept de soutien environnemental qui articule ressources cognitives et demande environnementale (Craik et al., 1986). Ils

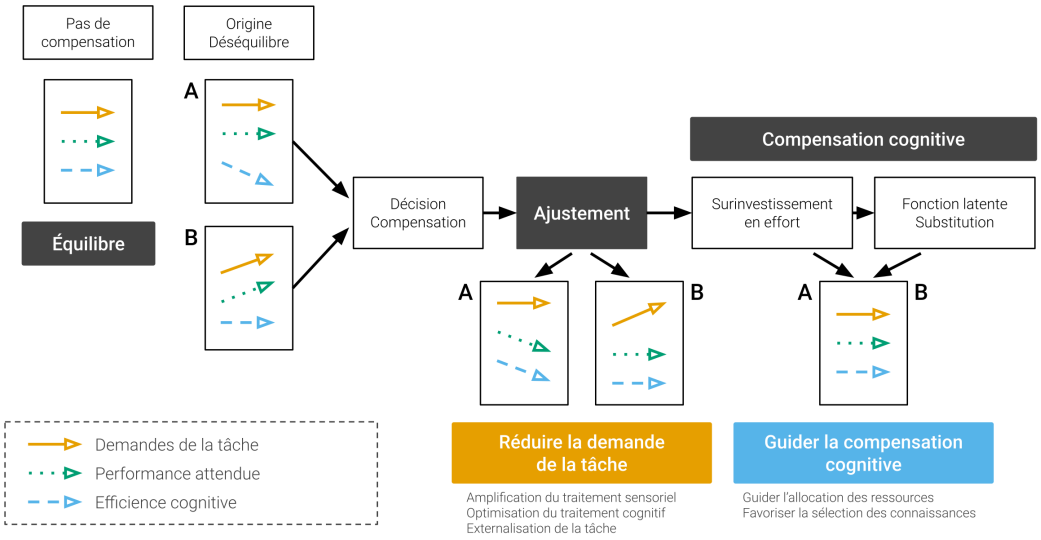


Fig. 2.3 : Modèle environnemental de la compensation cognitive selon (Bäckman & Dixon, 1992 ; Morrow & Rogers, 2008)

promeuvent ce modèle en mettant en lumière ses deux principes d'optimisation de la performance : *(1)* diminuer la demande environnementale en termes de ressources cognitives (*i.e.*, mécanisme d'ajustement, par exemple en réduisant ou en externalisant un certain nombre des sous-tâches à réaliser) et *(2)* favoriser une utilisation plus efficace de ces ressources en tirant parti des connaissances de l'individu (*i.e.*, compensation qualitative) et en le guidant dans l'exploitation de ses processus cognitifs (*i.e.*, compensation quantitative consistant à instancier des stratégies méta-cognitives permettant à la personne d'investir ses ressources cognitives plus efficacement sur les traitements ou informations les plus utiles pour la tâches en cours, par exemple en guidant son attention et en organisant l'information de manière sémantique et temporelle, ou bien en lui fournissant des outils de planification des activités)

Dans le cadre de l'apprentissage, la réduction de la demande de la tâche n'est pas toujours compatible avec les contraintes imposées dans le cadre des activités scolaires. Dès lors, la mise en place de stratégies de compensation chez l'élève passe principalement par une utilisation plus importante de ressources attentionnelles afin de rendre opérationnels les mécanismes cognitifs déficitaires, ou par la mise en place de stratégies couteuses en ressources attentionnelles utilisant les mécanismes cognitifs préservés. Ainsi, au cours de ce travail, nous nous intéressons tout particulièrement aux troubles attentionnels (sélection de l'information pertinente, maintien dans le temps de l'attention et division de l'attention sur plusieurs sources d'informations) et exécutifs (planification de tâches, ordonnancement

temporel, raisonnement formel, flexibilité cognitive, inhibition et mise à jour de l'information) qui sont transverses à de nombreuses neuropathologies, développementales (autisme, trouble déficitaire de l'attention, épilepsies, *etc.*) ou acquises (prématurité, traumatismes crâniens, ou toute autre lésion cérébrale) (de Oliveira Cardoso et al., 2019).

2.4.2 Importance des fonctions attentionnelles et exécutives pour l'apprentissage

Les troubles des fonctions attentionnelles et exécutives sont reconnus comme impactant négativement les apprentissages scolaires (Biederman et al., 2006). Par exemple, les enfants avec troubles du spectre autistique présentent dans 25% des cas des difficultés à acquérir les compétences en numératie (*e.g.*, addition, soustraction d'entiers et de décimaux, *etc.*), souvent imputées à leurs particularismes attentionnels et ou exécutifs (Oswald et al., 2016 ; Gevarter et al., 2016). De même, les personnes TDA-H présentent souvent des difficultés dans la réalisation des tâches scolaires considérées comme les plus coûteuses en ressources cognitives, comme le calcul mental ou la compréhension de texte ou l'apprentissage des langues étrangères (Arnold et al., 2015). Un individu présentant un déficit de l'attention peut montrer diverses caractéristiques comme une difficulté à prêter attention aux détails ou à soutenir son attention au travail, une difficulté à organiser ses travaux ou ses activités ou encore une facilité à se laisser distraire par des stimuli externes (DSM-5, American Psychiatric Association, 2013). Ce trouble est aussi associé à des troubles d'apprentissage et à un niveau d'étude plus faible que la moyenne des individus neurotypiques (Frazier et al., 2007) et de nombreuses études montrent un déficit en mémoire de travail chez les enfants et les adolescents avec un trouble de l'attention (Martinussen et al., 2005 ; Martinussen & Tannock, 2006). En effet, le déplacement constant du focus attentionnel sur les différents éléments d'un contenu d'apprentissage va surcharger la mémoire de travail, rendu ainsi moins efficace pour l'intégration des nouvelles connaissances. De même, les études qui s'inscrivent dans les approches de type Instructional Design ont pleinement démontré que la charge cognitive qui encombre inutilement les tâches d'apprentissage scolaire est à l'origine d'un grand nombre de difficultés scolaires chez la personne neurotypique (Chanquoy et al., 2007).

2.4.3 Théorie de la charge cognitive et activités d'apprentissage

La théorie de la charge cognitive proposée par John Sweller dans le champ de l'éducation considère que des apprenants ne sont capables de retenir de l'information de manière efficace que si la façon dont celle ci leur est présentée ne surcharge pas leur capacité mentale (Sweller, 1994 ; Puma & Tricot, 2019). Elle repose sur trois hypothèses du fonctionnement

du système cognitif humain :

- L'hypothèse d'une capacité de traitement limitée (Baddeley, 1997 ; Cowan, 2001) à travers une architecture de la mémoire qui comprend une mémoire de travail à capacité limitée, et d'une mémoire à long terme à capacité illimitée.
- L'hypothèse du double canal (Paivio, 1990) qui suppose que le traitement de l'information s'opère à travers deux canaux distincts, l'un auditif/verbal pour le traitement de la langue parlée, et l'autre visuel/pictural qui s'occupe des informations visuelles.
- L'hypothèse du traitement actif (Wittrock, 1989, 1992) qui décrit l'idée qu'un apprentissage est plus efficace lorsqu'il est accompagné d'un important engagement cognitif de l'apprenant.

Ainsi, l'apprentissage implique l'utilisation de processus cognitifs tels que le maintien de l'attention sur le matériel présenté, l'organisation mentale de ce matériel en collection cohérente, l'intégration du nouveau matériel aux connaissances pré-existantes sous forme de schémas mentaux. Ces schémas sont construits lors de l'apprentissage et incorporent de nombreux éléments d'informations en un seul élément possédant une fonction spécifique. Ces éléments peuvent être utilisés comme unités simples de mémoire afin de dépasser la capacité limitée de la mémoire de travail. Par exemple, il nous est possible de traiter comme une seule unité un très grand nombre de représentations d'une même lettre de l'alphabet (que ce soient des polices d'écriture ou des graphies manuelles). Un apprentissage actif conduit à une élaboration plus efficiente des schémas mentaux, améliorant les opérations de stockage en mémoire à long terme et ainsi, la capacité à les réutiliser dans d'autres situations (notion de transfert, voir figure 2.4).

De manière plus globale, les différentes tâches d'apprentissage ont pour but de faire acquérir à l'apprenant un ensemble de schémas, et à lui permettre ainsi de passer d'un traitement contrôlé (l'activité demande un effort conscient) à un traitement automatique (l'activité se déroule sans effort conscient). Mais cette acquisition à un coût cognitif qui, selon les modalités d'instructions, peut gêner l'apprentissage. Sweller identifie trois types de charges cognitives :

- La charge cognitive intrinsèque liée à la complexité intrinsèque de l'activité d'apprentissage ou du matériau à apprendre sur lequel l'apprenant travaille. Autrement dit, les activités peuvent être plus ou moins difficiles, difficultés entrainant un risque de surcharge cognitive ;

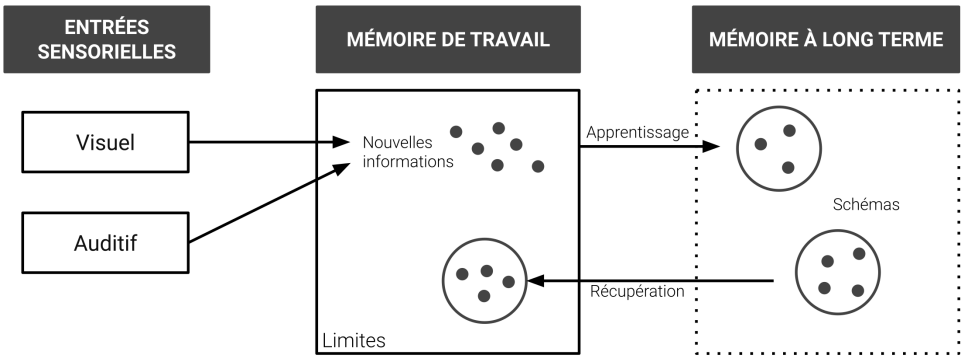


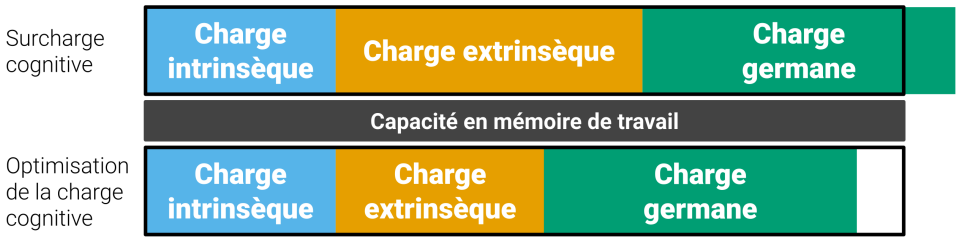
Fig. 2.4 : Architecture de la structure cognitive et construction de schémas pendant l'apprentissage.

- La charge cognitive extrinsèque correspond principalement à la façon dont les informations relatives à la tâche d'apprentissage sont présentées à l'apprenant. Ce type de charge est induit lorsque des éléments non pertinents sont ajoutés à l'activité ou lorsque les procédures à réaliser nécessitent d'engager des processus mentaux non directement liés à l'apprentissage en cours. Par exemple, si l'apprenant doit lier deux éléments éloignés physiquement sur le support d'apprentissage (par exemple l'un sur le recto d'une feuille et l'autre sur le verso) cela provoque une surcharge cognitive extrinsèque ;
- La charge cognitive germane est le processus cognitif qui permet la construction d'un nouveau schéma et est lié à l'effort personnel de l'apprenant pour apprendre et mémoriser des informations.

Ces trois types de charges cognitives sont additives et ne doivent pas excéder les ressources en mémoires de travail si l'on souhaite qu'un apprentissage se fasse (Paas et al., 2003) (Figure 2.5). Néanmoins, bien que la charge cognitive intrinsèque soit incompressible autrement que par l'apprentissage de nouveaux schémas complexes, les charges cognitives extrinsèque et germane peuvent être réduites par l'utilisation d'une conception pédagogique plus efficace. À cet effet, les pratiques en éducation spécialisée évitent d'imposer des tâches trop exigeantes sur le plan cognitif à une personne handicapée si celles-ci ne sont pas nécessaires ou qu'elles nuisent à ses capacités.

L'apparition du monde numérique dans toutes les facettes de nos vies tant privées, professionnelles que sociales constitue une immense source potentielle d'améliorations de la qualité de vie des personnes handicapées. Ainsi, l'apparition du Web a permis de mettre à leur disposition une grande quantité de ressources (*e.g.*, informations, services, *etc.*) qui leur étaient inaccessibles ou difficilement accessibles auparavant, nécessitant généralement

Fig. 2.5 : Schéma d'addition des charges cognitives



d'avoir recours à un intermédiaire humain limitant ainsi leur autonomie. Par ailleurs, les outils numériques ont également pénétré le monde de l'éducation depuis longtemps tant d'un point de vue matériel – malheureusement souvent perçu comme suffisant – que logiciel, exemplifié par l'explosion récente des offres de formation en ligne utilisés aussi bien dans le cadre de dispositifs de formation académiques que professionnels (Kesim & Altınpulluk, 2015), ou l'utilisation de plateformes pédagogiques tel que Moodle dans les universités française.

Ainsi, s'il est désormais observé qu'un grand nombre de personnes handicapées se saisissent des opportunités que représentent ces nouveaux outils et les moyens qu'ils offrent de développer des compétences en dehors des cursus universitaires (Iniesto et al., 2017b), il est par conséquent nécessaire de développer des environnements d'apprentissage accessibles. Par ailleurs, par leur flexibilité et leur personnalisation ces plateformes pourraient permettre d'assurer d'une part, l'accessibilité des contenus au plus grand nombre et, d'autre part, l'intégration de pédagogies adaptées aux déficiences cognitives qui soient favorables aux apprentissages pour les personnes qui en sont porteuses.

Dans le chapitre suivant, nous présentons un bref historique de l'enseignement à distance et des évolutions technologiques qui ont accompagné son développement vers la création des plateformes de *e-learning* et l'émergence des MOOCs, puis nous décrivons les principaux modèles et méthodes de conception et d'évaluation de ces dispositifs.

Naître c'est entrer dans un monde où l'on sera soumis à l'obligation d'apprendre. Nul ne peut échapper à cette obligation car le sujet ne peut advenir qu'en s'appropriant le monde.

Bernard Charlot, Du rapport au savoir, 1997

3

Systèmes numériques d'éducation (SNE)

3.1 Enseignement à distance **22**

3.2 L'émergence des MOOCs **23**

3.3 Approches, Modèles et Méthodes de conception et validation des SNE **27**

Si de nombreux supports et médias ont toujours été utilisés par les enseignants pour transmettre des connaissances, l'intérêt pour ces ressources s'est particulièrement développé à partir des années 1960 (Baron, 2011). L'impact des phénomènes sociaux et politiques que représentent le baby boom et le prolongement de la scolarité obligatoire[1] fait naître à cette période un fort besoin en éducation auquel le système éducatif ne pouvait pas répondre faute de ressources humaines suffisantes. C'est dans ce contexte que Lê Thành Khôi propose d'industrialiser l'enseignement en le considérant à travers le prisme économique : l'enseignant devient ainsi un « instrument de production » et les apprenants, des « produits de l'industrie » qui forment des « stocks d'instruction » (Lê, 1967). Par ailleurs, il considère que « la presse, la radio, le cinéma, la télévision, inondent l'enfant d'informations qui concurrencent l'école », et que les enseignants ne sont désormais plus « les seuls dispensateurs du savoir ». En ce sens, les ressources audiovisuelles sont vues comme un moyen permettant à la fois de gérer le flux massif de nouveaux élèves et de suppléer le

1. Ordonnance du 6 janvier 1959 qui porte l'âge de fin de la scolarité obligatoire de 14 ans à 16 ans.

manque d'enseignants pour, *in fine*, augmenter la productivité du système éducatif en en optimisant les coûts[2]. Ce modèle industriel de production va dès lors se développer à travers l'utilisation massive des technologies de l'information et de la communication (TIC) d'où émergeront les premières formes d'enseignement à distance. L'accélération de l'innovation technique et les progrès en matière de développement technologique ont aussi imposé un profond changement dans l'organisation de la transmission des connaissances scientifiques et techniques, vers des formes s'inscrivant dans des processus de formation permanente (Pauvert, 1960).

3.1 Enseignement à distance

Historiquement, les premières formes d'enseignement à distance sont nées de la volonté d'offrir une éducation supérieure de qualité aux étudiants défavorisés qui n'y avait jusqu'alors pas accès. Dans cette perspective, à la fin des années 1960, le gouvernement travailliste au Royaume-Uni propose de créer un établissement d'enseignement supérieur qui s'affranchirait des contraintes spacio-temporelles des universités traditionnelles. De cette volonté d'ouvrir l'école au plus grand nombre naît la British Open University, qui sera la première université dans le monde à proposer des cours à distance (on parle alors d'Université d'Enseignement À Distance - UEAD, (Perry, 1977)). Très rapidement, les universités traditionnelles proposent elles aussi un contenu d'enseignement hors les murs, et font alors rapidement évoluer leur offre de formation vers un système bimodale qui propose à la fois des enseignements délivrés sur leur campus et des enseignements à distance (Garrison, 1993). Cependant, si les UEAD s'inscrivent dans une approche qui médiatisent entièrement l'enseignement à travers l'utilisation d'outils de communication unidirectionnelles (*e.g.*, envoi du contenu de formation sous forme de matériel vidéo par voie postale *etc.*), les universités traditionnelles, faute de moyens humains et techniques, conservent une approche pédagogique qui s'articule autour de la relation entre enseignants et étudiants inspirée par les cours qui avaient lieu sur les campus et se saisissent ainsi de TIC bidirectionnelles (*e.g.*, diffusion de cours magistraux en vidéoconférence, *etc.*).

Les différents dispositifs employés dans les enseignements à distance (EAD) évoluent en parallèle des innovations technologiques. Michael Power (2007) décrit quatre générations d'EAD : la première utilise principalement des supports écrits (*e.g.*, envoi de documents papiers par courrier) pour diffuser les contenus de cours. Par la suite, des supports audiovisuels, sous forme d'enregistrements audio et vidéo enrichissent ces premiers contenus pour former une deuxième génération de cours à distance. C'est à partir de la troisième

2. Cette approche tient son origine de l'organisation scientifique du travail et se retrouve dans les travaux de Otto Peters (2013) dans le contexte de l'enseignement supérieur.

génération que l'ordinateur devient un outil privilégié de l'EAD, qui développe l'utilisation d'un contenu multimédia interactifs. L'intensification du développement des TIC et la diffusion des technologies Web auprès du grand public font entrer l'EAD dans sa quatrième génération et entraine une massification des cours interactifs en ligne sous l'impulsion du développement des plateformes de *e-learning*.

La volonté de démocratisation à l'origine de l'EAD bénéficie aussi à de nombreuses personnes handicapées qui, face aux difficultés qu'elles peuvent rencontrer pour accéder aux établissements d'enseignement supérieur traditionnels, se tournent vers ces nouvelles offres de formations (Newell & Debenham, 2009). De plus, dans les cas où la situation de handicap empêche toute présence physique sur un lieu d'enseignement (*e.g.*, personnes en grande dépendance, ou présentant des maladies chroniques), ces outils de formation à distance contribuent à conserver ou à tisser un lien social, notamment à travers les forums réunissant d'autres apprenants et les enseignants (Roca & Gagné, 2008 ; Lee et al., 2015). Ainsi, l'Open University recrute une proportion plus élevée d'étudiants handicapés que les autres établissements du Royaume-Uni, et dont une grande partie déclarent de multiples handicaps (Riddell et al., 2005).

Récemment est apparue une nouvelle forme de cours en ligne baptisée Massive Open Online Courses (MOOC), représentant une évolution des initiatives proposant la mise à disposition de ressources éducatives en libre accès (Kesim & Altınpulluk, 2015 ; Gaebel, 2014). Si la relative récence de ces dispositifs induit l'existence d'une pluralité de définitions, nous pouvons les décrire comme des environnements éducatifs en ligne proposant des contenus d'apprentissage qui possèdent la particularité d'offrir des cours dont la participation est gratuite et ouverte à toute personne ayant accès à Internet, sans restriction de localisation géographique ou de niveau d'éducation.

3.2 L'émergence des MOOCs

En 2008, le Learning Technologies Centre and Extended Education de l'Université du Manitoba propose un cours en ligne considéré aujourd'hui comme le tout premier MOOC (Liyanagunawardena et al., 2013). Conçu par Georges Siemens et Stephen Downes et nommé « *Connectivism and Connective Knowledge* », il réunit à l'époque près de 2225 participants à travers le monde, dont la très grande majorité le suivent gratuitement[3] (Downes, 2008). Contrairement aux plateformes d'apprentissage de type

3. Ainsi, parmi les participants, seul 25 d'entre eux paient l'inscription qui permet d'obtenir une validation en crédits d'enseignement.

Learning Management System[4] (LMS) qui constituaient alors le dispositif le plus employé dans les formations en ligne, ce cours mettait en avant la production et l'échange entre les participants en s'appuyant sur un modèle connectiviste de l'apprentissage issus des travaux de Stephen Downes (2005).

En 2011, des enseignants de l'Université de Stanford conçoivent un ensemble de vidéos d'enseignement diffusées gratuitement sur une plateforme en ligne. Cette initiative aboutira au début de l'année 2012 à la création de Coursera[5], une entreprise proposant des formations en ligne ouverte à tous à travers laquelle se développeront de nombreux partenariats internationaux auprès d'universités renommées. Par la suite, le Massachusetts Institute of Technology et l'Université d'Harvard fondent à leur tour leur plateforme de cours MITx pour fonder edX[6], utilisée notamment par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne et la Hong Kong University of Science and Technology. Dans leur sillon, d'autres plateformes de MOOCs indépendantes voient aussi le jour, telles qu'Udacity[7] ou encore Futurelearn[8], qui appartient à la UK's Open University.

En France, la plateforme France Université Numérique (Figure 3.2) est lancée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche en octobre 2013 dans le but de réunir les initiatives de cours en ligne des établissements d'enseignement supérieur français. Supportée techniquement par le logiciel *open source* Open edX, celle-ci est désormais gérée par le Groupement d'Intérêt Public FUN-MOOC, appuyé notamment par le Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur (CINES), l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) et le Réseau National de télécommunications pour la Technologie l'Enseignement et la Recherche (RENATER). En janvier 2019, la plateforme FUN-MOOC dénombrait 1 643 588 inscrits, et proposait un catalogue de plus de 200 MOOCs[9].

4. Ces dispositifs servent à l'organisation de formations ouvertes et à distance en offrant des outils facilitant la diffusion et la consultation de documents pédagogique et le suivi des apprenants. Parmi les plus connus, nous pouvons citer Moodle (moodle.org), utilisé par un grand nombre d'universités et de grandes écoles.

5. www.coursera.org

6. www.edx.org

7. www.udacity.com

8. www.futurelearn.com

9. Pour une analyse approfondie des caractéristiques des MOOCs proposés sur FUN, voir Vrillon (2017).

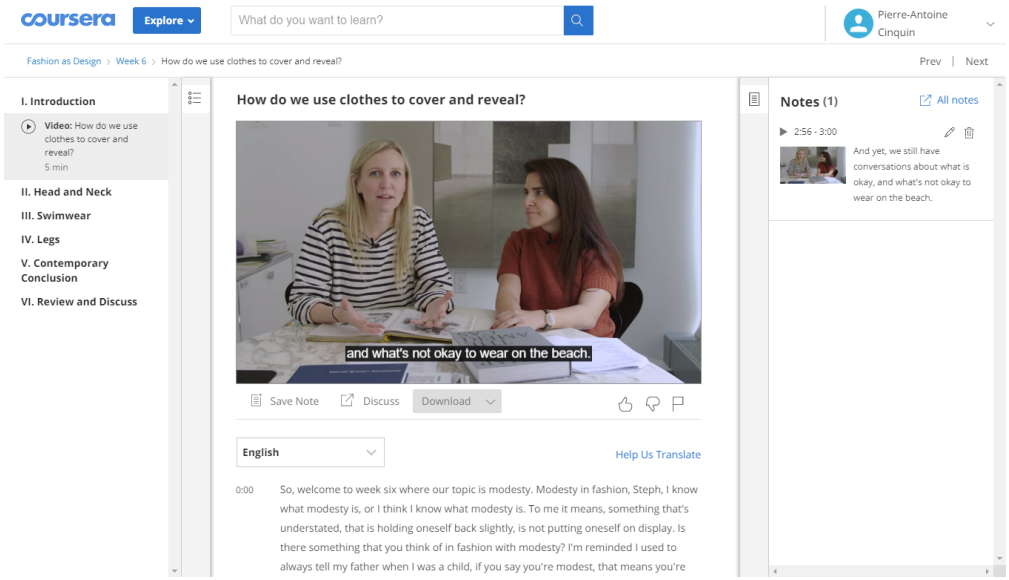


Fig. 3.1 : Illustration d'un MOOC sur la plateforme Coursera (Fashion as Design, produit par The Museum of Modern Art).

3.2.1 Caractéristiques des MOOCs

À la manière d'autres dispositifs d'*e-learning*[10], les dispositifs MOOCs regroupent un ensemble de technologies et de contenus multimédias organisés autour d'un scénario pédagogique qui comprend généralement : *(1)* les éléments de contenu du cours qui peuvent prendre diverses formes, du simple texte à l'objet multimédia complexe, *(2)* un espace de communication permettant des échanges entre les différents étudiants et les enseignants et *(3)* des outils d'évaluation de l'apprentissage, très variables en fonction des plateformes de e-learning mais prenant généralement la forme de questionnaires à choix multiples, ou de dissertations (Fisseler & Bühler, 2007).

Les différentes plateformes qui se sont constituées autour de ces formations en ligne proposent des enseignements qui peuvent être divisés en deux catégories : les cMOOC, basés sur une approche connectiviste de l'apprentissage, qui sont essentiellement construits autour de la création du contenu par les étudiants et l'échange entre les participants, et les xMOOC qui adoptent un modèle pédagogique issu des pratiques universitaires

10. Selon la définition du Ministère de l'éducation, le *e-learning* concerne « [l']utilisation des nouvelles technologies du multimédia et de l'Internet afin d'améliorer la qualité de l'éducation et de la formation à travers l'accès à distance à des ressources et des services, ainsi qu'à des collaborations et des échanges » – https ://eduscol.education.fr/numerique/dossier/archives/eformation/e-formation-e-learning/definitions.

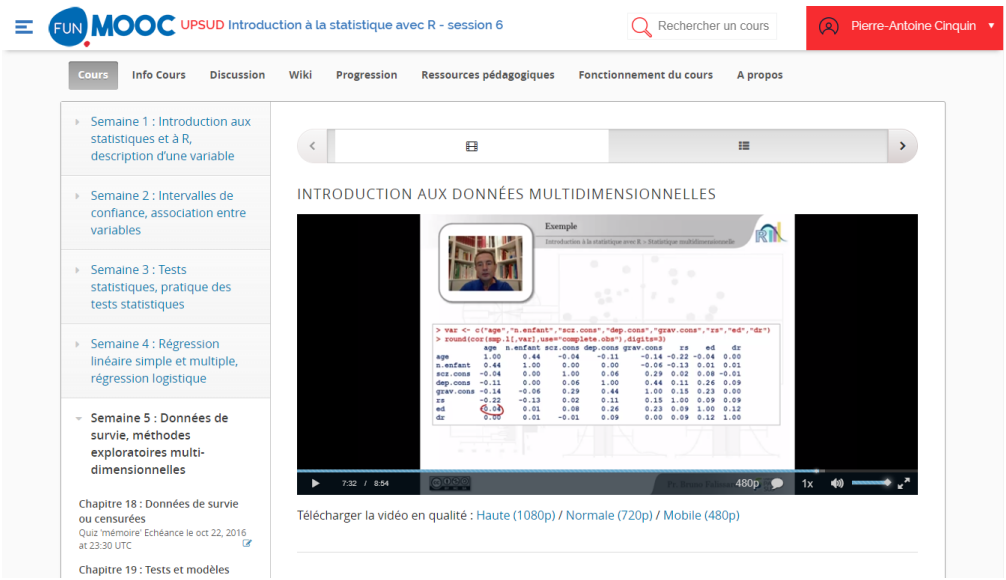


Fig. 3.2 : Illustration d'un MOOC sur la plateforme FUN (Introduction à la statistique avec R, produit par l'Université Paris-Sud).

traditionnelles et délivrent des cours dont le contenu est proposé par un (ou plusieurs) enseignants (Hew & Cheung, 2014). Encore parfois perçus comme des gadgets, ces systèmes prennent une part de plus en plus importante dans les dispositifs de formation tant académiques que professionnels en population générale. Ainsi, en 2017, on dénombrait près de 11400 MOOCs qui mobilisaient un peu plus de 100 millions d'inscrits et plus de 900 universités impliquées à travers le monde [11].

Si ces chiffres impressionnants ont retenu l'attention des médias, de nombreuses critiques soulignent le fait que, en comparaison à des formes d'enseignements traditionnelles, peu des inscrits parviennent à suivre l'ensemble d'un MOOC (Jordan, 2015). Ainsi, Khaled Alraimi et ses collaborateurs (2015) montrent que les taux de rétention des MOOCs sont en moyenne inférieurs à 10% des inscrits. Néanmoins, ceux qui s'inscrivent initialement à un MOOC peuvent le faire sans avoir l'intention de participer, de sorte que leur inclusion dans les statistiques de calcul de la rétention peut être considérée comme trompeuse. Néanmoins, Justin Reich (2014) montre que même parmi les inscrits qui ont indiqué qu'ils avaient l'intention de terminer un cours, le taux de réussite n'était que de 22% et de 6% chez ceux qui ont déclaré avoir seulement eu l'intention de le parcourir. Ainsi, la rétention des inscrits est devenue le sujet le plus fréquemment examiné dans les études sur les MOOCs et de nombreux travaux ont cherché à déterminer les divers facteurs qui influent sur la

11. https ://www.class-central.com/report/mooc-stats-2018/

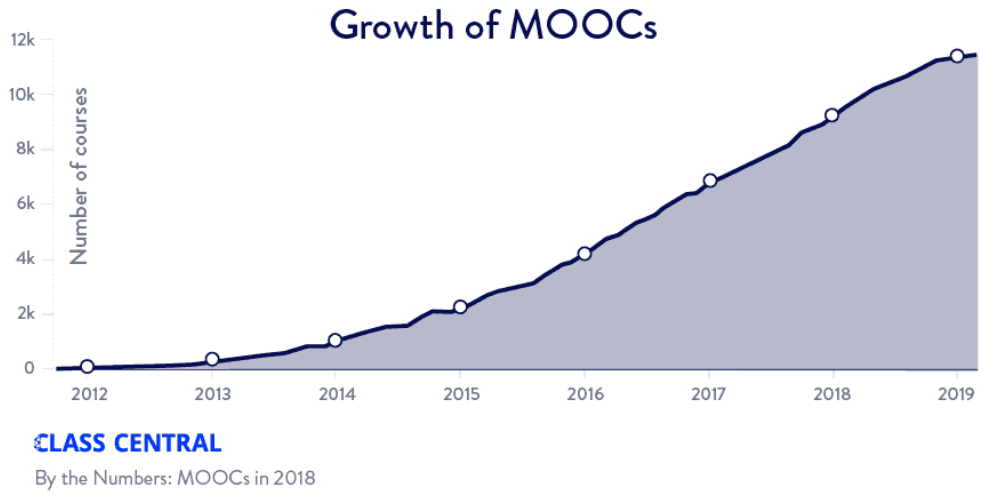


Fig. 3.3 : Évolution du nombre de MOOCs entre 2012 et 2018 (source : www.classcentral.com)

rétention des apprenants au sein des MOOCs (Hone & El Said, 2016a ; Dalipi et al., 2018). L'identification des facteurs qui ont un effet direct sur l'abandon des participants d'un MOOC offre une opportunité d'explorer de nouveaux modèles et méthodes de conception pour aider les élèves à persister et à terminer avec succès les MOOCs. En parallèle, il est important de reconsidérer les critères d'évaluation des MOOCs en s'extrayant de la seule considération d'une performance d'ordre statistique pour étudier ce qui définit la qualité de l'enseignement dispensé (DeBoer et al., 2014). Si les objectifs pédagogiques sont clairement définis par les enseignants, les apprenants s'engagent dans ces formations pour des raisons qui peuvent être très variées. Cette considération est d'autant plus importante que, plus que pour la population générale, la plupart des personnes handicapées qui s'engagent dans ces formations le font tout particulièrement dans le but de déterminer leur capacité à étudier à un niveau d'éducation supérieur (Iniesto et al., 2017a).

3.3 Approches, Modèles et Méthodes de conception et validation des SNE

L'introduction des TIC dans les activités d'apprentissage entraîne une redéfinition de la structure même de la relation pédagogique. Dans le cadre de l'EAD, Michael G. Moore présente une théorie de la distance transactionnelle (Moore & Kearsley, 2011) qui définit que la qualité de la relation pédagogique dépend du niveau d'encadrement des échanges didactiques guidés et peut être déterminée à partir de l'évaluation de trois composantes :

- Le niveau de STRUCTURE DU COURS, correspondant au niveau de planification et de réalisation des différents éléments constituant le cours ;
- Le niveau d'AUTONOMIE DE L'APPRENANT, qui détermine son besoin d'encadrement ;
- Le niveau de DIALOGUE, soit le nombre d'échanges entre les différents participants à l'enseignement.

Cette grille de lecture nous permet tout d'abord d'observer des tendances à travers l'évolution des EAD. Ainsi, alors que les UEAD à leur début demandaient un fort niveau d'autonomie de la part des apprenants tout en fournissant un fort niveau de structure, les universités traditionnelles mettaient quant à elles le poids sur le niveau d'échanges à travers le facteur groupe d'apprenants. La quatrième génération d'EAD, à travers des approches combinant des méthodes éducatives innovantes et des technologies numériques avancées a estompé ces différences conceptuelles, et a homogénéisé les offres de formation.

André Tricot et ses collaborateurs (2003) proposent d'adopter une approche d'ergonomie cognitive qui relie trois dimensions de l'évaluation des ENVIRONNEMENTS INTERACTIFS POUR L'APPRENTISSAGE HUMAIN (EIAH) : l'UTILITÉ, qui relève des domaines de la pédagogie et des didactiques, l'UTILISABILITÉ qui s'intéresse à l'usage de l'EIAH via son interface et l'ACCEPTABILITÉ qui correspond à la valeur de la représentation mentale qui conditionne son utilisation. En suivant cette proposition, nous présentons dans un premier temps les travaux qui se sont intéressés à la conception pédagogique de manière générale et ceux liés aux outils numériques et au handicap.

3.3.1 UTILITÉ

Si les choix en matière de dispositifs technologiques pour l'éducation sont fortement liés à l'évolution des outils numériques, leur utilisation pour des objectifs d'enseignement s'est également faite en suivant l'évolution des courants théoriques, des modèles et des méthodes qui ont été développés pour servir la conception pédagogique. À cet égard, l'approche mise en avant par le modèle industriel d'un processus éducatif centré sur une production de contenu audiovisuel conçu par et pour servir l'enseignant s'est rapidement confrontée à celle qui souhaitait mettre l'élève au centre de l'apprentissage. Dès 1970, Étienne Brunswic considère ainsi qu'« il est peu contestable que la plupart des moyens audiovisuels existants ont été conçus pour l'enseignant ou de son point de vue. La procédure d'agrément fait, elle aussi, appel uniquement à des enseignants, à l'exclusion des élèves, qui sont pourtant les véritables destinataires de ces produits, mais dont l'opinion n'est jamais recueillie » et que « dans les rares cas où il y a validation, celle-ci n'a lieu qu'a posteriori »

(Brunswic, 1970). S'inscrivant dans une approche scientifique d'analyse systémique du processus d'apprentissage dans le rapport humain-machine, il propose de redéfinir la « Technologie de l'éducation » non plus comme « l'ensemble des moyens nouveaux issus de la révolution des moyens de communication et qui peuvent être utilisés à des fins pédagogiques » mais comme « une façon systématique de concevoir, de réaliser et d'évaluer la totalité d'un processus d'apprentissage ». S'intéressant aux effets des aspects prescriptifs de la conception de l'enseignement sur l'efficacité du processus d'apprentissage, cette approche fait écho à celle qui se développe dans le champ de recherche de l'*Instructional Design* qui s'intéresse au développement de modèles d'instruction dans un objectif d'amélioration des méthodes de transmission de connaissances.

3.3.1.1 Instructional Design

C'est à partir des années 1950 qu'apparaissent les premiers travaux s'intéressant à définir des architectures efficaces pour les systèmes d'instruction. Ralph W. Tyler (1949) présente une méthode pour le développement de *curricula* et propose un protocole de conception constitué de plusieurs étapes successives : définition des objectifs à atteindre par le système, analyse des capacités des élèves, des caractéristiques de la discipline enseignée et des conditions de vie et de travail dans lequel s'inscrit le système, sélection des activités d'apprentissage pour atteindre ces objectifs, et organisation de ceux-ci de façon à obtenir des effets d'apprentissage à la fois intra – et extra – domaine. Enfin, une phase d'évaluation permet de vérifier si ces objectifs ont été atteints. Si les travaux de Tyler sont principalement orientés vers un niveau d'instruction très général (*le curriculum*), ils constituent les prémisses des approches en Instructional Design (ID) qui s'intéressent plus précisément à l'activité d'apprentissage.

Les premiers travaux en ID s'emparent largement des théories issues du behaviorisme, considérant que l'apprentissage peut être vu comme un changement de comportement induit par une situation d'instruction utilisant des méthodes de renforcement et de guidage[12]. C'est à travers cette approche behavioriste que Robert M. Gagné va s'intéresser à déterminer comment peuvent être appréhendées les connaissances apprises par les élèves. Cela le conduira à l'élaboration de différents modèles d'analyse hiérarchique des habiletés qui servent de cadre pour décrire les processus d'apprentissage. Ceux-ci sont constitués de listes ordonnées de manière croissante en fonction de leur complexité, qu'il s'agit pour l'élève de maîtriser (Table 3.1). Cette maîtrise va dépendre à la fois de conditions d'apprentissage internes, liées aux capacités de l'élève, et externes liées aux différents guidages donnés par

12. Ils s'inscrivent ainsi dans la lignée des travaux de Burrhus Frederic Skinner (1958) et sa machine à enseigner.

l'enseignant (*e.g.*, donner un exemple, fournir un feedback, *etc.*).

Huit processus d'apprentissage (Gagné, 1970)	Cinq processus d'apprentissage (Gagné, 1985)
1. Répondre à un signal	1. Habiletés intellectuelles
2. Apprentissage des liens stimulus-réponse	2. Stratégies cognitives
3. Apprentissage d'enchaînements de stimulus-réponses	3. Information verbale
4. Apprentissage d'associations verbales	4. Habiletés motrices
5. Discrimination	5. Attitudes
6. Apprentissage de concepts	
7. Apprentissage de règles	
8. Résolution de problèmes	

Tab. 3.1 : Évolution des modèles de conditions de l'apprentissage de Robert Gagné d'après Dessus (2006)

Ces modèles qui concernent tout d'abord l'apprentissage permettent le développement d'un modèle centré sur le processus de conception d'une leçon à travers : *(1)* l'analyse des conditions nécessaires à l'apprentissage selon des objectifs fixés en amont, *(2)* la mise en place de séquences et la sélection de médias selon le contexte d'apprentissage et les caractéristiques des apprenants, *(3)* la conception et la planification de tâches motivantes pour l'apprenant et enfin, *(4)* l'évaluation des différents éléments d'enseignement et de l'efficacité globale de l'enseignement (Gagné, 1976). Au cours de ses différents travaux, Gagné raffine ce modèle en s'inspirant des travaux sur la structure et les processus de contrôle de la mémoire de Richard C. Atkinson et Richard M. Shiffrin dont il se saisit comme théorie de l'apprentissage (Gagné, 1988). S'appuyant sur leur modèle modal de la mémoire (Figure 3.4), il met en avant l'importance du contrôle exécutif de l'apprenant qui détermine l'allocation de l'attention et les processus de répétition et d'encodage tout en conservant une approche behavioriste qui pointe l'importance du renforcement. À partir de ces théories et modèles, et à travers l'observations de procédures d'instruction, Gagné définit un ensemble d'événements afin de guider le développement de séquences d'instructions : capter l'attention de l'apprenant, spécifier les objectifs, stimuler le rappel à des connaissances déjà apprises, présenter des stimuli, guider l'apprentissage, déterminer le niveau de performance, faire des retours informatifs, évaluer les performances, améliorer la rétention et le transfert de connaissances.

Il est important de noter le caractère hiérarchique qui ordonne ces processus et qui met en avant l'importance que revêt la prise en compte de la maitrise de pré-requis dans la construction d'une séquence d'enseignement. Cette idée d'une hiérarchie de connaissances laisse peu à peu la place à celle d'une organisation inter-connectée des connaissances. Cette évolution amène les chercheurs en ID à s'intéresser à l'identification des relations structurelles entre les différents contenus qui peuvent constituer un cours. Dans cette

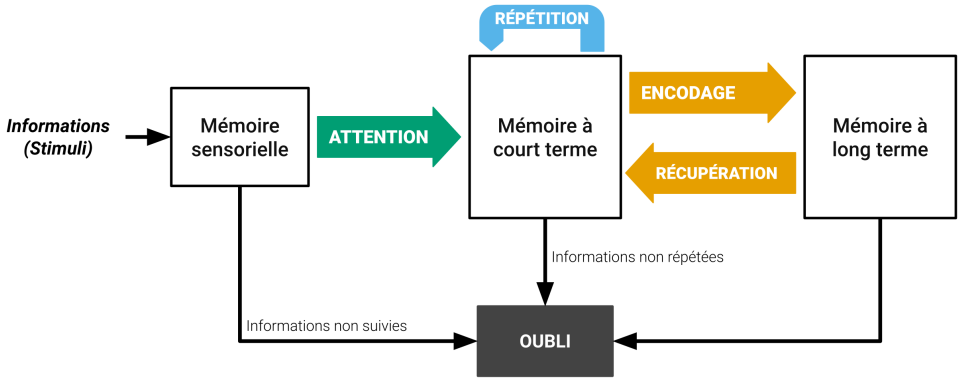


Fig. 3.4 : Modèle modal de la mémoire d'après Atkinson & Shiffrin (1968)

perspective, Charles Reigeluth et ses collaborateurs (1980) élaborent un modèle qui prend le contre-pied de celui de Gagné, proposant d'organiser les connaissances à travers une multiplicité d'ordonnancements amorcés par un « épitomé » (*i.e.*, un abrégé) représentant l'idée la plus générale, afin de favoriser la réutilisation d'éléments de contenu entre plusieurs leçons.

Les enjeux sociaux et économiques qui apparaissent avec le développement du *e-learning* et des formations en ligne accompagnent aussi le développement des approches en ID vers des méthodologies de conception pédagogique spécifiques aux environnements d'apprentissage informatisés qui répondent aux problématiques de l'EAD. Dans ce cadre, nous présentons dans la section suivante les travaux de Richard Mayer et Roxana Moreno (2003) sur l'apprentissage multimédia.

3.3.1.2 Travaux sur l'apprentissage multimédia

Si les premiers travaux menés sur la charge cognitive ne concernaient pas directement des contenus numériques, le développement de l'usage du multimédia en éducation Mayer et Moreno à proposer une représentation des processus cognitifs impliqués dans l'apprentissage multimédia (Figure 3.5). Directement inspirée du modèle SOI (*Selection-Organization-Integration*, Mayer 1996), leur théorie se fonde sur trois hypothèses sur le fonctionnement du cerveau humain : l'hypothèse d'une capacité de traitement limitée (inspirée notamment de la théorie de la charge cognitive décrite dans le chapitre précédent), l'hypothèse du double canal (Paivio, 1990) et l'hypothèse du traitement actif (Wittrock, 1989).

La première colonne du modèle décrit les modalités de la représentation des

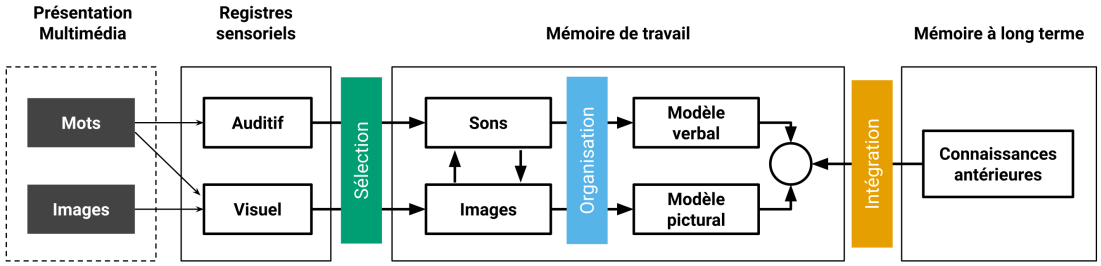


Fig. 3.5 : Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia (Mayer & Moreno, 2003)

informations. Les auteurs identifient principalement des informations langagières (décrites comme des mots) et les représentations scripturales (décrites comme des images). Ensuite, la deuxième colonne représente un premier niveau de traitement de l'information, sensoriel, avec le système auditif et le système visuel. Opère ensuite le traitement en mémoire de travail, avec un niveau peu profond où ce sont les informations simples qui sont traitées (images et sons), puis un niveau plus profond où l'apprenant construit des modèles verbaux et picturaux en organisant les images et les sons. Ceux-ci sont alors intégrés à travers les connaissances déjà stockées en mémoire à long-terme.

Ce modèle permet d'identifier trois ensembles de processus qui génèrent une charge cognitive. Tout d'abord, le TRAITEMENT ESSENTIEL (*Essential processing* ou *extraneous processing*) fait référence aux processus cognitifs nécessaires pour donner un sens au matériel utilisé, représentés par les cinq processus de la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia : la sélection des mots, la sélection des images, l'organisation des mots, l'organisation des images et l'intégration. Le TRAITEMENT INDIRECT (*Incidental processing*) fait référence aux processus cognitifs qui ne sont pas nécessaires pour donner du sens au matériel présenté, mais qui sont déclenchés par le design de la tâche d'apprentissage. Enfin, le TRAITEMENT GÉNÉRATIF (*Generative processing* ou *Representational holding*) fait référence aux processus cognitifs visant à maintenir une représentation mentale dans la mémoire de travail pour une certaine période de temps.

Chacune de ces demandes entraîne un niveau de charge cognitive pouvant mener à une surcharge néfaste pour l'apprentissage. À partir de ces différentes demandes en capacité cognitive, Ruth Clark et Richard Mayer (2016) présentent un ensemble d'effets de l'utilisation du multimédia sur l'apprentissage, validés expérimentalement à travers des tâches de transfert de connaissances, ainsi qu'un certain nombre de méthodes permettant de maximiser l'apprentissage[13]. L'idée principale est de réduire la charge cognitive extrinsèque

13. Ainsi, ces méthodes sont très proches des effets identifiés par John Sweller dans ses travaux sur la charge cognitive (voir section 2.4.3).

induite par la présentation de l'information à travers ce support.

Néanmoins, la plupart des validations expérimentales en ID se fondent sur des études dont les participants ne présentent pas de troubles cognitifs. Ainsi, il n'est pas certain que ses effets soient directement transférables dans notre contexte. Néanmoins, de manière générale, comme nous l'avons vu au précédent chapitre, la notion de surcharge cognitive de la personne avec handicap cognitif est largement documentée. De manière complémentaire, dans le champ de l'éducation spécialisée, les recommandations issues des approches dites Universal Design for Learning (UDL, Rose & Meyer 2006) proposent la mise en œuvre de dispositifs pédagogiques alternatifs.

3.3.1.3 Universal Design for Learning

Les approches UDL considèrent que l'apprentissage résulte d'une interaction dynamique entre l'individu et son environnement qui conduit à la nécessité d'une faculté d'adaptation des contenus et des situations d'apprentissage pour répondre à la grande variabilité des apprenants. Dans cette optique, l'UDL s'inscrit dans une approche inclusive de la conception pédagogique à travers la mise en œuvre de stratégies pédagogiques flexibles permettant de prendre en compte l'hétérogénéité cognitive des apprenants. A cette fin, elle définit un cadre conceptuel qui réunit différentes composantes de l'apprentissage en trois axes (Figure 3.6) :

- L'axe de reconnaissance qui correspond aux processus qui entrent en jeu dans l'identification et la compréhension des informations présentées à l'élève (le *quoi* de l'apprentissage) ;
- L'axe des stratégies qui correspond à la planification et l'exécution des tâches ainsi qu'à l'auto-régulation et auto-évaluation (le *comment* de l'apprentissage) ;
- L'axe affectif qui correspond aux processus motivationnels et à l'engagement dans la tâche (le *pourquoi* de l'apprentissage).

Suivant ces trois axes, les recommandations énoncées dans le cadre de l'UDL, se divisent ainsi en trois grands principes :

- Fournir de nombreux moyens de représentation des différents éléments de contenu en diversifiant les médias (*i.e.*, favoriser les mécanismes de reconnaissance sensorielle et symbolique de l'information) ;

Principe	Méthode
Cohérence : on obtient un meilleur transfert lorsque le matériel « extérieur » est exclu.	Désherbage : éliminer le contenu non-essentiel à la notion.
Proximité spatiale : on obtient un meilleur transfert lorsque les textes écrits sont placés près de la partie graphique à laquelle ils font référence.	Méthode de l'alignement : placer les textes écrits près de la partie graphique à laquelle ils font référence pour réduire le besoin en balayage visuel.
Effet de redondance : on obtient un meilleur transfert lorsque les textes sont narrés plutôt que lorsque ceux-ci sont écrits et narrés.	Méthode d'élimination de la redondance : éviter de présenter des flux identiques de mots écrits et de mots parlés.
Effet de segmentation : on obtient un meilleur transfert lorsque les leçons sont présentées sous forme de segments contrôlables par l'apprenant plutôt qu'en blocs continus.	Méthode de segmentation : laisser du temps entre chaque élément successif présenté.
Effet de pré-entrainement : on obtient un meilleur transfert lorsque les étudiants connaissent les noms et les comportements de chaque élément d'un système.	Méthode de pré-entrainement : organiser un pré-entrainement portant sur les noms et les caractéristiques de chaque élément.
Effet de modalité : on obtient un meilleur transfert lorsque les mots sont présentés sous forme de narration plutôt que sous forme textuelle.	Méthode de déchargement : déplacer certaines ressources essentielles du canal visuel vers le canal auditif.
Effet de signalisation : on obtient un meilleur transfert lorsque des signaux de guidage sont inclus.	Méthode de signalisation : donner des repères (visuels/sonores) sur comment traiter le matériel pour réduire le traitement de contenu externe.
Effet de proximité temporelle : on obtient un meilleur transfert lorsque l'animation et la narration correspondante sont présentées de manière simultanée plutôt que successivement.	Méthode de synchronisation : présenter la narration et l'animation correspondante ensemble afin de minimiser le besoin de conserver en mémoire l'une ou l'autre.
Effet d'habilité spatiale : les apprenants avec une forte habilité spatiale bénéficient mieux d'un enseignement bien conçu que les apprenants avec une moindre habilité spatiale.	Méthode de l'individualisation : faire en sorte que les apprenants possèdent la capacité à conserver des représentations mentales.

Tab. 3.2 : Principes et méthodes minimisant la charge cognitive appliqués au multimédia (Clark & Mayer, 2016)

- Fournir de nombreux moyens d'action et d'expression en diversifiant les façons avec lesquelles les étudiants peuvent exprimer ce qu'ils savent (*i.e.*, favoriser les stratégies de compensation pour le traitement et la restitution d'une information) ;
- Fournir de nombreux moyens de participation et d'engagement afin de stimuler l'intérêt et la motivation des apprenants (*i.e.*, favoriser l'implication et l'activité de l'apprenant).

Les approches UDL considèrent qu'il est essentiel de s'inscrire dans l'analyse de tâches fondées sur des élèves donnés et dans une tâche donnée et non plus seulement sur une description générique des processus en œuvre dans une activité d'apprentissage. Ainsi, par l'étude des conditions et du contexte dans lequel se déroule l'apprentissage, ces approches permettent de réfléchir aux caractéristiques des environnements qui peuvent être mises en place pour optimiser le développement, la performance et l'engagement des individus. Ces approches sont donc compatibles avec celles promues par la CIF dans laquelle les matériels ou solutions numériques sont définis comme des soutiens environnementaux qui permettent de compenser les incapacités de la personne et qui sont favorables à sa participation sociale, et notamment à celle des systèmes éducatifs (Fage et al., 2016a). Plus précisément, elle est complémentaire aux normes ISO 9999[14] qui proposent une classification des matériels et solutions numériques selon les incapacités et capacités de la personne et les tâches/activités visées (*e.g.*, éducation, vie quotidienne, vie professionnelle, *etc.*). Pour

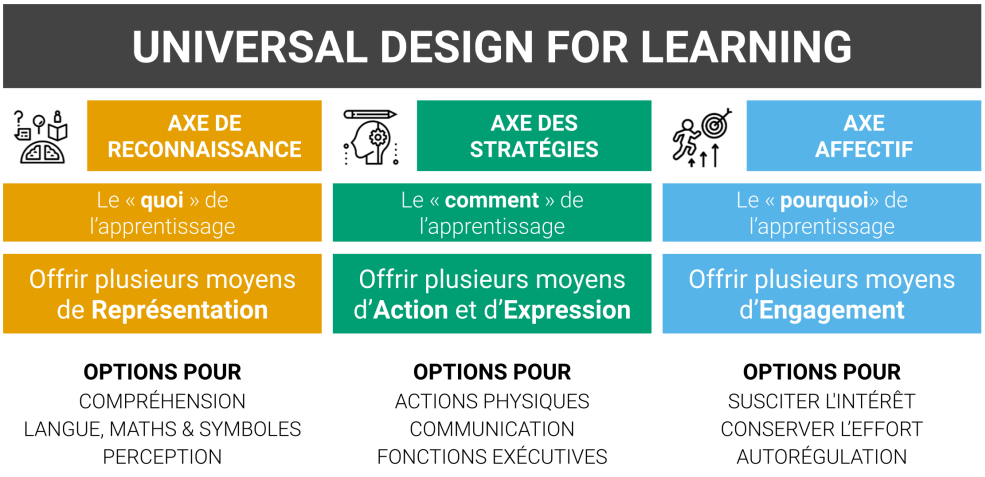


Fig. 3.6 : Principes et lignes directrices de l'Universal Design for Learning.

14. ISO 9999 : 2011 – Produits d'assistance pour personnes en situation de handicap – Classification et terminologie

l'essentiel, les approches UDL consistent donc à trouver des alternatives sensorielles et/ou motrices pour les déficiences sensorielles et/ou motrices.

À travers une enquête menée auprès de quarante étudiants handicapés, présentant majoritairement des troubles cognitifs, Júlia Griful-Freixenet et ses collaborateurs (2017) montrent que les recommandations UDL répondent favorablement à leurs besoins, tout particulièrement avec le troisième principe (*i.e.*, fournir de nombreux moyens de participation et d'engagement), s'alignant ainsi avec les dispositifs d'accompagnement mis en place au sein des universités. De même, plusieurs études ont montré les effets positifs de l'utilisation des principes de l'UDL sur la performance et la participation des étudiants handicapés (Scott et al., 2003 ; King-Sears, 2009). Néanmoins, dans une récente revue de la littérature, Ahmed Al-Azawei et ses collaborateurs (2016) montrent que peu de travaux fournissent une réelle validation empirique de l'utilisation de l'UDL, et que la majorité des études sont menées dans un contexte traditionnel de salle de classe. Pris ensemble, ces deux conclusions soulignent qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de standards UDL pour la transformation des contenus pédagogiques aux besoins spécifiques des différentes conditions de handicap cognitif, ni de standards de transposition du contexte traditionnel aux systèmes numériques d'enseignement. Prenant pour exemple l'étude de Sean Smith et Evelyn Harvey (2014) qui montre que les ressources en ligne de la plateforme *Khan Academy* ne sont pas adaptées pour répondre aux besoins d'apprenants aux capacités d'apprentissage limitées, Ahmed Al-Azawei et ses collaborateurs promeuvent l'adoption des principes UDL pour lever les obstacles qui entravent l'utilisation des plateformes de *e-learning* comme les MOOCs pour les personnes qui présentent des troubles cognitifs sans pour autant proposer de formalisation quant à leur transposition de la classe traditionnelle vers les SNE.

3.3.2 Utilisabilité

À la fin des années 1980, Jakob Nielsen s'inspire du modèle en couche de l'ISO [15] utilisé afin de modéliser les échanges dans les communications réseaux pour proposer un protocole virtuel de l'interaction humain-ordinateur (Nielsen, 1986). Il décrit la forme que prend le dialogue entre l'utilisateur et la machine à travers sept couches d'abstraction permettant le passage d'un concept du monde réel (*i.e.,* l'objectif de l'utilisateur) vers une version abstraite comprise par l'ordinateur. À travers ce cadre théorique, Nielsen propose de définir le concept d'utilisabilité selon cinq caractéristiques : la facilité d'apprentissage, l'efficacité dans la réalisation des tâches attendues, la facilité à mémoriser les éléments de l'interface, la gestion des erreurs et la satisfaction de l'utilisateur. En s'appuyant sur ces attributs, Jakob

15. ISO/IEC 7498-1 : 1994 – Technologies de l'information – Interconnexion de systèmes ouverts (OSI) – Modèle de référence de base

Nielsen et Rolf Molich (1990) proposent une méthode d'évaluation au cours de laquelle un groupe d'experts examine la conformité d'une interface avec dix heuristiques d'utilisabilité. Ces heuristiques trouvent un écho en France à travers les travaux de Dominique Scapin et J. M. Christian Bastien (1997) qui développent un ensemble de critères ergonomiques pour l'évaluation des interfaces qu'ils comparent avec la norme ISO 9241-10 (Bastien et al., 1999). Leur résultats montrent que, si celle-ci est plus longue à appliquer, leur méthode permet d'identifier plus de problèmes d'utilisabilité.

On retrouve une définition formelle de l'utilisabilité dans la norme ISO 9241-210[16] pour laquelle elle est le « degré selon lequel un système, un produit ou un service peut être utilisé, par des utilisateurs spécifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié ». De manière complémentaire, Éric Brangier et J.M. Christian Bastien (2010) présentent six dimensions pour la définir :

- L'efficacité (*effectiveness*) correspond à la précision avec laquelle un utilisateur atteint l'objectif qu'il s'est fixé. Elle est souvent mesurée en observant la qualité de la réalisation ou le nombre d'erreurs ;
- L'efficience (*efficiency*) correspond à la performance atteinte pour un objectif donné dans un temps et en utilisant une quantité de ressources raisonnable. On l'infère notamment suivant le temps d'exécution de la tâche ;
- L'apprenabilité (*learnability*) se rapporte à la facilité d'apprentissage et s'évalue à travers des critères de performance mesurées de manière longitudinale ;
- La mémorabilité (*memorability*) permet de mesurer la rétention d'une tâche précédemment apprise après une absence d'utilisation.
- Les erreurs sont les actions réalisées par un utilisateur et qui ne sont pas appropriées pour atteindre l'objectif donné ;
- La satisfaction se réfère au plaisir que l'utilisateur peut éprouver à travers ses interactions avec le système.

Si les mesures d'utilisabilité requièrent que des experts observent des participants réaliser des tâches avec le dispositif pour les évaluer à partir de ces critères heuristiques, John Brooke et ses collaborateurs (1996) vont proposer un questionnaire standardisé, le System Usability Scale qui permet une auto-évaluation des dispositifs en environnement écologique. De nombreuses études ont démontré sa robustesse et sa polyvalence quant aux

16. ISO 9241-210 : 2019 – Ergonomie de l'interaction homme-système – Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs.

types de dispositifs qu'il permettait d'évaluer (Bangor et al., 2008), et notamment dans le cas d'applications Web. Les résultats du SUS, présenté sous la forme d'un score unique sur une échelle facilement compréhensible, en font un outil efficace pour échanger entre différents membres d'une équipe qui auraient peu ou pas d'expérience dans les méthodes d'évaluation d'utilisabilité.

3.3.3 Acceptabilité

La notion d'acceptabilité est définie comme étant « le degré avec lequel l'utilisateur perçoit l'utilité et la facilité d'utilisation d'une technologie » (Davis, 1989). Différents modèles explicatifs ont été proposés pour rendre compte des processus qui mènent à l'acceptation et à l'utilisation des technologies. Le Modèle d'Acceptation des Technologies (*Technology Acceptance Model* – TAM) a été élaboré afin de prédire et d'expliquer les intentions d'utilisation des TIC dans un contexte professionnel (Davis, 1985, 1989). Selon ce modèle, les plus importants déterminants de l'acceptation d'un individu pour une technologie sont l'utilité perçue, qui correspond au degré auquel une personne pense que l'utilisation d'un système améliorera sa performance de travail, et la facilité d'utilisation perçue, qui correspond au degré auquel une personne croit que l'utilisation d'un système sera peu coûteux en ressources mentales et physiques.

Viswanath Venkatesh et ses collaborateurs (2003) proposent un modèle unifié de huit théories de l'acceptabilité qu'ils intitulent Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). Selon ce modèle, l'intention d'utilisation d'une technologie peut être déterminée par trois facteurs :

- Les performances attendues désignent la conviction chez une personne que l'utilisation d'un système permettra d'améliorer sa performance pour réaliser une tâche (équivalent à la notion d'utilité perçue du TAM) ;
- L'effort anticipé définit le degré de facilité qu'une personne associe à l'utilisation d'un système donné (équivalent à la facilité d'utilisation perçue du TAM) ;
- L'influence sociale est la mesure par laquelle un individu perçoit que ceux qui l'entourent pensent qu'il devrait ou non utiliser un système particulier.

L'intention influence directement le comportement final d'utilisation, modulé par des conditions facilitatrices définies comme « le degré auquel l'utilisateur pense que l'infrastructure organisationnelle et technique est nécessaire pour l'utilisation du système » (*i.e*, degré de soutien à l'utilisation du système qui est perçu par l'individu comme disponible

en cas de besoin dans son environnement). Selon ce modèle, l'intention d'utilisation est avant tout liée à la valeur utilitaire du système comme source de motivation extrinsèque que perçoit un individu, sans prendre en compte l'influence des facteurs contextuels ou de la motivation intrinsèque, pour expliquer l'intérêt qu'un individu peut avoir à l'utiliser. C'est pourquoi une nouvelle version du modèle (UTAUT 2) intégrera les différentes composantes de motivation dans les variables de prédiction de l'intention à utiliser une technologie (Venkatesh et al., 2012). Dans cette perspective, la section suivante décrit les théories de la motivation et de l'auto-détermination qui viennent compléter les modèles d'acceptabilité, ainsi que les travaux qui les étudient dans le cadre de l'apprentissage et des systèmes d'éducation en ligne.

3.3.4 Motivation et auto-détermination

Edward Deci et Richard Ryan présentent une théorie cognitive de l'auto-détermination (*Self-Determination Theory* – SDT) qu'ils définissent comme « la capacité à choisir et à pouvoir faire des choix, plutôt qu'être régi par d'autres forces de pressions, et d'être le déterminant de nos actions » (Deci & Ryan, 1985 ; Ryan & Deci, 2000). Selon cette théorie, les individus agissent de manière autodéterminée lorsqu'ils répondent à trois besoins fondamentaux :

- Le besoin d'autonomie, c'est-à-dire le sentiment de pouvoir agir de manière autonome, sans pression extérieure ;
- Le besoin de compétence, qui correspond au sentiment d'acquérir de nouvelles compétences et de nouveaux savoir-faire ;
- Le besoin d'attachement/appartenance sociale, c'est-à-dire le sentiment d'appartenir à un cercle social, de ressentir l'intérêt des autres.

La SDT met en avant l'importance des ressources internes pour le développement de la personnalité et l'auto-régulation du comportement en s'intéressant aux facteurs environnementaux qui influencent positivement ou négativement la motivation. Aussi, les différents degrés de motivation peuvent être vus comme les différents niveaux d'un continuum du sentiment d'auto-détermination (Figure 3.7).

Ainsi, lorsqu'un individu choisit une activité lui-même, uniquement pour le plaisir de la pratiquer, il a un fort sentiment d'autonomie qui correspond à de la motivation intrinsèque. Lorsque ce choix est régulé par un élément de contexte extérieur, on parle de motivation extrinsèque. Deci et Ryan présentent la motivation extrinsèque en quatre sous-composantes, selon le type de renforcements qui régulent le choix d'une activité. Lorsque

ceux-ci sont purement extérieurs à l'individu (*e.g.*, je suis obligé d'aller à l'école), on parle de RÉGULATION EXTERNE. Lorsque c'est l'individu qui se contrôle en suivant des règles internes à la société (*e.g.*, je travaille à l'école pour rendre mes parents fiers) il s'agit de RÉGULATION INTROJECTÉE. Un individu qui réalise une activité car il l'identifie comme ayant une forte valeur pour lui (*e.g.*, je travaille bien à l'école car ça me permettra d'avoir le métier que je veux faire plus tard), on parle de RÉGULATION IDENTIFIÉE. Enfin, la RÉGULATION INTÉGRÉE est la plus autodeterminée des motivations extrinsèques et correspond à celle qui conduit un individu à faire une activité qui fait partie de ses valeurs profondes. Par ailleurs, lorsqu'un individu ne voit plus quelles relations existent entre l'activité qu'il réalise et les résultats de celle-ci, ou que celle-ci ne fait aucun sens pour lui, on parle d'AMOTIVATION.

Un des facteurs d'échec le plus souvent mis en avant dans les MOOCs concerne le manque de motivation (Yuan & Powell, 2013). De fait, il est désormais reconnu que la motivation est l'une des composantes fondamentales de l'engagement dans le cadre des activités d'apprentissage et qu'elle a une influence directe sur le traitement cognitif des informations (Blumenfeld et al., 2006). Dans le cadre des activités d'apprentissage, les travaux de Robert Vallerand (1997) ont permis d'identifier trois composantes indépendantes de la motivation intrinsèque : la motivation intrinsèque à la connaissance (*e.g.*, je participe parce que j'éprouve du plaisir et de la satisfaction à apprendre de nouvelles choses) ; la motivation intrinsèque à l'accomplissement (*e.g.*, je participe parce que j'éprouve du plaisir et de la satisfaction à me surpasser et à relever des défis), et la motivation intrinsèque à la stimulation[17] (*e.g.*, je participe parce que j'éprouve du plaisir et de la satisfaction à ressentir des sensations particulières).

Roca & Gagné (2008) ont cherché à conceptualiser ce qui amène les apprenants à

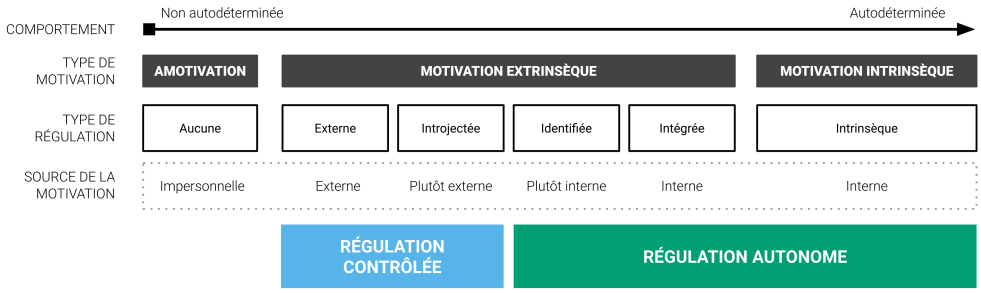


Fig. 3.7 : Continuum d'auto-détermination

17. Cette dernière se rapproche du concept de *flow* décrit par Miahly Csikszentmihalyi que l'on peut décrire comme un état d'activation optimal dans lequel le sujet est complètement immergé dans l'activité (Csikszentmihalyi, 1978, 1997). Le concept de *flow* est également qualifié d'autotélique, c'est-à-dire qui trouve sa fin dans l'activité en elle-même et qui n'exige pas de finalités ou de pressions extérieures.

poursuivre des cours à distance. Pour cela ils étudient la participation de 166 travailleurs à une plateforme de *e-learning* à travers des questionnaires évaluant le sentiment d'autonomie, de compétence et d'attachement social (*i.e.*, variables liées au sentiment d'auto-détermination) ainsi que l'utilité perçue, la facilité d'utilisation perçue et l'aspect ludique (*i.e.*, variables présentes dans le TAM). Ils établissent un modèle d'équations structurelles à partir des résultats qui permettent d'identifier l'impact significatif des trois mesures d'auto-détermination sur les trois mesures du TAM (seule la relation entre attachement social et utilité perçue s'est avérée être non significative) qui influençaient ensuite de manière directe la participation au cours en ligne (Figure 3.8). Ainsi, cette étude montre la relation positive du sentiment de compétence et du sentiment d'autonomie sur l'acceptabilité d'un SNE et l'intention de participation d'un apprenant.

Dans ce même esprit, Younghwa Lee et ses collaborateurs (2015) se sont intéressés aux liens entre l'auto-détermination et l'acceptabilité d'un forum de discussion en ligne appelé QBOARD, utilisé par 324 étudiants pendant deux semaines. L'analyse d'un questionnaire a permis de montrer des relations significatives entre les variables des modèles d'acceptabilité et d'auto-détermination (sauf pour les relations effort attendu – performance attendue et compétence – plaisir perçu). Cela démontre l'influence des dimensions d'auto-détermination sur la performance attendue et le plaisir d'utilisation perçu, qui influençent à leur tour l'intention d'utiliser le dispositif et prédit l'utilisation réelle (Figure 3.9). Au final, les trois piliers de l'auto-détermination se révèlent être critiques dans l'acceptabilité et les intentions de comportements d'utilisation d'un SNE. Il est à noter que le rôle différentiel

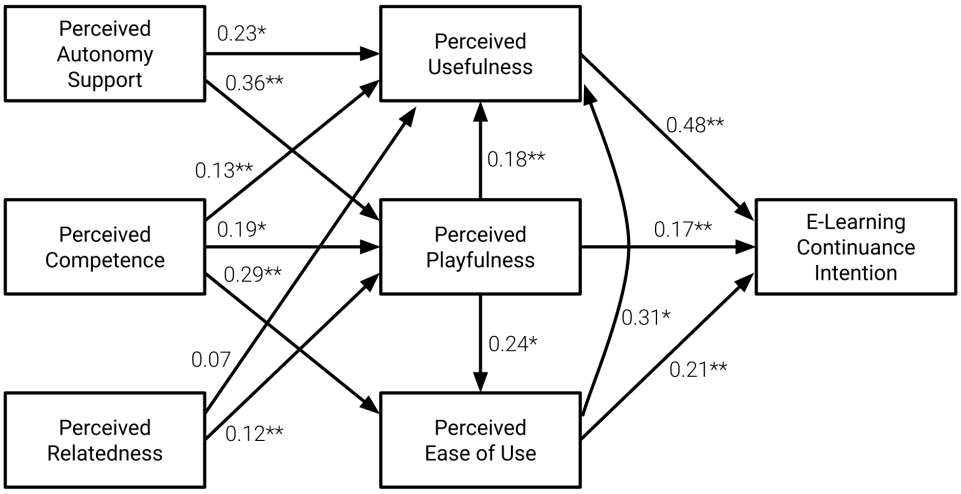


Fig. 3.8 : Influences de l'auto-détermination et l'acceptabilité d'un dispositif de *e-learning* (Roca & Gagné, 2008). $^{*}p < .05, ^{**}p < .01$

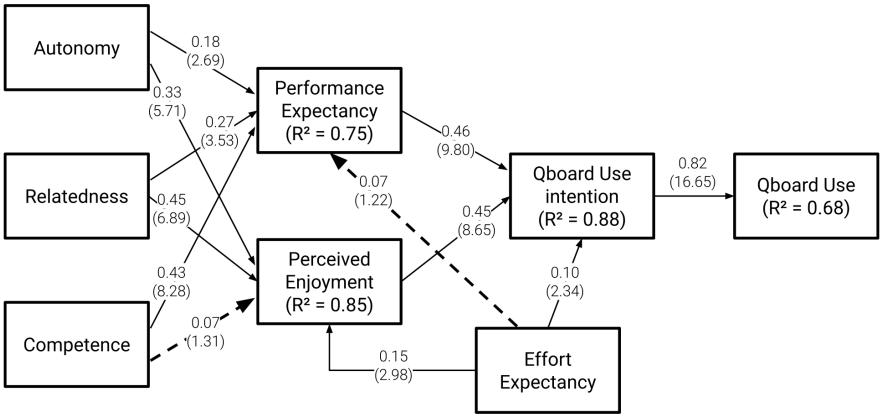


Fig. 3.9 : Influences de l'auto-détermination sur l'acceptabilité d'un dispositif de communication en ligne (Lee et al., 2015).

de ces trois piliers dépend de la finalité du SNE : pour Roca & Gagné (2008), celle-ci vise l'apprentissage, et le sentiment d'autonomie et de compétences sont de forts prédicteurs. À l'inverse, pour Lee et al. (2015), la finalité du SNE est dans les échanges d'une communauté d'apprenants et, dans ce cas, c'est le sentiment d'appartenance sociale qui prédit le mieux l'acceptabilité et les comportements réels d'utilisation.

Le concept d'auto-détermination est aussi utilisé dans le champ du handicap. À cet égard, Michael Wehmeyer (1995) propose un modèle d'auto-détermination en lien avec les dispositifs d'éducation spécialisée et de réhabilitation. Ici, l'auto-détermination est vue comme un objectif qui doit : *(1)* prendre en considération les caractéristiques des individus, *(2)* induire des bénéfices pour l'individu et *(3)* doit être accompli et influencé tout au long de la vie à travers l'apprentissage et les expériences[18]. À travers ce modèle, un comportement est considéré comme autodéterminé lorsqu'il s'inscrit dans tout ou partie dans ces quatre caractéristiques :

- L'AUTONOMIE COMPORTEMENTALE implique que l'individu agit selon ses préférences, ses intérêts et/ou ses capacités, indépendamment d'une quelconque influence ou interférence externe ;
- L'AUTORÉGULATION définit la capacité d'un individu à évaluer l'environnement, prendre des décisions personnelles et mettre en place des stratégies de réalisation en prenant en compte ses capacités ;

18. Sur ce point il rejoint l'emploi historique du terme d'auto-détermination dans le champ du handicap qui se réfère au droit pour les personnes handicapées de pouvoir contrôler leur propre vie en prenant part aux décisions qui les concernent.

- La capacitation psychologique (*empowerment*) exprime l'idée que l'individu se sent en contrôle de la situation et qu'il a confiance en sa capacité de réaliser des actions de manière appropriée ;
- L'autoréalisation s'exprime chez un individu qui a conscience de ses forces et de ses faiblesses, et qui agit de manière appropriée en fonction de ses connaissances sur lui-même.

Concernant le handicap cognitif, des études se fondant sur ce modèle ont montré une relation positive entre la satisfaction du besoin d'auto-détermination et son impact sur la qualité de vie chez des populations d'adultes avec retard mental dans le contexte de l'éducation spécialisée (Wehmeyer & Schalock, 2001). Dans le cadre de la formation à distance, John Richardson (2009) présente une étude qui s'intéresse à l'expérience d'étudiants handicapés. À travers l'analyse de questionnaires, il montre que les étudiants ayant déclaré un handicap ont jugé que leurs aptitudes cognitives et leurs aptitudes à l'auto-organisation, ainsi que leur niveau de compétences globales, avaient moins évolué que chez ceux des élèves qui n'avaient déclaré aucune incapacité. De plus, les étudiants qui ont déclaré des troubles spécifiques des apprentissages ressentent un moindre développement des aptitudes à l'auto-organisation par rapport à la population générale. Or, dans une récente refonte de la théorie de l'auto-détermination, appelée Causal Agency Theory (Shogren et al., 2017), il est démontré que plus une personne à un comportement autodéterminé, plus elle est susceptible d'identifier ses forces et ses faiblesses, ce qui améliore sa perception de l'autonomie et des compétences. De plus, ces relations causales sont plus fréquentes chez les personnes atteintes de troubles cognitifs (Wehmeyer et al., 2017 ; Wehmeyer & Shogren, 2016). Ainsi, l'évaluation de l'accessibilité des MOOCs bénéficierait de la prise en compte du sentiment d'autonomie et de compétence, mais aussi du sentiment d'appartenance sociale dans le cadre de la dimension communautaire promue par ces plateformes.

Pourtant, à notre connaissance, les études sur l'engagement des personnes handicapées dans les dispositifs de *e-learning* ne se saisissent pas des théories de l'auto-détermination. Il est probable que ce manque d'intérêt pour l'évaluation de l'auto-détermination soit multifactoriel. En premier lieu, le manque d'accessibilité de ces SNE exclut de fait les personnes handicapées et donc les possibles études. Deuxièmement, la prise en compte du rôle critique de la motivation intrinsèque chez l'apprenant est assez récente. Enfin, le rôle causal renforcé entre auto-détermination et performance d'apprentissage chez les personnes handicapées, est le fruit d'une recherche récente en éducation spécialisée et sa non-généralisation aux SNE n'est guère étonnante.

The power of the Web is in its universality. Access by everyone regardless of disability is an essential aspect.

Tim Berners-Lee, Fondateur du World Wide Web Consortium.

4

Méthodes de conception pour l'accessibilité des SNE

4.1 Petit historique du développement théorique des IHM **46**

4.2 Accessibilité numérique **50**

4.3 Approche Design en Accessibilité **53**

Si le chapitre 2 visait à étayer la notion de handicap cognitif, et le chapitre 3 à développer la notion de SNE, ce chapitre vise à présenter les différentes perspectives théoriques et méthodologiques du champ de l'Interaction Humain-Machine (IHM) et de l'Ergonomie des interfaces appliquées aux MOOCs dont nous nous sommes saisis tout au long de ce travail de doctorat. S'il est impossible d'en dresser ici un historique complet, il nous semble toutefois important de décrire les évolutions qui ont conduit à l'émergence des paradigmes, théories et méthodes que nous adoptons pour la conception et l'évaluation des SNE.

4.1 Petit historique du développement théorique des IHM

Le champ de recherche des IHM se saisit d'une multitude de courants disciplinaires pour étudier comment les individus interagissent avec des systèmes informatiques (Carroll, 2003). Vu à l'origine comme une science appliquée dont le but était d'utiliser les connaissances et les méthodes issues de divers domaines scientifiques afin de guider la conception des interfaces utilisateurs de systèmes et d'applications numériques, la recherche en IHM est désormais au cœur des réflexions qui accompagnent le développement technologique et la façon dont celui-ci influence les comportements des individus dans leur utilisation des systèmes numériques. De nombreux auteurs ont cherché à définir et catégoriser les différentes périodes qui ont parcouru la courte histoire des IHM. En prenant pour objets d'étude les systèmes informatiques, celle-ci est très fortement liée à celle du développement technologique. À cet égard, Brangier et Bastien (2010) décrivent l'évolution des préoccupations en ergonomie des TIC suivant quatre périodes :

1. À partir des années 1960, une première approche Accessibilité[1] s'intéresse aux problèmes d'accès aux TIC et à leur contenu ;
2. À la fin des années 1970, une approche Utilisabilité concerne le questionnement autour de la facilité d'utilisation des systèmes et leur adaptation aux capacités et besoins des utilisateurs ;
3. Dans les années 1980, l'approche Emotionnalité s'intéresse à l'affect de l'utilisateur lorsqu'il interagit avec un dispositif technique ;
4. Enfin, depuis les années 2000, l'approche Influençabilité s'intéresse à l'influence que les environnements technologiques peuvent avoir sur les conduites individuelles.

Pour Brangier et Bastien, si ces approches ont émergé successivement, elles ne se sont pas pour autant substituées les unes aux autres et constituent désormais un ensemble d'outils et de méthodes pour appréhender l'expérience de l'utilisateur sous le double éclairage des sciences du numérique et des sciences humaines et sociales. Ainsi, d'autres taxonomies se détachent de l'évolution historique pour s'intéresser à celle des choix de conception. Des auteurs comme Susanne Bødker (2015, 2006) ou Steve Harrison (2007) décrivent ainsi l'évolution des IHM en termes de vagues ou paradigmes qui se succèdent en fonction des contextes d'usages des TIC[2]. En ce sens, pour souligner l'importance de la prise

1. Ici, l'utilisation du terme *accessibilité* est générale, et ne concerne pas de façon particulière les personnes handicapées.

2. La première vague va ainsi se concentrer sur un usage *desktop* individuel, bien souvent confiné à un environnement de travail. La seconde vague est celle de l'élargissement des considérations d'usage à travers

en compte de l'influence qu'ont les choix de conception sur les individus et la société, Yvonne Rogers (2011) propose d'échanger le terme Human-Computer Interaction par Interaction Design. Elle met ainsi en avant l'influence des « mentalités »[3] sur les approches qui définissent à la fois la conception et l'usage des outils technologiques, qu'elle décrit selon trois grandes périodes de développements théoriques : la période Classique qui correspond à l'établissement de standard et de formalisation, la période Moderne qui voit un élargissement des problématiques et la restructuration du champ dans une approche qui se veut moins formaliste et enfin la période Contemporaine qui se caractérise par une mise en avant du rôle que porte le champ des IHM quant à l'impact des technologies sur l'individu et la société.

L'émergence du champ de recherche des IHM comme spécialité de l'Informatique coïncide avec la révolution de la micro-informatique de la fin des années 1970. À cette période, le développement de l'informatique personnelle va transformer la place qu'occupe l'ordinateur dans la société en élargissant son utilisation à des personnes non-expertes. Les systèmes informatiques étaient jusqu'alors essentiellement destinés à des utilisateurs experts dans de grandes entreprises, et dans leur immense majorité réservés à un environnement professionnel. Ainsi, l'étude des problématiques d'interaction entre les machines et les opérateurs humains s'est tout d'abord inscrite dans une approche pragmatique qui visait à adapter les caractéristiques de ces nouveaux dispositifs à celles des opérateurs humains dans un but de performance. Les travaux expérimentaux autour des premières interfaces cherchent ainsi à évaluer les performances de différentes techniques d'interaction (*e.g*, manipulation de texte) à travers des critères mesurables pendant son exécution (*e.g.*, le temps mis pour la réaliser ou le nombre d'erreurs commises par l'opérateur – English et al., 1967). Si ces travaux permettront de définir de premières règles pour guider la conception des dispositifs technologiques, le contexte de démocratisation des outils informatiques montrent rapidement les limites de ces approches : les premières interfaces proposées étaient particulièrement difficiles à utiliser et à apprendre pour un utilisateur non-expert.

Ce nouveau défi entraine les chercheurs en IHM à se saisir de théories de la psychologie physique et cognitive et à les appliquer aux enjeux d'une redéfinition de méthodes de conception qui permettraient de rendre les systèmes plus faciles à apprendre et à utiliser. Dans un premier temps, il s'agissait alors de modéliser l'interaction afin de prédire les performances de l'utilisateur selon les caractéristiques de modèles cognitifs, tel que le Modèle du Processeur Humain introduit par Stuart Card, Thomas Moran et Allen Newell (1983). S'inspirant du modèle séquentiel de l'apprentissage d'Atkinson et Shiffrin

notamment le travail collaboratif. La troisième vague concerne quant à elle une expansion des usages à travers de nouveaux contextes et applications et étend l'idée d'un usage non productif de la technologie (*e.g.*, émotion, culture, *etc.*).

3. Au sens de l'expression allemande *zeitgeist*, « esprit de l'époque ».

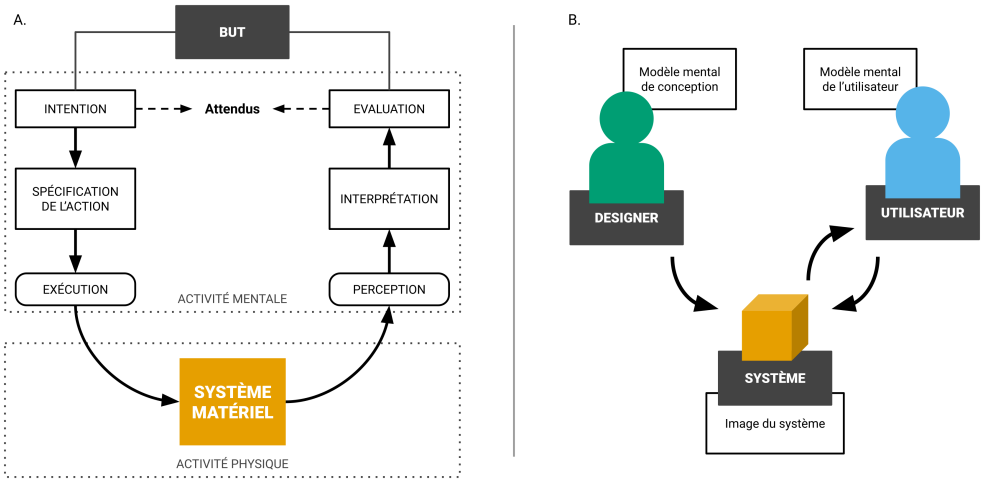


Fig. 4.1 : (A) Modèle de réalisation de tâches et (B) modèles conceptuels, d'après (Norman, 1986)

(3.3.1.1) et des théories de la communication de Claude Shannon et Warren Weaver (1998), ces auteurs présentent l'humain comme un système de traitement de l'information composé de trois sous-systèmes (perceptif, moteur et cognitif) qui interagissent par le biais de mémoires et de processeurs distincts. L'interaction homme-machine est décrite à travers ce système comme un ensemble d'actions successives (opérateurs) permettant de réaliser une tâche, dont la performance peut être prédite selon les informations à traiter, la capacité de traitement et les connaissances préexistantes (John & Kieras, 1996).

Cette approche très « mécanique » du fonctionnement humain des premiers travaux cognitivistes sera remise en question par Don Norman (1986) qui montre l'importance de considérer les objectifs et les intentions d'un individu comme des variables psychologiques qui diffèrent des variables physiques du dispositif matériel avec lequel la tâche sera réalisée. Il présente l'interaction comme un processus en sept étapes illustrée en figure 4.1 (A). Lors de l'interaction, l'utilisateur doit fournir un effort psychologique afin d'associer ces deux variables et, dans le cas de situations complexes ou lorsque celui-ci est novice, doit pour cela élaborer un modèle conceptuel du système à partir de son interprétation de l'image du système (*i.e.*, la perception de la structure physique liée au système). Ainsi, l'objectif final d'un processus de design est de construire une image du système qui permet de réunir le modèle de conception et le modèle de l'utilisateur (Figure 4.1 B).

Cette approche s'inscrit globalement dans une réflexion sur l'expérience utilisateur (User eXperience, UX) qui s'intéresse aux caractéristiques non instrumentales d'un produit, telles que son apparence, sa valeur esthétique ou le plaisir et l'émotion que peut susciter son utilisation au delà de son efficacité ou son efficience pour la réalisation d'une tâche

(Barcenilla & Bastien, 2009). Dans une perspective similaire, Marc Hassenzhal postule que les individus perçoivent les produits interactifs selon deux dimensions (Hassenzahl, 2003) :

- Une dimension qui définit les qualités PRAGMATIQUES qui correspondent à la façon dont le système peut-être utilisé pour manipuler l'environnement. La valeur est ici principalement instrumentale, et doit soutenir l'accomplissement des tâches que l'utilisateur souhaite réaliser. Le focus ici est sur le produit (accessibilité, utilité, utilisabilité, réalisation des tâches) ;
- Une dimension qui définit les qualités HÉDONIQUES (littéralement « liées au plaisir ») qui correspondent à l'impact du produit sur le plaisir d'utilisation et le bien-être de l'individu. Ici la valeur peut être liée à l'attrait pour le produit (stimulation), ou à ce qu'il véhicule quant à l'identification à un groupe d'utilisateurs.

Il élabore un modèle où il décrit deux perspectives complémentaires (Figure 4.2) : celle du concepteur (*designer perspective*) et celle de l'utilisateur (*user perspective*). Ainsi, un concepteur choisit les caractéristiques du système (*product features*) (*e.g.*, contenu, présentation, fonctionnalités, modalités d'interaction, *etc.*) afin de lui donner un caractère particulier visé (*intended product character*). Ce caractère est subjectif et traduit une intention du concepteur, qui ne sera pas forcément perçue et appréciée par l'utilisateur final de la même façon. On rejoint ici l'idée exprimée par Norman qu'il est important que les attributs pragmatiques et hédoniques choisis par le designer soient le plus en accord avec les caractéristiques attendues par les utilisateurs.

Or, le plus souvent, les deux groupes d'attributs ne sont pas équilibrés. Lorsque l'accent est mis sur les attributs pragmatiques, le produit est purement dédié à la réalisation de la tâche (on parle de produit *task-oriented*) et son attrait dépendra principalement de l'objectif que l'individu souhaite atteindre. À l'inverse, lorsque ce sont les attributs hédoniques qui sont mis en avant, le produit est directement lié à l'identité et aux valeurs de l'utilisateur (on parle alors de produit *self-oriented*). Pour mesurer les attributs pragmatiques et hédoniques perçus des produits, Hassenzahl et ses collaborateurs ont ainsi développé le questionnaire AttrakDiff[4]. Pour chaque outil interactif développé, l'évaluation via l'AttrakDiff permet ainsi de vérifier si l'outil répond bien aux objectifs initiaux.

La section suivante présente les critères d'accessibilité, en s'intéressant particulièrement aux environnements numériques et aux contenus Web.

4. Ce questionnaire a été traduit et validé en français (Lallemand et al., 2015).

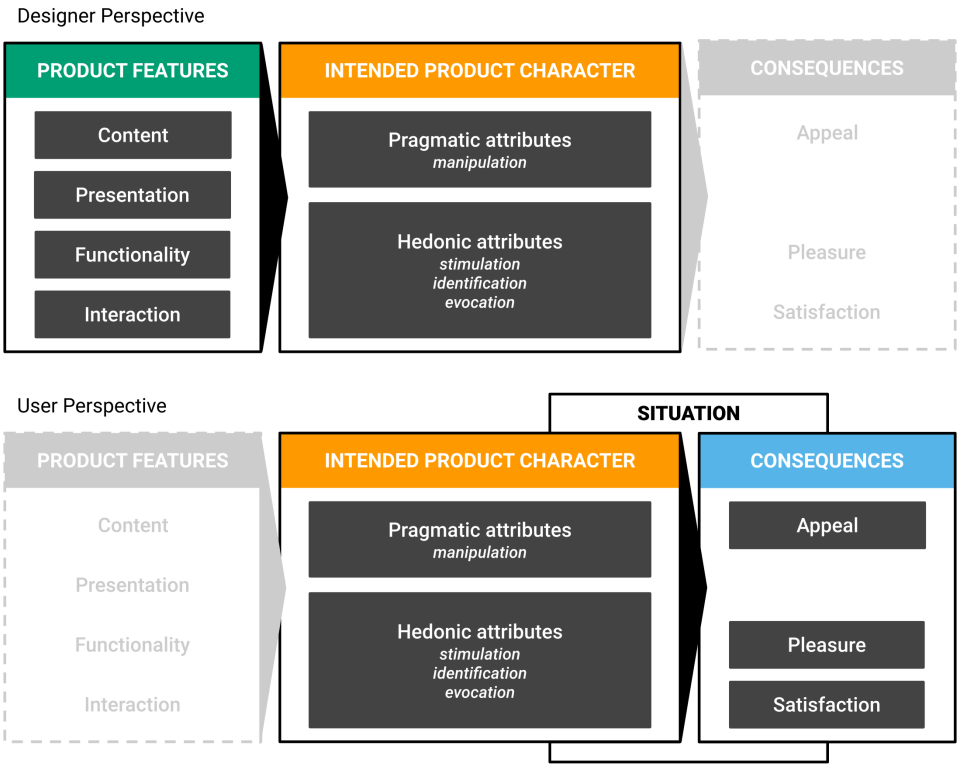


Fig. 4.2 : Perspectives designer et utilisateurs selon le modèle UX d'Hassenzahl (2003)

4.2 Accessibilité numérique

Parmi les nombreuses définitions de l'accessibilité, la plus utilisée est celle que l'on retrouve dans les normes ISO[5,6] : « Degré selon lequel des produits, systèmes, services, environnements et installations peuvent être utilisés par des membres d'une population présentant le plus large éventail possible de caractéristiques et de capacités en vue d'atteindre un objectif spécifié dans un contexte d'utilisation donnée ». Celle de Sylvie Rocque et ses collaborateurs (2011) nous semble la plus proche de l'approche CIF que nous adoptons (section 2.2) : « l'accessibilité universelle est le caractère d'un produit, procédé, service, environnement ou de l'information qui, dans un but d'équité et dans une approche inclusive, permet à toute personne de réaliser des activités de façon autonome et d'obtenir des

5. ISO 9241-171 : 2008 – Ergonomie de l'interaction homme-système – Partie 171 : Lignes directrices relatives à l'accessibilité aux logiciels.

6. ISO 9241-20 : 2008 – Ergonomie de l'interaction homme-système – Partie 20 : Lignes directrices sur l'accessibilité de l'équipement et des services des technologies de l'information et de la communication (TIC).

résultats équivalents ». Ainsi, l'accessibilité vise à améliorer l'accès des utilisateurs au système via l'interface et les caractéristiques matérielles et environnementales du système. Pour beaucoup, elle concerne l'accès par les populations à besoins spécifiques aux systèmes et services dédiés à tout le monde. Les principaux critères de conception à prendre en compte via l'accessibilité concernent les facteurs biomécaniques ou psychophysiologiques favorisant la compatibilité entre le système (caractéristiques matérielles et logicielles) et le système humain (caractéristiques physiologiques et mentales).

Si la création d'un contenu de formation en ligne accessible ne revient pas à uniquement créer du contenu Web accessible, les recommandations et normes autour de l'accessibilité du Web constituent une fondation indispensable à la conception de dispositifs *e-learning*. Le consortium international W3C qui supervise depuis son avènement les méthodes et techniques pour développer et utiliser le Web s'est intéressé très tôt à cette problématique de l'accessibilité numérique et a développé des recommandations pour les outils de développement, les logiciels des utilisateurs et les contenus (Web Content Accessibility Guidelines – WCAG, Campbell et al., 2018) qui sont devenues normes ISO par la suite[7]. Publiées pour la première fois en 1999, puis réactualisées dans leur version 2.0 en 2008, elles sont organisées autour de quatre grands principes :

- Le contenu doit être Perceptible : les informations et les composants de l'interface utilisateur doivent être présentés à l'utilisateur de façon à ce qu'il puisse les percevoir ;
- Le contenu doit être Utilisable : les composants de l'interface utilisateur et de navigation doivent être utilisables ;
- Le contenu doit être Compréhensible : les informations et l'utilisation de l'interface utilisateurs doivent être compréhensibles ;
- Le contenu doit être Robuste : le contenu doit être suffisamment robuste pour être interprété de manière fiable par une large variété d'agents utilisateurs, y compris les technologies d'assistance.

Pour chacun de ces principes, un ensemble de consignes sur la façon de satisfaire à un critère de succès spécifique pour une technologie particulière ainsi que de l'information générale à propos de l'interprétation d'un critère de succès est donné sous forme de règles opérationnelles [8]. Malheureusement, ces recommandations sont encore trop peu

7. ISO/IEC 40500 :2012 - Technologies de l'information - Règles pour l'accessibilité des contenus Web (WCAG) 2.0

8. Par exemple, règle 1.1 : proposer des équivalents textuels à tout contenu non textuel qui pourra alors être présenté sous d'autres formes selon les besoins de l'utilisateur : grands caractères, braille, synthèse vocale,

connues et donc trop peu appliquées tant au niveau international que français. En France, le Référentiel Général d'Accessibilité pour les Administrations[9] (RGAA) propose une traduction opérationnelle des normes ISO-WCAG et fournit une méthodologie de test des sites Web. Une étude publiée en 2014 par l'association BrailleNet[10], et qui portait sur l'accessibilité d'environ 600 sites publics français, a révélé que seuls 18 % d'entre eux possédaient une déclaration de conformité, 4 % une attestation et que, au final, un seul site était réellement sans erreur.

Les travaux récents produits par le groupe de travail *Cognitive and Learning Disabilities Accessibility Task Force*[11] du W3C est une approche prometteuse en matière d'amélioration de l'accessibilité pour les personnes présentant des troubles cognitifs. Reposant sur une méthodologie de recherche utilisateur, ces travaux proposent une taxonomie de huit fonctions cognitives (*e.g.*, attention, fonctions exécutives, connaissance, langage, *etc.*) appliquée à huit des conditions médicales les plus courantes (*e.g.*, Déclin cognitif lié à l'âge, TDAH, troubles du spectre autistique, *etc.*) et fournit quelques suggestions et techniques à la fois globales et spécifiques pour la création de contenu Web. Néanmoins, ce travail qui ne fait que commencer, ne couvre pas encore l'utilisation du Web pour des activités spécifiques telles que l'apprentissage.

4.2.1 Cas particulier des MOOCs

Concernant les plateformes de MOOC, il est aussi nécessaire de couvrir les besoins d'accessibilité liés aux outils qui permettent d'accéder au contenu de cours comme les lecteurs multimédia. Dans le cadre du Web, ces derniers font parti des agents utilisateurs (*user agents*) qui sont les « logiciels qui récupèrent, rendent et facilitent l'interaction de l'utilisateur final avec le contenu Web »[12]. Ainsi, des règles spécifiques à ces agents, les User Agent Accessibility Guidelines 2.0 (UAAG), ont été établies pour améliorer l'accessibilité des interfaces utilisateur et leur capacité à communiquer avec d'autres technologies, y compris les technologies d'assistance. Ayant pour but principal de guider le développement de ces logiciels, elles peuvent aussi servir de critères d'évaluation de l'accessibilité des lecteurs multimédia.

---

symboles ou langage simplifié. Source : https ://www.w3.org/Translations/NOTE-UNDERSTANDING-WCAG20-fr/text-equiv.html

9. https ://references.modernisation.gouv.fr/rgaa-accessibilite/

10. https ://www.braillenet.org/accessibilite-numerique/publications-braillenet/

11. https ://w3c.github.io/coga/user-research/

12. *A user agent is any software that retrieves, renders and facilitates end user interaction with Web content, or whose user interface is implemented using Web technologies*. W3C Definition of User Agent. https ://www.w3.org/WAI/UA/work/wiki/Definition_of_User_Agent. 16 Juin 2011. Accès le 29 Septembre 2019.

Néanmoins, peu d'études ont été menées autour de l'accessibilité des lecteurs multimédia. En 2011, Lourdes Moreno et ses collaborateurs (2011) ont proposé une méthode d'évaluation du degré d'accessibilité à partir d'une sélection de recommandations des UAAG du W3C. Son application à trois lecteurs multimédia[13] a montré que bien qu'ils respectent certaines des exigences d'accessibilité en proposant certaines fonctionnalités (*e.g*, sous-titrage, raccourcis clavier, *etc.*), aucun d'entre eux n'atteignaient les standards minimum. Dans un rapport récent, publié à la suite d'un projet de recherche visant à améliorer l'accessibilité des lecteurs multimédia, Marie Rougeaux et ses collaborateurs (2015) présentent les avantages et les inconvénients de dix lecteurs multimédia, dont trois en ligne. Leurs résultats révèlent un certain nombre de problèmes d'accessibilité récurrents, notamment au niveau de la navigation en raison d'une interface surchargée ou de l'affichage soudain d'annonces qui perturbent la lecture vidéo. Cependant, ils ne présentent aucun des critères d'évaluation utilisés, empêchant leur réutilisation pour évaluer d'autres lecteurs ou mesurer l'évolution de ceux présentés.

Ces différentes études montrent ainsi que l'accessibilité des lecteurs multimédias reste principalement évaluée à travers les recommandations de la Web Accessibility Initiative (WAI) : WCAG, UAAG ou Authoring Tools Accessibility Guidelines (ATAG). Bien que ces méthodes soient efficaces pour mettre en lumière les problèmes d'accessibilité les plus courants (et en particulier les déficiences sensorielles et/ou physiques), plusieurs études ont montré que leur validité et leur fiabilité sont souvent surestimées (Power et al., 2012 ; Brajnik et al., 2012). La diversité des contenus diffusés par ces services et les différentes raisons pour lesquelles les utilisateurs les utilisent exigent que les besoins d'accessibilité soient pris en compte au niveau individuel. En dehors des problèmes d'observance ou de limitation des standards actuels dans les systèmes MOOCS, la question de leur accessibilité aux déficiences cognitives demeure une question totalement ouverte et sans réponse à ce jour. La section suivante présente les modèles et méthodes de conception en lien avec l'accessibilité, et sur lesquels notre travail s'appuie.

4.3 Approche Design en Accessibilité

Les concepts d'*Universal Design* (Mace, 1991), *Universal Usability* (Shneiderman, 2000) ou de *Design for All* (Stephanidis & Salvendy, 1998) sont issus de la volonté d'offrir des espaces physiques ainsi que des outils utilisables par une grande majorité de la population à travers la recherche d'une solution unique pour tous. Cependant, cet idéal se confronte au mythe de « l'utilisateur moyen » et d'une vision utopique de capacités communes que

13. Youtube (https ://www.youtube.com/), BBC iPlayer (https ://www.bbc.co.uk/iplayer) et CCPlayer (http ://ncamftp.wgbh.org/).

partageraient tous les utilisateurs. Dès lors, ces approches trop génériques entrainent le risque de négliger certains besoins spécifiques des personnes handicapées et par conséquent de ne pas tenir compte des spécificités induites par des troubles. À l'inverse, les concepts dérivés des approche de conception inclusive (*Inclusive Design*) mettent l'accent sur les facteurs d'exclusion, afin de trouver des solutions qui les éliminent (Keates et al., 2000). Hélas, cette approche suppose une anticipation irréaliste de tous les obstacles à l'inclusion des personnes handicapées et ne tient pas compte de la variabilité intra- et inter-individuelle. Pour répondre à ces limites, Jacob Wobbrock et ses collaborateurs (2011) suggèrent de reconsidérer la question de l'accessibilité sur la capacité plutôt que sur le handicap afin d'adapter un système à ce qu'une personne peut et veut faire.

4.3.1 Ability-Based Design

Les principes de conception qui s'inscrivent dans l'approche Ability-based design (Wobbrock et al., 2011) sont fondés sur trois principes :

- Posture (*Stance*) : les *designers* devraient se concentrer sur ce qu'une personne peut faire au lieu de ce qu'une personne ne peut pas faire, et aborder les questions d'accessibilité en concevant des systèmes flexibles qui peuvent être adaptés aux personnes sans avoir à modifier leur corps, leurs connaissances ou leur comportement ;
- Interface : l'interface utilisateur doit pouvoir être modifiable (manuellement ou de manière automatique) pour s'adapter aux capacités de chaque utilisateur et en fonction de l'utilisation attendue ;
- Système : à travers l'analyse des interactions en temps réel, le système doit pouvoir modéliser et prédire l'évolution des performances des utilisateurs. En fonction du contexte, une baisse de celles-ci pourrait ainsi être compensé par un ajustement des paramètres de l'interface.

En proposant différentes options pour adapter l'interface plutôt que d'imposer une interface spécialement conçue pour elles, cette approche est ainsi moins stigmatisante pour les personnes handicapées et est donc intrinsèquement inclusive[14] (Faucett et al.,

14. Pour illustrer cette dimension inclusive, l'auteur rappelle que les effets de contextes d'utilisation d'une interface peuvent être semblables à de nombreuses situations de handicap : un marcheur privé de l'usage d'une main tenant son sac doit interagir avec une seule main sur son téléphone, le conducteur d'automobile doit interagir avec son système d'aide à la navigation en étant amputé de ses ressources cognitives déjà allouées à l'analyse des informations environnantes, *etc.*

2017). En relation avec les méthodes de conception inclusive (Holmes, 2018), les fonctions d'accessibilité ne devraient pas être considérées comme des correctifs appliqués aux systèmes existants, mais comme des fonctions centrales qui permettent des adaptations pilotées par les utilisateurs (Edwards, 1995). Cette approche présente de nombreux avantages. Tout d'abord, dans sa définition même, elle préconise que l'accessibilité doit être prise en compte dès le début du processus de conception. L'accent mis sur la conception d'interfaces adaptables fait écho à la théorie de l'auto-détermination. En effet, une interface qui offre aux utilisateurs des options qui leur permet de l'ajuster en fonction de leurs capacités leur donne l'opportunité d'avoir un contrôle autodéterminé sur son utilisation. Toutefois, compte tenu de la diversité des capacités physiques et cognitives, la mise en application de ces principes nécessite de déterminer les éléments qui sont les plus pertinents pour permettre cette configuration.

4.3.2 Approches et modèles pour la conception d'Interfaces Utilisateur

Pour répondre à cette question, de nombreux modèles ont été proposés pour relever les défis liés à la diversité des utilisateurs et des contextes d'utilisation. Initialement apparus avec la généralisation des appareils mobiles, leurs objectifs visaient en premier lieu à répondre à la nécessité de fournir un contenu riche sur des appareils aux caractéristiques variées et a conduit à l'élaboration de plusieurs cadres pour définir les modalités d'adaptation des interfaces utilisateur au contexte d'utilisation. Parmi ceux-ci le cadre conceptuel Cameleon a été proposé par Gaëlle Calvary et ses collaborateurs (2003) pour la conception de modélisation d'interfaces utilisateur sensibles au contexte. Celui-ci décrit un processus suivant quatre niveaux d'abstraction :

- Le niveau Tâches et Concepts (*Tasks and Concepts*) se rapporte aux spécifications du système en termes de tâches que l'utilisateur final pourra exécuter, et comprend une définition des objets du domaine d'application qui sont manipulés par ces tâches ;
- L'Interface Utilisateur Abstraite (*Abstract User Interface* – AUI) décrit l'interface utilisateur en unités de présentation indépendantes de toute modalité d'interaction (*e.g.*, pointeur souris, clavier, écran tactile, *etc.*). Chaque unité se compose d'un environnement de présentation (*e.g.*, une fenêtre) qui permet l'exécution d'un ensemble de tâches sémantiquement cohérente ;
- L'Interface Utilisateur Concrète (*Concrete User Interface* – CUI) est une réification de l'AUI précédemment définie qui décrit l'interface utilisateur en termes d'interactions abstraites, indépendamment de toute plate-forme informatique. À cette étape, l'interface est encore considérée comme une maquette et reste donc modifiable ;

- L'Interface Utilisateur Final (*Final User Interface* – FUI) est l'implémentation logicielle de la CUI. En conséquence, à cette étape du processus, l'interface utilisateur est entièrement liée à une plateforme informatique particulière.

Ce cadre permet de concevoir des modèles archétypaux fortement dépendants d'un système et d'un domaine d'activité donné à partir de modèles ontologiques qui en sont indépendants. En fonction du contexte d'utilisation, la spécification d'un modèle d'adaptation permet de décrire les conditions dans lesquelles l'interface utilisateur peut être ajustée. Bien que ces approches n'aient pas été conçues pour répondre spécifiquement aux problématiques d'accessibilité, en promouvant des principes qui permettent de définir des adaptations d'interface pouvant répondre aux besoins et aux préférences des utilisateurs, elles offrent des outils mobilisables au sein d'approches de conception inclusive tel que le Ability Based Design. Par voie de conséquence, un certain nombre de modèles visant à répondre aux besoins des personnes handicapées ont émergé des concepts développés dans ces approches.

En 2013, la WAI a présenté MARIA (*Model-based language for Interactive Applications*[15]) à destination des concepteurs d'interface (*UI designers*), leur permettant de définir la sémantique de l'interaction indépendamment des spécificités et des contraintes d'un dispositif ou d'un langage de programmation particulier. De manière similaire, Raúl Miñón et ses collaborateurs (2014) utilisent le cadre offert par le *USer Interface eXtensible Markup Language* (UsiXML – Limbourg et al., 2004) pour proposer une approche méthodologique qui permet d'intégrer les recommandations d'accessibilité dans les étapes de conception d'interfaces. En guise de preuve de concept, ils présentent l'application de ce cadre à des modèles abstraits qui peuvent être utilisés pour générer des interfaces dont les fonctions de navigation peuvent être adaptées aux besoins de personnes handicapées selon la nature de leurs troubles. Ils soulignent en conclusion que le recours à cette méthode d'élaboration garantit que les exigences en matière d'accessibilité soient intégrées au processus de conception au tout début.

De façon similaire, María González et ses collaborateurs (2015) présentent une démarche de conceptualisation pour un lecteur multimédia accessible en suivant le cadre CAMELEON. Ils décrivent ainsi un ensemble de recommandations d'accessibilité issu de l'examen des UAAG et s'appuie sur un User Interface Design Language (UIDL) pour généraliser leur utilisation à différents contextes. Bien que leur proposition nécessite une sélection manuelle de recommandations, elle permet de clairement faire apparaître la problématique du respect des normes d'accessibilité tout en encourageant à suivre une approche de conception centrée utilisateur pour mieux définir le contexte d'utilisation et faciliter le processus d'intégration.

15. MARIA est un métalangage informatique basé sur l'*Extensible Markup Language* (XML) – https ://www.w3.org/TR/REC-xml/ .

4.3.3 Méthodes de conception (centrée utilisateur) de SNE accessibles

La Conception Centrée Utilisateur (*User Centered Design*) vise à intégrer le point de vue de l'utilisateur dans le processus de développement logiciel dans le but d'obtenir un système utilisable (Norme ISO 9241-210 : 2019). Ainsi, comme elle repose sur une large compréhension des besoins de l'utilisateur et des contextes d'utilisation possibles, il est fondamental d'impliquer les utilisateurs finaux le plus tôt possible dans le processus de conception afin de leur proposer une large gamme d'adaptations.

Betsy Phillips et Hongxin Zhao (1993) ont montré que les personnes handicapées sont plus susceptibles de cesser d'utiliser une technologie d'assistance lorsque leurs opinions ne sont pas prises en compte lors du processus de conception, ce qui renforce l'importance de la prise en compte des besoins et des préférences des utilisateurs autant que leurs attentes et leurs attitudes lors de la conception des dispositifs technologiques d'assistance (Newell et al., 2011). Malheureusement, la plupart des études consacrées à l'accessibilité des MOOCs n'impliquent pas les personnes handicapées dans les processus de conception et reposent essentiellement sur des recommandations définies par les auteurs.

Afin d'accompagner le processus de conception de dispositifs de formation en ligne, André Tricot et Fabienne Plégat-Soutjis (2003) proposent d'adopter une approche de conception centrée utilisateur pour fournir les outils nécessaire à l'élaboration de représentations partagées des buts et des processus qui passe par : *(1)* la description de la situation d'apprentissage proposée (objectif et matériel proposé), *(2)* la description des activités cognitives impliquées dans le traitement de cette situation, *(3)* la description des connaissances que possèdent les individus qui traitent cette situation, *(4)* la recherche dans la littérature empirique des moyens qui permettent la mise en œuvre de ces activités cognitives sans en changer le but d'apprentissage et *(5)* leur application et adaptation à cette situation. Dans le cadre des dispositifs comme les MOOCs, la conception prend le plus souvent la forme d'un processus collaboratif qui regroupe des acteurs qui présentent des compétences et des contraintes différentes (*e.g.*, enseignants et autres producteurs de contenu, techniciens qui déploient les plateformes, *etc.*). De fait, chacun peut avoir une définition des buts et du processus différents. S'ajoutent à cette situation les multiples définitions de l'accessibilité que les intervenants peuvent avoir (Yesilada et al., 2015) et qui influencent la façon dont ils perçoivent leur rôle dans sa mise en œuvre (Seale, 2013). Dans ce cadre, nous nous saisissons des méthodes de conception participative.

4.3.4 Conception participative

La Conception Participative (CP) correspond à un processus de conception de systèmes interactifs qui implique l'ensemble des parties prenantes tout au long des différentes étapes de conception (Kensing & Blomberg, 1998 ; Sanders, 2003). Ayant déjà montré leur efficacité dans le champ des IHM (Spinuzzi, 2005), les méthodes de conception participative sont largement utilisées pour la conception de technologies d'éducation inclusives (Borges et al., 2016) ou de technologies d'assistance adaptées aux besoins des utilisateurs, en cohérence avec les recommandations en Ability-based design. De plus, elles ont montré que le design des éléments d'interface et le design du contenu sont entremêlés (Fischer & Herrmann, 2011), ce qui est d'autant plus important en accessibilité puisqu'une barrière dans l'une ou l'autre partie rend l'ensemble inaccessible (*e.g.*, un bouton qui n'est pas opérable via clavier ou des informations importantes uniquement disponibles dans un format non textuel rendent le tout inaccessible).

Cette méthode a pour postulat que les compétences et les expériences des utilisateurs doivent être présentes dans la conception des produits. Les principales parties prenantes sont alors invitées à partager les expériences et les difficultés rencontrées sur des domaines spécifiques, afin de concevoir des idées et des actions pour y remédier. Au cours de l'exploration initiale et de la définition du problème, les utilisateurs qui participent à cette co-construction aident ainsi à définir le problème et à faire émerger des idées pour le résoudre. Pendant le développement, ils aident à évaluer les solutions proposées et les prototypes qui en découlent. Impliquer les utilisateurs dès le début de la conception et les impliquer tout au long du processus ajoute une légitimité dans la démarche centrée utilisateurs, conçue par et pour les utilisateurs, optimisant ainsi l'adaptation des outils en fonction des usages que les futurs utilisateurs en feront.

Deuxième partie

Problématique et Méthode

Il ne saurait exister pour la science des vérités acquises. Le savant n'est pas l'homme qui fournit les vraies réponses ; c'est celui qui pose les vraies questions.

Claude Lévi-Strauss, Le cru et le cuit (1964)

5

Problématique du travail

Au cours des dernières années, les plateformes d'apprentissage en ligne sont devenues de plus en plus importantes dans nos systèmes d'éducation et de formation, et cela est confirmé par le développement fulgurant des MOOCs. En donnant accès à des contenus d'apprentissage à tous, indépendamment de la situation de l'apprenant, ces plateformes représentent d'excellentes opportunités de formation pour les personnes handicapées. Néanmoins, les trop peu nombreuses études sur leur accessibilité ne sont pas particulièrement positives : dans le cas des déficiences sensorielles et physiques, les normes sont rarement atteintes, tandis qu'en l'absence de normes, aucune mesure n'est réellement mise en place pour les déficits cognitifs. Ainsi, les systèmes numériques éducatifs comme les MOOCs ne permettent pas une inclusion maximale des personnes handicapées. Le domaine clinique comme le domaine éducatif formalisent des modèles de compensation cognitive ou des alternatives pédagogiques mais leurs transpositions aux lecteurs de MOOC n'ont jamais donné lieu à une formalisation, ce qui explique leur manque d'accessibilité.

S'inscrivant dans un programme général d'amélioration de l'accessibilité des SNE, l'objectif global de ce travail doctoral est de développer l'accessibilité numérique des MOOCs afin d'accompagner leur ouverture au plus grand nombre, y compris aux personnes avec un handicap cognitif. Ce travail se fait avec une volonté affirmée d'inclusion : nous ne voulons pas développer des méthodes et des outils destinés aux seules personnes handicapées, mais bien proposer des solutions potentiellement utiles pour l'ensemble des populations

en formation. Précisons aussi que nous ne nous faisons pas les chantres d'un système éducatif qui délèguerait aux outils numériques la responsabilité d'inclusion qui est la sienne. Néanmoins, dans un contexte où celui-ci peine à offrir de manière égale l'accès à l'éducation pour tous, nous sommes convaincus que les dispositifs numériques peuvent ouvrir des portes jusqu'alors closes et, ce faisant, participeront à initier les efforts de réflexes d'inclusion qui doivent être faits par ailleurs.

Ainsi, il nous semble important d'insister sur cette volonté d'inclusion en milieu ordinaire que les SNE pourraient sembler ignorer, voire même contredire. Notre objectif n'est en aucun cas de conserver et encore moins de renforcer l'éventuel isolement d'un apprenant. Au contraire, il s'agit d'aider des étudiants qui sont exclus du système universitaire parce qu'aucune formation ou, plus globalement, aucun système de vie n'est adapté à leurs besoins spécifiques. Nous pensons donc que les formations numériques peuvent s'inscrire comme une première étape de (ré)insertion dans les cursus universitaires en fournissant des éléments manquants, et permettant ensuite de suivre des enseignements de plus haut niveau. Par ailleurs, dans les cas où la situation de handicap empêche toute présence physique sur un lieu d'enseignement, ces outils de formation à distance peuvent contribuer à conserver ou à tisser du lien social, notamment à travers les forums réunissant d'autres apprenants et les enseignants.

À la lumière de ces réflexions, deux questions ont motivé ces travaux doctoraux :

- Quelle est la situation actuelle concernant les SNE en ligne et leur accessibilité vis-à-vis des troubles cognitifs ?
- Comment un lecteur de MOOCs peut-il être rendu accessible aux personnes avec un handicap cognitif ?

5.1 Objectifs scientifiques du travail

Pour répondre à ces questions, trois objectifs scientifiques ont été définis :

- La formalisation des liens entre les troubles cognitifs et les fonctions compensatoires d'accessibilité dans le contexte des SNE, et ceci par un état de l'art visant à recenser les études du domaine pour photographier l'état des connaissances et identifier les avancées qui pourraient être introduites dans notre problématique ;
- Le co-design et le développement d'un lecteur de MOOCs intégrant des fonctionnalités d'accessibilité en lien avec les troubles cognitifs, via une méthode

de conception participative. Ces fonctionnalités seront maquettées et soumises à l'évaluation d'étudiants handicapés sur leurs aspects ergonomiques (utilisabilité, acceptabilité) et motivationnels (auto-détermination) ;

- Enfin, la troisième partie du travail concerne la validation expérimentale de l'intérêt et du bénéfice de nos développement à travers une expérimentation en condition réelle d'utilisation à travers l'utilisation du lecteur au sein d'une plateforme de MOOC.

Dans le chapitre suivant, nous revenons sur les différentes méthodes qui ont été utilisées au cours de ces différents travaux, et présentons les quatre études au cœur de ce travail de recherche.

D'une façon générale, ce n'est pas l'observation des phénomènes rares et cachés, représentables seulement par des expériences, qui conduira à la découverte des vérités les plus importantes ; c'est celle des phénomènes qui sont là sous nos yeux, accessibles à chacun. Aussi la tâche consiste-t-elle moins à voir ce que personne n'a encore vu, qu'à penser, en face de ce que chacun voit, ce que personne n'a encore pensé. Voilà aussi pourquoi il importe beaucoup plus, en cette matière, d'être un philosophe qu'un physicien.

Arthur Schopenhauer, Parerga et Paralipomena (1851)

6

Méthodes générales utilisées

Ce chapitre fait office d'introduction générale aux travaux présentés dans la partie empirique. Afin d'éviter la redondance avec les descriptions des méthodes et outils présentés dans chacun des articles, nous proposons ici de présenter une description globale du travail, qui nous permettra de faire apparaître l'articulation entre les études et les objectifs présentés dans le chapitre précédent.

6.1 Étude 1 : Revue de l'existant en matière d'accessibilité des SNE en ligne pour le handicap cognitif

La première étude (Chapitre 7) présente une analyse des pratiques d'accessibilité des dispositifs de formation en ligne et expose une revue de l'état actuel de la recherche sur l'accessibilité de ces dispositifs soutenant spécifiquement les personnes ayant une déficience cognitive. La recherche bibliographique est une étape indispensable à la réalisation de travaux de recherche. Elle permet tout d'abord d'offrir une vue d'ensemble du sujet que l'on souhaite étudier, ce qui permet de situer sa propre recherche dans un contexte scientifique global et de faire comprendre les forces et les faiblesses des études existantes, à travers l'identification des concepts clés et des méthodologies qui permettent de définir les approches sur lesquelles il s'agira d'appuyer ses travaux. Ainsi, cette revue de l'existant

nécessite une méthodologie rigoureuse. Pourtant, les méthodes traditionnelles de revue subjective de la littérature présentent un certain nombre de défauts qui les empêchent de remplir efficacement ce rôle. Ainsi, ces méthodes ne cherchent pas à obtenir l'ensemble des articles disponibles sur le sujet et, de manière générale, ne présentent pas les méthodes de recherche bibliographique et de sélection des études, ce qui génère un biais qui empêche de s'en saisir pour obtenir une vision objective de la recherche sur le sujet donné (Sindhu & Dickson, 1997 ; Magarey, 2001).

De ce fait, si elles peuvent être utiles pour obtenir rapidement un aperçu général d'un vaste sujet, les méthodes de revue systématique semblent plus appropriées pour obtenir une vision complète de l'état de la recherche sur un sujet donné. La plupart de ces méthodes proposent de suivre un ensemble d'étapes, en commençant par la formulation d'une question de recherche qui servira de base pour l'identification de toutes les études sur le sujet choisi dans des bases bibliographiques identifiées comme pertinentes. Ces études sont ensuite triées selon des critères définis en cohérence avec la question de recherche, puis analysées et synthétisées dans un rapport qui présente les résultats de la revue. Différents outils permettent d'assurer la validité du processus de revue systématique. Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes saisis du référentiel PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) qui définit un ensemble de lignes directrices pour l'analyse et la rédaction de revues systématiques et de méta-analyses.

Concernant l'initiation de la revue systématique, nous nous sommes référés à l'outil PICO qui est habituellement utilisé pour accompagner la formulation des questions de recherche dans le cadre d'interventions cliniques (Oxman et al., 1993). Chaque lettre de cet acronyme permet de définir une des quatre composantes essentielles de la construction de la question de recherche qui initie la recherche bibliographique : (1) Patient (ou Problème) : quelles sont les caractéristiques du patient, de la population étudiée ou du problème posé ? (2) Intervention : quelle est la nature de l'intervention dont nous souhaitons obtenir des renseignements (*e.g.*, test diagnostique, un facteur pronostique, un traitement médicamenteux, *etc.*) ? (3) Comparaison (ou Contrôle) : à quoi doit éventuellement être comparée l'intervention (*e.g.*, à une méthode de référence ou une alternative) (4) **O**bjectifs : quelles sont les issues cliniques, les objectifs attendus ?

6.2 Étude 2 : Conception d'un lecteur de MOOC accessible

La deuxième étude (Chapitre 8) présente les résultats d'un processus de conception participative dans lequel ont été impliqués six étudiants ayant des déficiences cognitives et treize professionnels du handicap et de l'accessibilité. Ce processus a mené à la co-conception de nouvelles fonctionnalités pour améliorer l'accessibilité d'un lecteur MOOC.

Sont également présentés les résultats d'une évaluation d'un premier prototype ainsi que la formalisation d'un cadre intégratif pour la conception de systèmes d'apprentissage en ligne accessibles découlant des différents besoins et lignes directrices qui sont apparus au cours du processus.

Comme toute approche centrée utilisateur, de nombreuses méthodes et outils peuvent être utilisés pour mettre en œuvre une démarche de conception participative comme les *focus group* ou le *brainstorming* (ISO/TSR 16982 :2002, 2002), ce qui permet l'adaptation du processus à une grande diversité de contextes (Halskov & Hansen, 2015). Le processus est itératif et s'articule en général autour de plusieurs phases, dont la compréhension des besoins, la génération de nouvelles idées, le prototypage et l'évaluation (Sanders, 2003). Ce type de conception centrée utilisateur a comme avantage d'intégrer à l'outil les expériences de chacun, et permet ainsi de définir de manière plus précise les besoins réels des futurs utilisateurs. Plus spécifiquement, les méthodes de conception participative permettent de mettre en lumière les aspects invisibles et tacites de l'activité qui peuvent être étudiés non seulement à travers les échanges avec les utilisateurs tout au long du processus de conception, mais aussi à travers l'implication d'experts (*e.g.*, chercheurs, praticiens, designers, *etc.*) dans la co-conception qui, de façon itérative, permet d'affiner la compréhension de chacun sur les situations d'usage (Spinuzzi, 2005).

Ce travail a donné lieu à un premier prototype de lecteur de MOOC accessible nommé Aïana. Son évaluation dans le cadre d'une expérimentation dans un environnement écologique est présentée dans les études qui suivent.

6.3 Études 3 et 4 : Validation empirique du lecteur Aïana

Afin de valider réellement l'intérêt et le bénéfice de ces développements pour les personnes handicapées, il était indispensable de conduire des expérimentations de terrain. La nature même des MOOCs nous invite à les réaliser dans un contexte de très grande ampleur (plusieurs milliers de participants).

Le chapitre 9 présente les résultats d'une étude préliminaire de faisabilité pour l'évaluation à grande échelle du prototype d'Aïana dans le cadre de son utilisation pour diffuser un MOOC sur la plateforme nationale FUN. L'évaluation de notre dispositif visait à analyser les progrès d'acquisition auprès d'utilisateurs finaux avec ou sans handicap, ainsi que l'évolution de l'utilisabilité perçue du lecteur et du sentiment d'auto-détermination perçu à travers l'utilisation de mesures répétées. Les performances en terme d'apprentissage sont mesurées à partir des scores obtenus aux évaluations de chaque séquence du MOOC. L'utilisabilité est évaluée avec le questionnaire SUS présenté en section 3.3.2. Pour l'auto-

détermination, un questionnaire inspiré des trois dimensions de Vallerand (1997) a été utilisé.

S'appuyant sur cette étude pilote, l'étude décrite dans le chapitre 10 constitue une évaluation plus complète du prototype d'Aïana, à la fois en terme de nombre de participants, mais aussi par l'ajout de mesures de charge cognitive perçue (utilisation du questionnaire NASA-LTX, Hart & Staveland, 1988) et par l'exploitation des jeux de données d'interaction des utilisateurs à travers l'utilisation d'outils développés dans le domaine des *Learning Analytics* (LA).

6.3.1 Learning Analytics

Le domaine des LA étudie à grande échelle les mécanismes d'apprentissage pour, en retour, améliorer l'expérience des apprenants. Il peut-être défini comme « la mesure, la collecte, l'analyse et la communication de données sur les apprenants et leurs contextes, dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage et les environnements dans lesquels il se produit[1] » (Siemens & Long, 2011). La majorité des études en LA menées sur les MOOCs entre 2014 et 2017 se focalise sur l'étude des taux de rétention et d'attrition des apprenants dans les SNE (Zhu et al., 2018). Le taux de rétention est un indicateur très générique, utilisé à la fois pour sonder différents comportements de l'apprenant tels que sa motivation mais aussi la qualité en terme d'apprentissage. D'autres critères sont aujourd'hui utilisés pour des analyses plus fines de comportement, notamment par l'utilisation de méthodes prédictives basées sur les LA qui permettent d'établir des liens causaux entre différents comportements. Par exemple, la motivation de l'apprenant quantifié par le nombre de messages sur les forums de discussion, l'assiduité à répondre aux évaluations intermédiaires ou la durée de lecture des vidéos permet de prédire la performance finale d'apprentissage (Ramesh et al., 2013). Ces critères plus détaillés sont aussi aujourd'hui éclairés par des LA plus qualitatives comme l'ajout de questionnaires évaluant plus spécifiquement les différentes facettes de l'expérience de l'apprenant (*e.g.*, difficultés ressenties, niveau initial de connaissance, *etc.*) ou des contenus pédagogiques (*e.g.*, longueur des cours, structuration pédagogique en séquences, *etc.*).

Néanmoins, peu d'études en LA se sont intéressées à l'accessibilité comme le décrivent deux récentes revues systématiques sur cette question publiées en 2018 (Zhu et al., 2018 ; Viberg et al., 2018). La seule étude à notre connaissance est celle de (Cooper et al., 2016a) ayant porté sur le taux de complétion des évaluations pédagogiques. Elle montre que les étudiants handicapés avaient un taux de complétion très inférieur à celui des étudiants sans

1. Traduction personnelle de la version originale : *The measurement, collection, analysis and reporting of data about learners and their contexts, for purposes of understanding and optimizing learning and the environments in which it occurs.*

handicap. Ce dernier pourrait donc constituer une nouvelle mesure d'accessibilité. Or, ce critère est lié à l'engagement ou motivation de l'étudiant, qui sont susceptibles de varier en dehors des problèmes d'accessibilité. De fait, il serait donc plus pertinent d'extraire des indicateurs directs de l'utilisation de l'interface pour développer des métriques liées à l'accessibilité des SNE, et indépendants de la motivation des apprenants handicapés.

La figure 6.1 offre une représentation des différentes étapes de la démarche centrée utilisateur que nous avons suivie, en y inscrivant chacune des études réalisées dans ce travail doctoral. La troisième partie de ce document présente donc les résultats de ces grandes étapes de conception et de validation expérimentale, par le biais de quatre articles scientifiques publiés ou soumis dans des journaux et des conférences internationales.

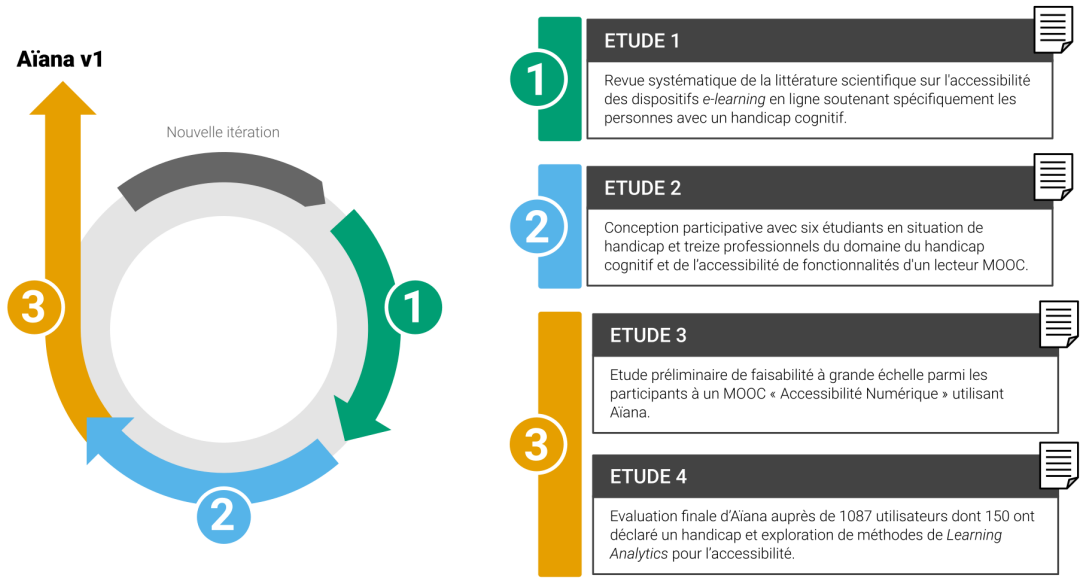


Fig. 6.1 : Processus de conception centrée utilisateur et études réalisées.

Troisième partie

Partie Empirique

7

Accessibilité des systèmes e-learning

Dans cette étude, l'objectif principal était d'établir un état de l'art sur les différentes recherches concernant l'accessibilité des dispositifs de *e-learning* en ligne pour les personnes présentant des troubles cognitifs. Plus précisément il s'agissait de recenser les cadres théoriques usuellement employés ainsi que les méthodologies de conception et de validation les plus courantes dans ce domaine. Cette étude a fait l'objet d'une publication dans le journal *Computers & Education*.

7.1 Introduction **74**
7.2 ICF Framework and cognitive impairments **75**
7.3 Related Work **77**
7.4 Questions **79**
7.5 Survey Methodology **79**
7.6 Results **83**
7.7 Discussion and Recommendations **96**
7.8 Limitations **100**
7.9 Conclusion **100**

7.1 Introduction

There are more than one billion persons with disabilities (PWDs) in the world (World Health Organization, 2011). Although the situation has evolved, notably through political decisions aimed at combating discrimination, there are still many areas where the opportunities for persons with disabilities lag behind those for society as a whole, as demonstrated by WHO reports. It is particularly the case for education : the representation of PWDs in education decreases drastically from primary school to higher education, leading to a lower level of qualifications. This situation is one of the causes of an adverse social consequence in the professional world where the unemployment rate for PWDs is much higher than the overall average (World Health Organization, 2011). It is even more important for persons with intellectual deficiencies or cognitive impairments because they are the least likely to be engaged in school or work. Therefore, the access barriers to learning opportunities reinforce the social exclusion of PWDs, as denounced by the CRPD ratified by 177 countries (Convention of Rights of People with Disability ; UN General Assembly, 2007).

Advances in computer-based education are seen as an effective way of remedying this situation by providing assistance and compensation for learners with specific needs. Indeed, there has been a real revolution in computer-based approaches to education, driven by the explosive growth in Massive Open Online Courses (MOOCs) : starting from 0 in 2011, at the end of 2017 there were more than 81 million registered users around the world[1]. Such online e-learning systems radically change the way people approach learning and training. They offer access to learning content to everyone, regardless of where the learners are, and make these learners more active across their lifespan by allowing them to choose how, when and where to study. Since these platforms are available around the clock, learners can progress through the course at their own pace, reviewing concepts that have not been fully grasped and skipping those that have. These systems are also compatible with life-long training, allowing people to gain new skills and knowledge in order to adapt to an ever-changing job market. These factors provide great opportunities for creating learning environments which are beneficial to PWDs, notably those with cognitive impairments and limited learning activities, as they may offer the flexibility to adapt their training program to meet their specific needs.

Schelly et al. (2011) have shown that a growing number of students are reporting specific learning disabilities, attention deficit and hyperactivity disorders, or mental/ emotional disabilities. Such disabilities are encountered in numerous developmental (autism, epilepsy, attention disorders and hyperactivity, psychiatric diseases, *etc.*) or acquired (traumatic brain

1. https ://www.class-central.com/report/mooc-stats-2017/

injury, stroke, tumor, *etc.*) neuropsychological disorders and can appear when aging (Craik & Salthouse, 2011). Although these impairments are common, they are often referred to as invisible disabilities because they are generally not apparent or well understood outside medical or specialized environments.

These two observations raise a question : are online e-learning systems sufficiently accessible to people with cognitive impairments, and do such people benefit from the use of these technologies ? The purpose of this article is to explore this question and thus to contribute to the field by reviewing the current state of research into the accessibility of online e-learning that supports individuals with cognitive disabilities.

7.2 ICF Framework and cognitive impairments

In this paper, we based our work on a functional view of disability following the biopsychosocial framework proposed by the International Classification of Functioning, Disability and Health, which is backed by the WHO and is widely used by disability experts (World Health Organization, 2001).

Firstly, this framework depicts disability as the negative outcome from a person's interaction with their social and physical environments. This emphasizes the role of environmental factors in creating disability and thus in rehabilitating PWDs through the use of accessibility supports provided in all environments (social, physical and digital).

Secondly, due to individual variability within a single medical condition as well as across medical conditions, the ICF defines disability using three functional components (Figure 7.1) : body function impairments/deficiencies, activity limitations and social participation restrictions. Each component refers to a specific classification. Body functions (related to body structures) cover a range of eight categories from sensory and pain functions to neuromusculoskeletal and movement-related functions. One of these categories is the mental functions including two main subcategories as follows : global mental functions (awareness, intellectual functioning, executive functioning, orientation, personality, *etc.*) and specific mental functions (selective attention, memory, learning, language, calculation, praxis, *etc.*). Cognitive impairments refer to impairments of mental functions, and they are thus either global (*e.g.*, intellectual deficiencies or executive disorders, *etc.*) or selective (*e.g.*, dysphasia, amnesia, apraxia, *etc.*). Activities refer to all the activities performed by an individual in everyday life and they include seven subcategories including "Learning and Applying knowledge". Social participation refers to roles of an individual related to social and civic life (education, places of work and employment, home, family, *etc.*).

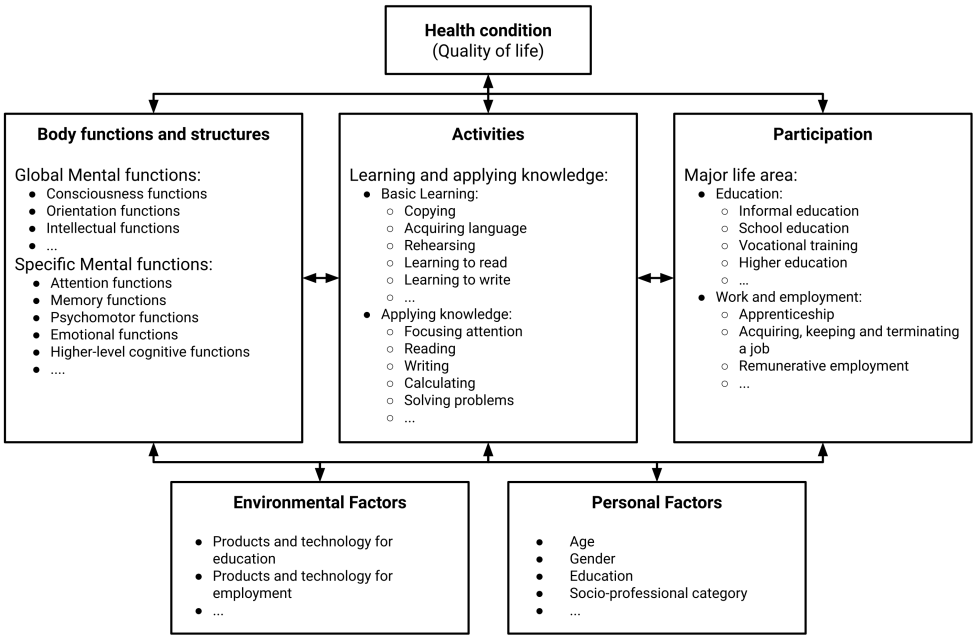


Fig. 7.1 : Representation of the ICF with exemples

Thirdly, the ICF stresses the bidirectional relationships between the three components of disability. If limited activities and restricted social participation are basically the consequences of the impairment of body functions, they are also the cause of functional impairments. Hence, the more an individual is prevented from taking a social role, the more he or she is prevented from having opportunities to learn and to engage in activities related to this social role, and the more body functions related to these activities remain inoperative or deteriorate through non-use.

The advantage of the ICF as a universal framework is that it disregards medical conditions to focus on three components of disability. The functional view of impairments is a leverage effect on mutualizing environmental supports within the same functional impairments despite different medical conditions. For instance, reminders are effective memory supports for persons with memory impairments, irrespective of medical conditions (epilepsy, brain traumatic injuries, Alzheimer's disease, schizophrenia, *etc.*).

In the domain of education, global and specific cognitive impairments are widely documented as strongly affecting learning activities and are thus the principal cause of school exclusion. Global cognitive impairments severely impact all the activities related to learning while specific impairments often selectively impact learning activities. In both cases, learning limitations have negative outcomes on the school career as well as the

achieved level of professional qualification. Hence, this creates the necessity to develop research into accessible learning environments for people with cognitive impairments, whilst taking into account the specificity of the growing phenomenon of e-learning.

7.3 Related Work

In this section, as a rationale of our systematic review, we present prior literature reviews related to our research question with a focus on systematic reviews. Most of the previous literature reviews we retrieved do not focus on the accessibility of online e-learning platforms, but rather on the use of assistive technologies in all learning situations.

In a review of 118 articles from education technology journals, Istenic Starcic & Bagon (2014) showed that the field of inclusion of people with special needs has experienced significant growth since 2000. The majority of the studies they analyzed investigated mainly the use of technology-supported learning with regard to a particular disability group, and only a few recent papers have addressed universal design. In contrast, Liu et al. (2013) analyzed the research trends relative to the use of learning technology in special education. They found that the most commonly used technologies in that context are computer-based ones (*e.g.*, web-based mentoring, use of laptops and computer-based learning games). They observed that technology is mostly commonly used to help students with intellectual deficiencies to acquire basic academic knowledge, displaying a will to investigate the benefits of such technology for this particular population and focusing on evaluating the effectiveness of learning technologies through experimental studies. In the same vein, there have been reviews exploring the potential benefits of technology-based interventions for students with autism spectrum disorder (Knight et al., 2013) or limited learning capabilities (Perelmutter et al., 2017). As shown by Liu et al. (2013), all these different literature reviews show a general research trend oriented towards specific disorder-related disabilities (Learning Disabilities, Autism Spectrum Disorder, Attention Deficit Disorder, *etc.*). However, this approach is limited in its inclusiveness, as studies tend to examine the use of one specific technology for one specific medical condition. As cognitive impairments are encountered in numerous developmental and acquired neuropsychological syndromes, the classification of assistive technologies by cognitive functions allows better prescription according to a profile of cognitive deficits. For instance, Gillespie et al. (2012) used the ICF to classify assistive technologies for daily living activities and showed the effectiveness of such a classification to understand the relationship between technology and assisted cognitive functions.

Some studies have tried to overcome this situation by aiming at specific learning activities. Yet, they still focus on specific limitations of learning activities. For instance,

Khowaja & Salim (2013) carried out a review of computer-based intervention for reading comprehension of children with autism. They found 11 articles and showed that it was difficult to evaluate the benefits of these systems due to the heterogeneity of participants, although the studies show mostly positive results. This lack of evidence of effectiveness is also found in Peterson-Karlan (2011) whose literature review focused on technology to support writing for students with learning and academic difficulties. The overall research trend elicited by these different studies seems to go towards the validation of existing technologies (*e.g.*, word processing, speech recognition) used to overcome specific learning difficulties. Thus, it seems that there is a lack of studies which investigate the design and evaluation of accessibility solutions. This is why we will focus on e-learning as a whole, rather than on a specific technology. Additionally, the literature reviews presented do not really focus on the theoretical background related to special education (*e.g.*, Universal design for learning, Rose & Meyer (2002)) or on the accessibility standards (*e.g.*, W3C guidelines, Web Accessibility Initiative (2018)) that lead to the choice of a particular technology, which makes research into accessibility for e-learning inconsistent.

Finally, despite the fact that the use of online e-learning systems has grown considerably over recent years, few studies investigate their accessibility for persons with cognitive impairments. In this online context, and specifically for MOOCs, Sánchez Gordón & Luján-Mora (2017) showed that the majority of studies were published after 2013, underlining the fact that the accessibility of these platforms is a very recent preoccupation. They also showed that most of these studies focused on sensory-impaired learners and rarely take into account cognitive impairments. An interesting shift towards user-centered design strategies for MOOCs can be found in two chapters by Mendoza-Gonzalez (2016) (respectively by Sánchez Gordón & Luján-Mora, pp. 115-141 ; González & Rodríguez, pp. 157-175). The former promoted a three-layer architecture to adapt the content of the course to the learner's preferences, needs and competences following a set of predefined adaptation rules. The latter promoted semi-transparent layers in front of the actual MOOC interface to assist cognitive-impaired learners by indicating to them how to interact with the different elements in the interface using simple phrases and explicit interaction. However, it is noteworthy that the proposals put forward do not use a participatory design process and are basically self-made recommendations without empirical assessment. Consequently, these contributions are significant but not sufficiently underpinned by all the findings from research studies already performed in the field of accessible e-learning.

7.4 Questions

Using a systematic literature search procedure, our goal is to explore the theoretical and applied aspects of accessibility of e-learning literature and describe the nature of the existing research activities with a focus on studies geared to individuals with cognitive impairments. The overview of the field will be addressed in terms of factual information through four sets of research questions in order to document the domain activity, the background scaffolding (accessibility standards and theoretical frameworks) and the research outcomes :

- RQ1 – Domain characterization : Is there existing literature that deals with accessibility of online e-learning systems for people with cognitive impairments ? Who are the targeted persons ? Which journals and conferences have published them ? How has the field evolved ? What are the study purposes ?

- RQ2 – Standards shoring : Do the selected studies make explicit reference to accessibility standards ? What are those references ? How many times do they appear ? How has usage progressed over time ?

- RQ3 – Theoretical rationale : Do the selected studies make explicit reference to special education frameworks ? What are those references ? How many times do they appear ? What changes in usage patterns have been observed over time ?

- RQ4 – Main outcomes : What types of accessibility solutions are offered ? What are the findings in terms of evaluation ? What functions do they support, and is there a link between functionalities and specific learning functions ?

7.5 Survey Methodology

The methodology used was a systematic literature review according to Prisma international standards (Moher et al., 2010). Our objective was to identify a set of relevant studies in the field of accessible online e-learning systems for persons with cognitive impairment and to provide an analysis of the results of these studies. To do this, we conducted a four-step method depicted below (a flowchart of the paper selection process appears in Figure 7.2). As a result of the paper selection process, 29 studies were included from a set of 1816 studies.

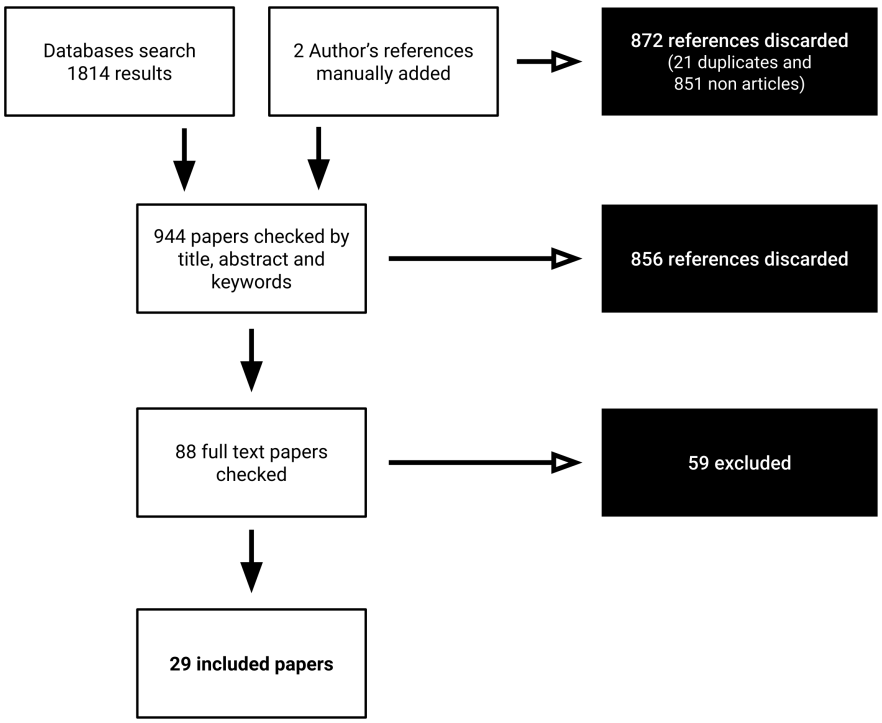


Fig. 7.2 : Systematic review flow diagram process

7.5.1 Identification of Studies

The Scopus, Education Resources Information Center (ERIC), ScienceDirect, ACM, IEEE Xplore, SpringerLink, EBSCOhost, Taylor & Francis and Wiley Online Library databases were searched on September 26, 2017. This selection of databases was informed by the multidisciplinary nature of the topic. For each of them, we used the same search string : online AND ("e-learning" OR MOOC OR "serious game") AND ("learning disabilities" OR "intellectual deficiency" OR "mental retardation" OR "psychiatric illness" OR "emotional disorders" OR "autis*" OR "attention deficit").

7.5.2 Inclusion and Exclusion Criteria

The choice of exclusion or inclusion of papers was made by the authors according to specific criteria described hereafter. The great heterogeneity of the approaches described in the studies retrieved made the selection processes essentially subjective. In cases that were not clear-cut, the authors discussed the eligibility of the criteria for the specific study until

an agreement was reached. The criteria rules applied are described below.

Only studies that focused on online e-learning accessibility for individuals with cognitive impairment were included in the review. No publication period nor participant age limitations were specified. Following Clark & Mayer (2016), we defined e-learning as instruction delivered via a digital device intended to support learning. As we wanted to focus on online e-learning, we only included studies that explicitly refer to client/server architecture such as the web. To be as descriptive as possible, we only included studies that proposed guidelines or a framework, and those with a purpose of intervention instead of instruction if they explicitly expected a possible transfer for learning. Finally, we only included studies that explicitly refer to people with cognitive impairments exclusively (for instance, studies focusing on people with attention disorders) or people with cognitive impairments along with other impairments (studies not focusing on a specific disability but considering cognitive impairments).

7.5.3 Study Selection

The first searches yielded 1814 results, to which we added 2 personal references (Morales-Villaverde et al., 2016 ; Benmarrakchi et al., 2016). We first filtered out references that were not peer-reviewed scientific articles (book chapters, summaries of proceedings) as well as non-English language articles and duplicates. The titles, abstracts and keywords of the remaining 944 articles were exhaustively reviewed against the inclusion and exclusion criteria. The full text of the remaining 88 articles was retrieved and reviewed. Of those, we excluded 59 articles because they did not meet the inclusion criteria. A total of 29 articles remained for this review.

7.5.4 Data Extraction

During the final step, the following data was extracted from the full paper version of the studies retrieved : authorship, year of publication, publication type, persons and disabilities addressed (*i.e.*, type of impairments regarding cognitive functions or cognitive capabilities according to the ICF classification), proposed solution, educational goal, accessibility references, specialized education references, design method, evaluation design and results.

7.5.5 Quality Assessment

The quality of the studies was rated using the SIGN ratings of levels of evidence (Harbour & Miller, 2001). This evaluation method proposes an estimate of the strength of available evidence provided by a study, based on the methodological design and the evaluation of possible biases. It contains eight grades of recommendation as follows :

- 1++ : High quality meta-analyses, high quality systematic reviews of clinical trials with very little risk of bias.
- 1+ : Well-conducted meta-analyses, systematic review of controlled studies or well-conducted studies with low risk of bias.
- 1- : Meta-analyses, systematic reviews of experimental studies with high risk of bias.
- 2++ : High quality systematic reviews of cohort or case and controlled studies ; cohort or case and control studies with very low risk of bias and high probability of establishing a causal relationship.
- 2+ : Well-conducted cohort or case and controlled studies with low risk of bias and moderate probability of establishing a causal relationship.
- 2- : Cohort or case and controlled studies with high risk of bias and significant risk that the relationship is not causal.
- 3 : Non-analytical studies, such as case reports and case series.
- 4 : Expert opinion.

Given the rejection of literature reviews (N = 9) during our selection process, the best possible grade for the studies retrieved was 2+.

The selected studies rely principally on expert opinions and on small-sample or single subject experimental designs, thus most of them were rated 3 or 4 (see Table studies). Two complementary explanations can be advanced for this result. Firstly, the newness of this research domain could account for the fact that most of the studies are pilot studies which focus more on design objectives than evidence strength. This means that evidence-based studies could be expected to be published within the next few years. Secondly, due to the variation in the functional needs and preferences of persons with disabilities, case study design can be considered to be a more appropriate way of illustrating the complexities of the different situations that occur when they use an e-learning system (Rossman & Rallis, 2003).

7.6 Results

The next step of the review was to perform a within-study and between-study analysis from the final corpus of selected articles to identify characteristics and answer the research questions defined for our review purpose. A summary of the main findings and the principal characteristics of the reviewed studies are provided in Table 7.5. For ease of reading, we have assigned an ID number to each study, so that the reader can refer to this table for further information.

7.6.1 Domain characterization

> *Is there existing literature on the subject of accessibility of online e-learning systems for people with cognitive impairment? Who are the targeted people? Which journals and conferences published them? How has the field evolved? What are the study purposes?* (RQ1)

As we have already stated, the final literature corpus was composed of 29 relevant studies answering the first part of RQ1 about existing literature on the subject.

Out of the 29 studies, 19 of them targeted a specific age group, 8 targeted children or persons below the age of 18 (27.5%) and 11 targeted adults (38%). Two studies (7%) were aimed at special education teachers while the rest (27.5%) were more general and did not specify a target age group. This indicated a rather homogeneous distribution of the studies regarding the age of the targeted participants, even though a significant proportion of them is not specially addressed to a specific age group. With regard to the classification of disabilities proposed by the ICF, 17 studies focused on a specific cognitive impairment, 8 did not specify any particular impairment and 2 were geared to persons without disability (special education teachers). In contrast, 10 directly referred to medical conditions (etiologies, diseases or syndromes).

The included consisted of 12 from journal articles and 17 from conference papers. A total of 11 journals and 15 conferences published the studies retrieved, with 1 journal and 2 conferences represented twice (Tables 7.1 and 7.2 show a detailed list of journals and conferences with a reference to the corresponding studies' ID). These different sources are mainly related to the emerging interdisciplinary fields such as computers and education or computers and disability.

Although e-learning is a topic which has existed for a long time (Clark & Mayer, 2016), the first paper we retrieved was published in 2002. Moreover, more than 50% of the

retrieved studies were published in the last 5 years, showing that the field is currently growing. Nevertheless, none of them were related to MOOCs.

To assess the study purpose of the e-learning accessibility field, we classified all the included studies into four categories of study type that they could be a part of, exclusively or otherwise. The four categories were as follows :

1. Studies (N=14) reviewing existing accessibility or special education guidelines or frameworks (tagged GA for Guidelines Acknowledgment) ;
2. Studies (N=9) proposing recommendations or criteria for accessibility (tagged NGE for New Guideline Establishment) ;
3. Studies (N=19) designing new e-learning solutions without user evaluation (tagged NES for New e-learning Solution) ;
4. Studies (N=17) stressing the evaluation of a solution or use of guidelines (tagged GSA for Guideline or Solution Assessment).

Although these categories provide a heuristic view of the state-of-the-art, it is noteworthy that the heterogeneity of the studies approaches cannot be described without an in-depth depiction of them. We will deal with all the details in the next sections.

Among the 16 studies including an evaluation of a system (already in existence or presented in the study), 4 were expert opinions or student observations (Studies ID : 1,

Tab. 7.1 : Journals retrieved and their corresponding studies

ID	Journal Title	Study ID
J1	Education and Information Technologies	8, 24
J2	Computers in Human Behavior	1
J3	British Journal of Educational Technology	3
J4	Computers & Education	16
J5	International Journal on E-Learning	18
J6	Journal of Autism and Developmental Disorders	27
J7	Universal Access in the Information Society	6
J8	Computers in the Schools	11
J9	Journal of Teaching in Social Work	25
J10	Cognitive Processing	7
J11	Open Learning : The Journal of Open, Distance and e-Learning	21

Tab. 7.2 : Conferences retrieved and their corresponding studies

ID	Conference Name	Study ID
C1	International Conference on Computers for Handicapped Persons : Computers Helping People with Special Needs	4, 19
C2	International Visual Informatics Conference 2011 : Visual Informatics : Sustaining Research and Innovations	23
C3	International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction : Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services	9
C4	International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA)	20
C5	27th ACM Conference on Hypertext and Social Media (HT 2016)	17
C6	1st International Conference on Networked Digital Technologies	13
C7	The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2008	14
C8	International Conference on Games and Learning Alliance	15
C9	International Educational Technology Conference, IETC 2014	10
C10	W4A '16 : Proceedings of the 13th Web for All Conference	22
C11	5th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion, DSAI 2013	5, 26
C12	2nd World Conference on Educational Technology Research	2
C13	Proceedings of the 7th European Conference on e-Learning, ECEL 2008	12
C14	ASSETS 2016	28
C15	International Conference on Engineering & MIS	29

7, 14, 23), 2 were an accessibility evaluation of an existing system through pre-existing guidelines (5, 6), 6 were case-studies (9, 13, 21, 24, 26, 28), 3 were within-subject studies (3, 16, 22) and 1 was a between-group study (8).

Figure 7.3 illustrates changes in the scientific objectives of the retrieved studies over time. As we can see, initial objectives were the exploration and introduction of accessibility guidelines, then came the proposals for functionalities and systems and finally the evaluation of accessibility functionalities and systems.

The next two questions will present the background and rationale of the studies, following two metrics allowing the strength of research to be evaluated : the number of accessibility standards references (RQ2) and the number of special education frameworks

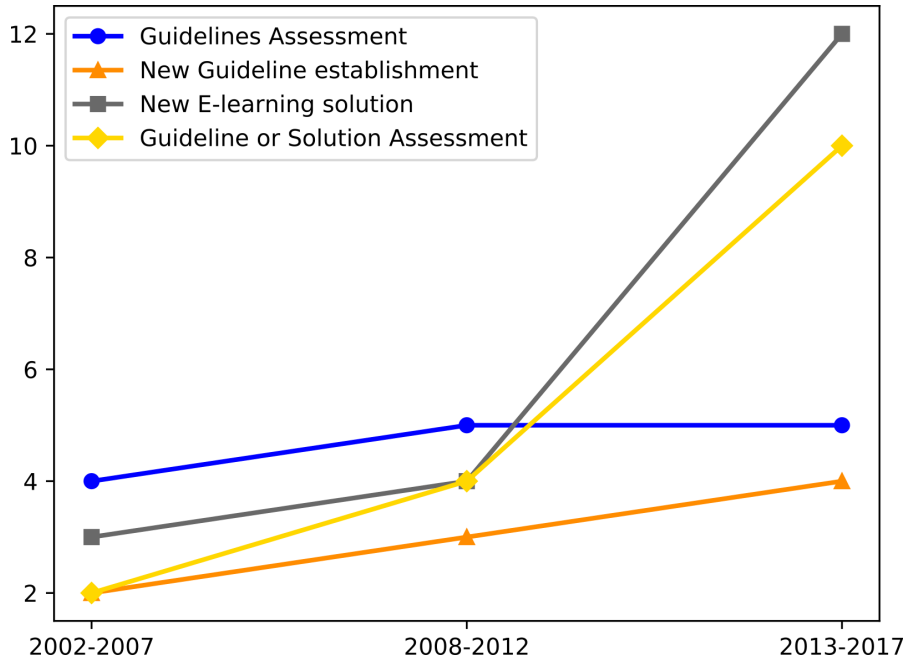


Fig. 7.3 : Number of studies and the purpose of those studies from 2002 to 2017

references (RQ3).

7.6.2 Standards shoring

> *Do the selected studies make explicit reference to accessibility standards? What are those references? How many times do they appear? How does usage change over time?* (RQ2)

There are few references to accessibility standards in the studies retrieved. They can be divided into two groups of recommendations :

1. Universal recommendations related to accessibility working groups. In this first group, we found the different recommendations made by the Web Accessibility Initiative (WAI) such as the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG), the Authoring Tools Accessibility Guidelines (ATAG) or the User Agent Accessibility Guidelines (UAAG) which are mentioned 5 times, and the US government's rehabilitation act (Section 508) which was mentioned twice.

2. Specific recommendations derived from research studies. This second group gathered together literature reviews on autistic spectrum disorders (studies ID : 15, 17 and 27), dyslexia (studies ID : 2, 20 and 22), Acquired Brain Injury (study ID : 16) as well as the Web Accessibility Guidelines for People with cognitive disabilities from Friedman & Bryen (2007) (study ID : 13).

It is noteworthy that these accessibility recommendations are rarely described and that their use in the context of the study is rarely explained.

7.6.3 Theoretical rationale

> *Do the selected studies make explicit reference to special education frameworks? What are those references? How many times do they appear? How have usage patterns changed over time?* (RQ3)

We found a total of 5 references to special education frameworks distributed in only 3 studies as described hereafter :

- Universal Design for Learning (UDL)(Rose & Meyer (2002) ; studies ID : 5, 6, 21) is an inclusive framework based on an extension of the Universal Design principles to the learning environment. Several principles assist teachers to develop teaching goals that address the needs of a wide range of students with or without disabilities such as providing them with multiple means of representation (*e.g.*, by offering ways of customizing the display of information), expression (*e.g.*, by offering multiple tools for composition) and engagement (*e.g.*, by optimizing individual choice and autonomy through self-regulated tools). These guiding principles are mainly based on Vygotsky's work on the Zone of Proximal Development (Vygotsky, 1978) and neuroscience research.
- AccessForAll Meta-data (ISO/IEC 24751 IMS Global Learning Consortium (2004) ; studies ID 5, 6), developed by the IMS Global Learning Consortium, gathers specifications to facilitate the identification of resources which match a user's preferences and needs for alternative presentations of resources, alternative methods of controlling them or alternative equivalents to the resources.
- IMS Guidelines for Developing Accessible Learning (Barstow & Rothberg (2004) ; studies ID 5, 6 and 7), also developed by the IMS Global Learning Consortium, provides a framework for the distributed learning community assessing

the accessibility solutions that currently exist, how to implement them and why they should be utilized, as well as the future development and innovation needed in educational technologies to ensure accessibility for all.

- Universal Design for instruction (UDI) (Burgstahler (2009), study ID : 21) intends to apply the Universal Design principles to the overall design of instruction and to specific instructional materials, facilities and strategies. This is a more general framework that can encompass different types of instruction that employ principles of UD (*e.g.*, UDL apply UD to curriculum), organized into eight performance indicator categories : class climate, interaction, physical environments and products, delivery methods, information resources and technology, feedback, assessment and accommodation.
- Universal Instructional Design (Higbee & Goff (2008) ; study ID : 21), along the same lines as UDI, this provides a set of guidelines for accessible learning environments and course elements, but specifically focused on post-secondary settings.

Although there is an obvious lack of references to specialized education frameworks, we still found references to more general education principles such as Kolb's learning cycle Kolb (1999), Self-regulated Learning theories (Zimmerman, 2013) or Keefe's learning style theory (Keefe, 1988), in 4 reviewed studies (Studies ID : 8, 17, 18 and 27).

RQ2 and RQ3 stressed that the reviewed studies exhibited some shortcomings regarding the respect of standards and theoretical frameworks related to both accessibility and special education. Indeed, the studies without referencing tend to present their own guidelines based on their analysis of literature or of their own observations and interviews with stakeholders.

7.6.4 Main outcomes

> *What types of accessibility solutions are offered ? What are the findings in terms of evaluation ? What functions do they support, and is there a link between functionalities and specific learning functions ?* (RQ4)

Eighteen articles present a specific e-learning system or accessibility features designed for persons with cognitive disabilities. Assistive technology can usually be classified using the ISO 9999 classification (International Organization for Standardization, 2016). Unfortunately, most of the solutions presented in the articles do not really fit into the

different categories of the detailed classification as they try to provide generalized assistance to a generic or specific learning goal rather than assistance toward a particular cognitive function. We then introduced a classification following the tools proposed :

1. Adaptive systems : systems where the interface or the content can be adapted (automatically or manually) for a specific user.
2. Game elements : systems that use game element (*e.g.*, gamification tools as badges, narrative, level) or serious games.
3. Accessible content : tools that provide accessible content for education or rehabilitation of specific skills.
4. Virtual Agent : use of virtual agent to provide support to the learner.
5. Accessible interface or environment : systems that present interfaces specifically designed for person with disabilities.

The following sections present in greater detail each of the accessibility solutions for each category. To simplify the referencing, an ID number has been attributed to each detailed study (Table 7.5).

7.6.4.1 Adaptive systems

[1] Alghabban et al. (2017) developed a cloud-based mobile learning tool for students with dyslexia using multimodal interfaces which enabled a manual customization of the interface and multiple modalities of input and output as defined by Kurkovsky (2009). They conducted a user needs analysis through a literature review, interviews and questionnaires with special educational teachers, dyslexic students and their parents, and offered an architecture with three components : a mobile client, a public network and a cloud environment to provide the content. They also presented an evaluation using a pretest-posttest design study showing an increase in reading skills after three months of use. Unfortunately, the design methodology is not presented (*e.g.*, they do not provide their sample, nor the test used to measure reading skills) leading to difficulties in evaluating the efficacy of the tool proposed.

[2] Andruseac et al. (2013) proposed an online learning platform for personalized therapy and online monitoring of children with speech and cognitive disorders (mainly dyslexia). The platform consisted of two components : *a)* an application for patient management allowing speech therapists, patients and administrative staff to communicate

and organize therapy sessions and *b)* a piece of interactive multimedia software (named Recovery Module) for the rehabilitation process of patients with dyslexia. The software featured four components to train them to practice reading and understanding through both verbal and written answers, as well as to practice word pronunciation. Each of the exercises had different levels of difficulty and provided personalized feedback, and patients had various choices of interaction to answer the questions (talk, write, choose from a list of images or words, *etc.*). They did not conduct any evaluation.

[9] Debevc et al. (2007) proposed a mobile application designed to support a remote engineering application for people with special needs. The system consists of a wooden model of a house with micro-controlled devices (such as lamps, ventilation, doors, *etc.*) that can be remotely controlled via a mobile interface. The learning goal presented is for the learner to be acquainted with ways to use the micro-controlled system and methods to design the user interface. However, even though they mentioned cognitive impairments, participants of the experimental study were either visually impaired or hard of hearing persons.

[17] García et al. (2016) described an adaptive web-based application based on a Content Management System (WordPress[2]) and an adaptation library, intended to give students with autistic spectrum disorders a taste of how higher education works and how to cope with the university environment. Based on the user history and profile, the system adapted the content and its presentation. The evaluation was mostly technical as the project focused on performance. The authors conducted a study regarding the execution time of the system. Results showed that web pages were quick enough to load, an important quality given the possible impatience of the users.

[19] Petz & Miesenberger (2006) presented a project (ECDL without barriers) whose aim was to develop a web-based e-learning multimedia player with possible interface adaptations for persons with disabilities and persons with age-related disabilities, including cognitive impairments. The system provided an HTML version to be used with a screen reader, easy to read texts, font management (size, color and contrast with the background) and keyboard shortcuts to simplify orientation and navigation. No participant study was presented in the paper.

[20] Pirani & Sasikumar (2015) proposed an assistive learning environment for students with learning disabilities. Following visits to special institutions and hospitals as well as interviews with special education teachers, their system consisted of a web-based environment including a content repository, learner profile storage including learner information and goals, a knowledge transformation catalogue identifying the adaptation

2. https ://wordpress.com/

needed for each learner, and in addition a monitoring module providing teachers and parents with information on learner progression. Finally, an assistive learning engine was responsible for adapting the content, the pedagogy and the presentation. No participant study was presented in the paper.

7.6.4.2 Game elements

[3] Bakker et al. (2016) evaluated the effects of an intervention using web-based mathematics computer games on the multiplicative reasoning ability of special education students. Sixteen mini games were proposed during two 10-week periods, accompanied by lessons and discussions in a classroom environment. The evaluation methodology was a pretest-posttest control-group design with 81 special primary education students with the control group playing non-multiplicative games. Results showed that students using multiplicative mini-games obtained significantly higher learning outcomes than the control group in declarative knowledge in mathematics, and equal results for procedural and conceptual knowledge.

[4] Serious games were used to promote social inclusion of persons with learning difficulties in Battersby et al. (2002). An e-learning portal website aggregated mini-games that taught horticultural skills to encourage people with learning disabilities to pursue and engage in professional training. This article is a presentation of a project and thus it did not present any evaluation.

[15] Hulusic & Pistoljevic (2015) presented an interactive eBook specially designed for children with autistic spectrum disorders. Based on web technology, the authors proposed additional auditory-visual stimulation related to the text and comprehension assessments through multi-layered questions. The educational goals presented were to teach new vocabulary, counting, the identification of numbers and colors, and to respond to inference questions. No evaluation was presented.

[22] Based on the fact that teaching students with learning limitations to play chess benefits their school performance, Rello et al. (2016) developed a serious game to teach it to people with dyslexia. It consisted of nine 30 to 45-minute lessons followed by questions based on reading comprehension, visuo-spatial attention and numerical ability. The presentation was based on previous accessibility research studies and thus ensured the readability of persons with dyslexia (fixed column widths, a black font on a cream-colored background, the Arial typeface font and a 14 point minimum font size). The design protocol relied on two pilot tests using a think aloud protocol with three adults and four children. They conducted a within-subject study with 62 participants (31 diagnosed as

dyslexic) to test how people with dyslexia learn to play chess. Results showed that they spent more time learning chess theory, doing training with exercises and playing against the computer than people without dyslexia, suggesting that dyslexia might have an impact on chess performance.

[23] Iradah & Rabiah (2011) presented a web-based cognitive rehabilitation tool (Edutism) to assist children with autistic spectrum disorders and with high-cognitive functioning. The system monitored and analyzed the students' performance, and a rules-based algorithm decided the level of difficulty according to a percentage of success. A specific module allowed teachers to monitor the students' progress and provided a summary of acquired skills. To assess usability and acceptance, they conducted interviews with three special education teachers and observed five children with autism using Edutism. Findings showed that teachers agreed on the attractiveness and effectiveness of the tool and that the children enjoyed using the prototype.

[24] Sitra et al. (2017) used a badge-based gamification strategy for an academic course through Moodle[3], a Learning Management System. The goal of the study was to analyze the effect of badges on the engagement of students with special educational needs (such as attention deficit disorders, mild intellectual deficiencies, emotional difficulties or dyslexia). The authors interviewed five children and analyzed data from the Moodle platform. They found positive results with students perceiving the gamified version more interesting and motivating, especially in the case of a student with ADHD who was able to concentrate for much longer than usual. However, no clear impact on performance could be found.

7.6.4.3 Content

[16] Montero et al. (2011) presented HABITAT, a tool providing 23 relearning activity patterns for people with acquired brain injuries, which consisted of a catalogue of activities and their links to cognitive relearning. The different requirements for this software tool were gathered through interviews and observations with patients and specialists. To assess acceptability, a comparison study between a traditional relearning material (paper cards) and HABITAT was conducted with 10 adults with moderate physical and cognitive impairments. The results revealed that younger persons accepted computer-based activities, and that the tool increased the patient's motivation and reduced the task completion time.

[28] Morales-Villaverde et al. (2016) presented an online learning system to help persons with developmental deficiencies acquire basic skills in order to be able to perform daily living activities. Based on a web application and intended to be used on touchscreen

3. https ://moodle.org/

devices, the system offered seven basic activities (recognizing numbers, letters, money, shapes and colors) and was designed to mimic how users normally perform such activities in a more traditional rehabilitation context (*i.e.*, during activities proposed by caregivers in a special institution). The authors conducted preliminary evaluations of a prototype through heuristic evaluation and user-study. Positive results suggested that their system can be helpful for persons with developmental deficiencies. The system also demonstrated good acceptability.

7.6.4.4 Virtual Agent

[8] Chatzara et al. (2016) proposed the use of an intelligent emotional agent as a virtual character with the aim of providing cognitive support to students with learning difficulties and attention disorders. The 3D agent, named Sophia, was capable of gestures, facial expressions, body movements and speech. Following the Kolb's four stages of learning model (Kolb, 1999) and Aist's work on emotions relevant to learning (Aist et al., 2002) the agent provided customized emotional support depending on the user's behavior (a sequence of events) and user profile. They conducted a study using a between-groups comparison methodology with a group of 12 students with learning limitations and attention deficit disorders using the emotional agent and a group of 12 students (same disability profile) using an agent with a neutral behavior. Results showed that the group with the emotional agent made a greater attempt to contact the agent, obtain better results, and try again more often after a failure than the group with a neutral agent.

7.6.4.5 Accessible Interface / Environment

[13] Fryia et al. (2009) presented a prototype for an online course with a web-based interface targeting persons with learning difficulties or persons with autistic spectrum disorders and high cognitive functioning such as Asperger's Syndrome. Based on Friedman and Bryen's web accessibility guidelines (Friedman & Bryen, 2007), their system was designed to simplify the different steps used in online systems such as registration, the navigation through the different lessons, the organization to fulfill the assignment or the communication with teachers through email by providing multi-step checklists. The authors conducted a pilot study with a fifteen-year-old student with learning difficulties who was asked to perform specific tasks within the e-learning system. They reported that the student accomplished all the tasks without any external help and reported satisfaction with the overall appearance.

[14] In the same vein, Harrison et al. (2008) designed and developed an adaptable virtual

learning environment (Portland Plus VLE) for young adults with severe learning limitations and physical impairments. Needs and preferences of the targeted group were collected through learner observations and focus groups with learners and tutors, and gave rise to profiles providing specific access to the environment. Based on this information, tutors could adapt the design and functionality to each learner and thus give access to tailored learning resources. New input methods were also proposed, such as a scanning mechanism enabling the learner to use single-switch or two-switch interactions alongside the more traditional mouse interaction or touchscreen input. Qualitative feedback was taken from a sample of the target user group.

[26] Tsiopela & Jimoyiannis (2014) presented the design and development of a web based environment supporting pre-vocational teaching for students with autism. The environment represented a school classroom where different benches offered ten tasks related to basic skills such as grouping objects (fruits, eggs, postal envelopes) by number or sorting them by size or length. A two-month study was conducted in a public-sector special vocational high school with six students with autistic spectrum disorders, the aim of the study being the learning transfer to real life situations. Various data (*e.g.*, log files, biofeedback signals, video records and observation notes) were collected over several sessions. The article presented preliminary results through a single-student case study. These first results supported the relevance of the virtual environment to help students with ASD to acquire pre-vocational skills.

7.6.4.6 Summary of the proposed solutions

From the overall data, it appears that the studies did not really refer to specific cognitive functions assistance (*i.e.*, memory, attention, *etc.*), but rather focused on specific learning activities assistance. Consequently, we used the International Classification of Function (World Health Organization, 2001) to categorize the activities supported by each system. This framework enabled us to measure health and disability at both an individual level and a population level, and is an agreed international standard. To recap, the ICF focuses on functions and activities rather than etiology and medical diagnosis.

The learning activities that took place during the use of e-learning systems were classified using the ICF classification of Basic Learning and Applying Knowledge with seven activities for Basic Learning (copying, rehearsing, learning to read, learning to write, learning to calculate, acquiring basic skills, acquiring complex skills) and eight for Applying Knowledge (focusing attention, thinking, reading, writing, calculating, solving simple problems, solving complex problems, making decisions). We do not mention the non-defined subsections for reasons of clarity. Details for each study can be found on page 95

in Table 7.3 for Basic Learning and Table 7.4 for Applying Knowledge.

There are slightly more studies that focus on Basic Learning activities (N=10) rather than Applying Knowledge (N=8). The sub-section shows that only three out of seven activities are addressed for Basic Learning and five out of eight for Applying Knowledge. There were seven activities that are not addressed in the studies we retrieved : copying, rehearsing, learning to write and learning to calculate (belonging to the Basic Learning group) and thinking, writing and solving complex problems (from the Applying Knowledge group). While there were studies that specifically pointed out the difficulties encountered by persons with dyslexia, it is interesting to note than none of them proposed a solution for the writing activities.

As we wanted to investigate the choice of a particular accessibility solution, we paired the solution types to the activities supported to explore any potential relationship between

ID	Authors	ICF Classification
2	Andruseac et al. (2013)	Learn to read
4	Battersby et al. (2002)	Acquiring Complex Skills
9	Debevc et al. (2007)	Acquiring Complex Skills
15	Hulusic & Pistoljevic (2015)	Learn to read
16	Montero et al. (2011)	Acquiring basic skills
17	García et al. (2016)	Acquiring complex skills
22	Rello et al. (2016)	Acquiring complex skills
23	Iradah & Rabiah (2011)	Acquiring basic skills
26	Tsiopela & Jimoyiannis (2014)	Acquiring basic skills
28	Morales-Villaverde et al. (2016)	Acquiring basic skills

Tab. 7.3 : Basic Learning

ID	Authors	ICF Classification
1	Alghabban et al. (2017)	Reading
3	Bakker et al. (2016)	Calculating
8	Chatzara et al. (2016)	Solving Problems
13	Fryia et al. (2009)	Making decisions
14	Harrison et al. (2008)	Making decisions
19	Petz & Miesenberger (2006)	Reading
20	Pirani & Sasikumar (2015)	Reading
24	Sitra et al. (2017)	Focusing attention

Tab. 7.4 : Applying Knowledge

them. Figure 7.4 shows the resulting graph.

As we can see, the most widely used solutions are game elements, which are used in four different learning activities, followed by accessible interfaces (used in three different activities) and adaptive systems which were used in two activities. Content tools and virtual agents were used only for one particular activity. On the other hand, we can see that the activities from the Basic Learning group are addressed with multiple solutions while those from the Applying Knowledge group are only addressed by a specific solution.

7.7 Discussion and Recommendations

This systematic review aimed to provide an overview of the current state of research on e-learning accessibility for persons with cognitive disabilities. The results showed a lack of use of both accessibility and special education references in the design process, and a focus on specific neuropsychological disorders or syndromes (dyslexia, ADHD, *etc.*) rather than cognitive function (attention, memory, *etc.*). The studies also exhibited a lack of effectiveness evaluation, which was mostly done through case reports involving a limited number of subjects. Indeed, the SIGN ratings showed methodology weaknesses (study design, learning measures, *etc.*). Although usability and acceptance are essential components

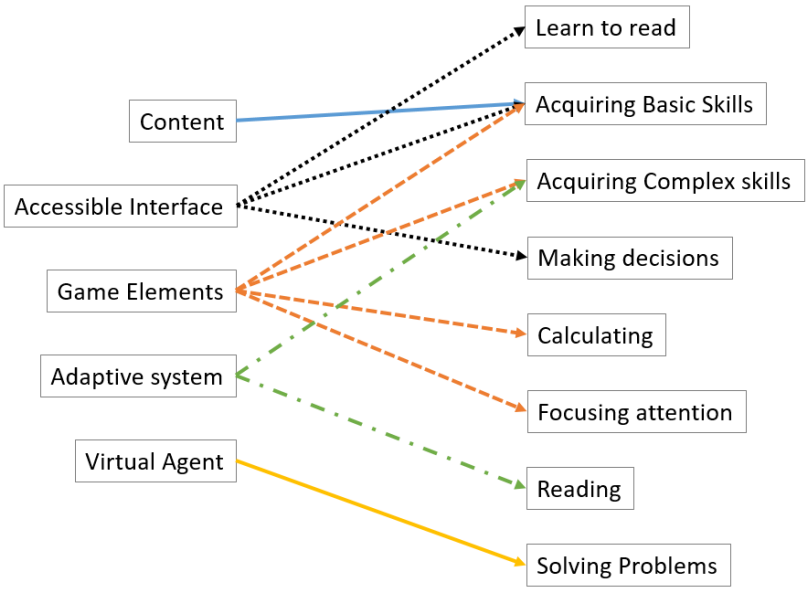


Fig. 7.4 : Matching between solutions and learning activities

for examining any benefits of a specific solution, studies are essentially focused on these two aspects and rarely evaluate the positive effects in terms of learning processes (acquisition, storage and progression, *etc.*).

As a result of this review, two categories of recommendations, that is to say solution design and evaluation, are proposed for moving forward the field of e-learning accessibility for persons with cognitive impairments.

7.7.1 Design Recommendations

Among the research perspectives for the solution design to improve the field, we have identified four priorities for future studies (*i.e.*, sharing a common reference, developing adaptive solutions, reinforcing the learner's engagement and supporting the learner's production of content).

7.7.1.1 Sharing common references

As stressed by Scherer (2005), the use of a common reference would be a huge benefit to the accessibility community, both for researchers and practitioners alike. As an example, Gillespie et al. (2012) proposed a classification of technologies for cognition based on the ICF classification, allowing a more straightforward identification of what technology could be useful for a specific cognitive function impairment while taking into account the activity domain. Inspired by this approach, future studies should design their systems or features within a framework built around the ICF learning activities (see for instance Figure 7.4 on page 96). This will allow solutions to be much more generalizable across the heterogeneity of cognitive impairments and their related disabilities, and enable the consideration of both specific and global cognitive functions. In terms of web accessibility, the recent work produced by the W3C Cognitive and Learning Disabilities Accessibility Task Force[4] is an interesting approach to improve accessibility for people with cognitive impairments. Based on a user-research methodology, this work proposes a taxonomy of eight cognitive functions (*e.g.*, attention, executive function, knowledge, language, *etc.*) applied to eight of the most common medical conditions (Aging-Related Cognitive Decline, Aphasia, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Autism, *etc.*) and gives some global and group specific suggestions and techniques for web authors. Still in its early stages, this work does not deal with specific activities such as learning, which is planned to be addressed in a future phase where more user groups will be taken into consideration.

4. https ://w3c.github.io/coga/user-research/

7.7.1.2 Investigating the use of adaptive content

The adaptive e-learning systems depicted in this study are mostly focused on the user interface or the way that learning content is presented. Future studies should also consider focusing on adaptive content following educational purpose, for instance by proposing exercises that fit learners' abilities thanks to machine learning embedded in an intelligent tutoring system (Clement et al. (2016) ; Xu et al. (2014)). Together with an inclusive approach such as the ability-based design principles (Wobbrock et al., 2011), future solutions should rely more on learners' capabilities in order to provide the most appropriate content, based on their profile and an analysis of their results. Besides the processing of data gathered from the online activity information of platform use, it might also be interesting to explore data from additional physiological sensors (smartwatches, webcams for pupillary response, Electroencephalography, *etc.*, see Fairclough (2008)). For instance, these systems could help to evaluate attention levels (Klimesch et al., 1998) or cognitive load in real time (Beatty, 1982), and thus suggest possible adaptations for the interface and the content, taking into account both the inter-individual and the intra-individual variability.

7.7.1.3 Reinforcing engagement and self-determination in e-learning

Motivation has a vital role to play in learning activities and can have a huge influence on a learner's results (Stipek, 1993). Engaging the learner is a fundamental goal, especially for PWDs who tend to have a greater drop-out rate in online distance learning situations (Iniesto et al., 2017b). Future studies should focus on offering solutions to reinforce the learner's commitment, based on the Self-Determination Theory (Ryan & Deci, 2000) which has been proven beneficial in e-learning situations (Roca & Gagné, 2008) and for accessibility (Field et al., 2003). Thus, the evaluation of the proposed solutions should take into account the feeling of autonomy and competence, along with relatedness when the e-learning platform is built around an online community, as in MOOCs. The use of instructional strategies such as the Zone of Proximal Development can also help learners recognize their progression and thus reinforce their intrinsic motivation, known to be an important factor for student investment (Vygotsky, 1978).

7.7.1.4 Supporting learner's production of contents

All of the e-learning solutions in this review relied on a passive view of the learner, who receives information but does not produce content. For instance, we found no tool oriented toward writing activities among the solutions proposed, yet it is an essential skill used

across all learning activities. Solutions addressing those specific activities could involve tools that help PWDs to take notes or to interact with other learners and instructors through forums and online chat, and consequently promote active learning. It is also important to consider the assessment part of online distance learning platforms (Admiraal et al., 2015), especially when a peer assessment is used, as persons with cognitive impairments could have difficulties in judging open ended questions and could thus feel excluded from the learning community.

7.7.2 Evaluation

Progress in the e-learning field can be expected in terms of effectiveness assessment for people with cognitive impairment, notably in terms of evidence strength as well as in terms of solution generalization across the wide range of learning activities.

7.7.2.1 Design more robust evaluation methodology

As already stated, future studies should provide more robust methodology for the evaluation of accessibility solutions. Despite the fact that experimental protocols which rely on case studies can remain insightful when addressing end-users with such variability, it is really important to conduct studies using experimental control group protocols which compare the use of the proposed solution against a more traditional method. Future studies should also compare different solutions across a large spectrum of cognitive impairments to assess whether they are able to cope with the diversity of PWDs' situations. The comparison of two different solutions for the same learning activity should also help to identify the different possibilities that could be provided to the user. If lab studies are the first step in assessing the efficacy of the accessibility solutions proposed, evaluation should also take place in a real life environment during long-term studies to be as close as possible of the actual e-learning situation.

7.7.2.2 Evaluate the use of solutions to other relevant activities

Another interesting study of e-learning accessibility could be to investigate the relationship between proposed accessibility solutions and learning activities. Consequently, future studies should compare different solutions to determine which one is the most relevant for a specific learning activity. In addition, few different solution types are investigated, especially for the activities relevant to the Applying Knowledge category. Moreover, it is surprising that the more common solutions (*e.g.*, use of game elements

or accessible interfaces) are not used for all activities. For instance, gamification (Seaborn & Fels, 2015) is already used for activities such as problem solving and decision making, and could be investigated to determine if it is relevant to use it to make such activities more accessible. Long-term studies should also investigate the daily life outcomes of accessible e-learning platforms by measuring the rate of employment of people with cognitive impairments who use them.

7.8 Limitations

This current systematic review has three main limitations. Similar to other reviews, the selection of the research keywords and the exclusion criteria was mostly subjective. However, the three authors participated in the final selection process to ensure a reduction of bias. Secondly, as the systematic review relies on literature databases, it is not fully exhaustive : studies not referenced in the selected databases are not reviewed. However, we reduced the bias by choosing a set of databases covering the main disciplinary fields in which e-learning accessibility might be addressed (computing, psychology and education sciences). Thirdly, as we decided to exclude summaries and books, we may have missed emerging trends that can represent more accurately the current state of research. Nevertheless, this choice has enabled us to highlight both the paucity of studies and a lack of maturity in the field concerning the scientific level of evidence. In future work, we recommend including a larger range of sources to provide more detailed results and examine accessibility solutions in the early stage of the research process.

7.9 Conclusion

The aim of our study was to contribute to laying the groundwork for a better understanding of online e-learning platform accessibility targeted at persons with cognitive impairments.

Four main conclusions can be formulated. Firstly, there is a paucity of studies that address the accessibility of e-learning for persons with cognitive impairments. Additionally, the studies available tend to focus more on design recommendations than on evaluating the effectiveness of e-learning systems.

Secondly, the use of accessibility standards is poor and generally inconsistent across the studies and they often lack rationalization in terms of their use in the design process.

Thirdly, there is a lack of special education references, with studies focusing more

on specific neuropsychological disorders or syndromes (dyslexia, ADHD, *etc.*) rather than impairments of cognitive function (attention, memory, *etc.*) or learning activities as promoted by the ICF for fostering a profitable universal framework to study and act in favor of PWDs.

Finally, five categories of accessibility solutions (Adaptive systems, Gaming mechanics, Accessible content, Virtual agents and Accessible interfaces or environments) have been successfully extracted and associated with eight learning activities derived from the ICF.

The different results which emerged during the review process allowed us to identify promising directions for future research in this area and to make both design and evaluation research recommendations. A promising direction for research is to promote a multi-disciplinary approach combining educational sciences, cognitive sciences and computer science to develop e-learning systems that are both adaptable and adaptive. Such an approach will help to reinforce the relationship between accessibility or e-learning researchers, instructional designers, and direct and indirect end-users by giving them common references and thus help to provide solutions that fit every learner's situation.

ID	Authors (Year)	Publisher ID	Categorization	Adressed population	Age stage	SIGN
1	Alghabban et al. (2017)	J2	NES + GSA	Dyslexia	Children	2-
2	Andruseac et al. (2013)	C12	NES	Dyslexia	Children	4
3	Bakker et al. (2016)	J3	NES + GSA	Learning Disabilities (LD)	Children	2+
4	Battersby et al. (2002)	C1	GA + NES	LD	N/A	4
5	Calvo et al. (2014)	C11	GA + NGE + GSA	All	N/A	4
6	Calvo et al. (2017)	J7	GA + NGE + GSA	All	N/A	4
7	Catarci et al. (2008)	J10	GA + NGE + GSA	All	N/A	4
8	Chatzara et al. (2016)	J1	GA + NES + GSA	LD and Deficit Attention	Young adults	2-
9	Debevc et al. (2007)	C3	GA + NGE + NES + GSA	All	Adults	3
10	Dostál (2015)	C9	GA	All	N/A	4
11	Dyches et al. (2004)	J8	GA	Teachers	N/A	4
12	Fanou (2009)	C13	GA	LD	Adults	4
13	Fryia et al. (2009)	C6	GA + NES + GSA	Learning Disabilities	12-18 years old	3
14	Harrison et al. (2008)	C7	GA + NES + GSA	LD	Children	4
15	Hulusic & Pistoljevic (2015)	C8	NES	Autism	Children	4
16	Montero et al. (2011)	J4	NGE + NES	ABI	Adults	3
17	García et al. (2016)	C5	NES	Autism	Adults	3
18	Pearson (2003)	J5	GA + NGE	Teachers	N/A	4
19	Petz & Miesenberger (2006)	C1	NES	All	Adults	4
20	Pirani & Sasikumar (2015)	C4	NES	LD (Dyslexia)	N/A	3
21	Rao et al. (2015)	J11	GA + GSA	All	Adults	4
22	Rello et al. (2016)	C10	NES + GSA	Dyslexia	N/A	2+
23	Iradah & Rabiah (2011)	C2	NES + GSA	HF Autism	Children	3
24	Iradah & Rabiah (2011)	J1	NES + GSA	Special Learning Needs	Children	3
25	Tandy & Meacham (2009)	J9	GA + NGE	All	Adults	4
26	Tsiopela & Jimoyiannis (2014)	C11	NES + GSA	Autism	Adults	3
27	Whyte et al. (2015)	J6	NGE	Autism	N/A	4
28	Morales-Villaverde et al. (2016)	C14	NES + GSA	Developmental Disabilities	N/A	3
29	Benmarrakchi et al. (2016)	C15	NGE	Functional Disabilities	Adults	4

Tab. 7.5 : Study description

8

Conception participative d'un lecteur de MOOC accessible

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats d'un processus de conception participative qui a conduit à la co-conception de nouvelles fonctionnalités d'accessibilité d'un lecteur de MOOC. Nous présentons également les résultats d'une étude d'évaluation d'un premier prototype et proposons un cadre d'intégration pour la conception de systèmes d'apprentissage en ligne accessibles découlant des différents besoins identifiés et des différentes recommandations qui ont émergé au cours de ce processus. Cette étude a été soumise au journal *Behaviour & Information Technology*

8.1 Introduction **104**
8.2 Related Work **106**
8.3 Participatory Design Method **110**
8.4 Discussion **125**
8.5 Limits **127**
8.6 Conclusion **128**

8.1 Introduction

Since its adoption in 2008, the Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD, UN General Assembly 2007) has reaffirmed the human rights of persons with disabilities (PWDs) and provided a legislative framework for the signatory States to ensure that these rights are respected. Over the past decade, it has given rise to several initiatives to counteract the exclusion and discrimination of PWDs. Although their participation in society has become increasingly important with regard to inclusion policies, there are still many barriers to their full inclusion. This is particularly the case for education. Despite the promotion of equal access to the education system, the representation of PWDs decreases sharply from primary school to higher education, leading to lower qualification levels (Wehmeyer & Patton, 2017). This lack of accessible training is an additional barrier towards employment opportunities, further reinforcing their exclusion from the social sphere. As a consequence, the unemployment rate for PWDs is significantly higher than the overall average (World Health Organization, 2011).

This issue is even more important for individuals with cognitive impairments who experience the lowest employment rates (Thornicroft et al., 2010) and are most often to be employed in a segregated environment (Verdonschot et al., 2009). Furthermore, an increasing number of students report Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD), specific learning disorder (*e.g.,* Dyslexia, Dyscalculia, *etc.*) or Mental health disorders (*e.g.,* Schizophrenia, depression or bipolar disorder, *etc.*) (Schelly et al., 2011). Although they represent distinct disorders with specific causes, symptoms and consequences, they exhibit a frequent comorbidity in several cognitive impairments. For example, deficits in reading ability is observed not only in persons with dyslexia but also in those with schizophrenia (Revheim et al., 2014). Moreover, such impairments can also be found in acquired neuropsychological disorders (*e.g.,* traumatic brain injury, stroke, tumor, *etc.*) and can appear when aging (Craik & Salthouse, 2011). The overlapping of symptoms suggest to consider these clinical categories in light of their association with specific and global cognitive function impairments despite different medical conditions. In this paper we rely on a functional view of impairments, following the biopsychosocial framework proposed by the International Classification of Functioning, Disability and Health, promoted by the WHO and widely used by disability experts (World Health Organization (2001) ; Gillespie et al. (2014)).

The advantage of the ICF as a universal framework is that it disregards medical conditions to focus on a multidimensional view of disability. Due to individual variability within the same medical condition or across different medical conditions, disability is defined along three functional components that refers to a specific classification : body function

impairments/deficiencies, activity limitations and social participation restrictions. Mental functions represent one of the categories included in the body functions component, subdivided in two subcategories as follows : global mental functions (awareness, intellectual functioning, executive functioning, orientation, personality, *etc.*) and specific mental functions (selective attention, memory, learning, language, calculation, praxis, *etc.*). In this consideration, cognitive impairments refer to impairments of mental functions, either global (*e.g.*, Lack of self-awareness or executive disorders, *etc.*) or selective (*e.g.*, anomia, amnesia or apraxia, *etc.*) which are widely known as detrimental to learning activities. Global cognitive impairments severely impact all the activities related to learning (*e.g.*, persons with schizophrenia may have a sudden disturbance in behaviour that prevent them from attending a course (Sung & Puskar, 2006)) while specific impairments often selectively impact learning activities (*e.g.*, students with dyslexia will take longer to do written work (Mortimore & Crozier, 2006)). In both cases, learning limitations have negative outcomes on the school career as well as the achieved level of professional qualification. Moreover, it has been shown that compensatory mechanisms used by any PWDs result in significant cognitive costs (Morrow & Rogers, 2008), particularly for people with cognitive impairment, who are thus more prone to cognitive exhaustion (Dixon et al., 2008). As a result, it is clinically accepted that the cognitive load resulting from all the tasks desired by the person must be properly managed and preserved.

Over the past few years, online e-learning platforms have played an increasingly significant role in our education and training systems (Clark & Mayer, 2016). The explosive growth of Massive Open Online Courses (MOOCs) confirms this rising interest in new training opportunities[1]. As they provide access to learning content to everyone, regardless of learner's situation, they may give great training opportunities for PWDs. They are sufficiently customizable to ensure accessibility of content to the greatest number of persons, notably those with cognitive impairments and limited learning activities, as they can offer the flexibility to adapt their training program to meet their specific needs.

However, despite the expanding use of online e-learning systems within academic and vocational training over recent years, few studies have investigated their accessibility for persons with cognitive impairments (Cinquin et al., 2019). In a systematic review focusing specifically on MOOCs, Sánchez Gordón & Luján-Mora (2017) showed that the majority of studies were published after 2013, underlining the fact that the accessibility of these platforms is a very recent concern. They also showed that most of these studies focused on sensory-impaired learners and rarely took cognitive impairments into account. Yet, it is well acknowledged in the accessibility research community that cognitive impairments whose occurrence is expanding due to better diagnosis and demographical aging deserve a greater

1. https ://www.class-central.com/report/mooc-stats-2017/

consideration. Based on these observations, a question emerges : how to improve access to these educational platforms for people with cognitive impairments ?

Contributions

The work presented in this paper is part of a research project that aims to support the development of online education content and training that are accessible to many different learners, including those with cognitive impairments to the greatest extent possible. Beyond the mere accessibility of e-learning, our goal is to promote the right of PWD to independent living by empowering them to actively engage in their own personal and professional experiences. This project includes the production of a MOOC about Digital Accessibility delivered on a widely-used MOOC platform[2], in order to reach real users with special needs. The main contributions presented in this paper are :

- The results of a participatory design process that leads to the co-design of new accessibility features embedded in a MOOC player ;
- The establishment of an integrative framework for the design of accessible e-learning systems derived from the participatory design process.

8.2 Related Work

8.2.1 MOOC Accessibility

Several studies illustrate the accessibility issues of MOOCs. In 2014, Bohnsack & Puhl (2014) showed that most MOOC platforms lack of correct language markers or accessible design. Iniesto & Rodrigo (2014) used automatic tools and a visual disability simulator to analyse the educational resources of three Spanish MOOC platforms and showed important shortcomings in terms of accessibility (*e.g.*, absence of links for navigation, misuse of headings, images without alternative text, *etc.*). Al-Mouh et al. (2014) conducted a case study to evaluate the compliance with the Web Content Accessibility Guideline (WCAG, Campbell et al. 2018) of ten Coursera courses. Their results showed that none of the courses reached the minimum level of accessibility for visually impaired persons. This is mainly due to the exclusive use of audiovisual material without audio description or text alternatives. Similarly, Sánchez-Gordón & Luján-Mora (2013) also evaluated the accessibility of five

2. Since 2013, this platform counts 488 available courses for about 1.6 million registered users. For anonymity purposes, we do not provide the name of the platform in the submitted version of this article.

Coursera courses for elderly users. First, they identified twenty-nine web accessibility requirements related to older users' requirements. Then, they manually checked their level of conformance through a three-step procedure. They report that both the courses and the platform have accessibility issues that prevent elderly users from benefiting from them. In order to improve MOOCs accessibility they emphasize the need to raise awareness of the web accessibility requirements of elderly users among content authors and to provide them with techniques to avoid common failures. All of these studies highlight the lack of consideration for accessibility in the design of MOOCs, preventing PWDs from benefiting from these new educational platforms, in contradiction to the claim that they are open to everyone.

Some projects try to overcome this lack of accessibility by proposing adapted frameworks. For instance, the EU4ALL project (Boticario et al., 2012) provides a framework for content customization, based on existing standards and guidelines, to improve Learning Management Systems' accessibility. In a similar approach, Sánchez Gordón et al. (2015) developed a plugin for the OpenEdx[3] platform, which adapts the course content by matching the learner's preferences, needs and competences with adaptation rules derived from various accessibility and usability guidelines. These two studies illustrate an evolution in the design of MOOC systems, shifting from a technology to a human-centered approach. This shift towards user-centered design strategies for MOOCs can also be found in González & Rodríguez (2016). They suggested using semi-transparent layers in front of the actual MOOC interface to assist cognitive-impaired learners by indicating to them how to interact with the different elements of the interface using simple phrases and explicit interactions.

8.2.2 Accessibility Design approaches

The concepts of Universal Design (Mace, 1991), Universal Usability (Shneiderman, 2000) or Design for All (Stephanidis & Salvendy, 1998) were born from the desire to offer physical spaces and tools that can be used by a great majority, aiming at a "one size fits all" ideal. However, this ideal is confronted with the myth of "the average user", an unrealistic vision of common capabilities shared by all users. This approach omits the specificities induced by a disability that can take place when PWDs interact with their environment. In contrary, concepts derived from an inclusive design approach focus on factors eliciting exclusion (Keates et al., 2000). Unfortunately, this approach involves an unrealistic anticipation of all barriers to the inclusion of PWDs, and does not consider the variability of disabilities.

To overcome these limitations, Wobbrock et al. (2011) present an ability-based design

3. https ://open.edx.org/

framework. The resulting design principles suggest refocusing the accessibility issue on capability rather than disability, to adapt a system to what a person can do. The Ability-based Design framework is built on three principles :

- Stance : Designers should focus on what a person can do instead of what a person cannot do, and address accessibility issues by designing flexible systems that can be adapted to people without having to alter their bodies, knowledge or behavior ;
- Interface : User interfaces may be self-adaptive or user-adaptable to ensure the best possible match between user's abilities and the required use ;
- System : Through the monitoring of user actions, the system may model and predict changes in user performance depending on the context, and adjust their parameters to compensate.

Similar to other accessibility guidelines, each of these categories is given a different degree of requirement : the authors consider that stance is essential, while the other two principles are just recommended or encouraged. Not only is this approach based on the users' abilities, it is also less stigmatizing as it relies on possible interface adaptations rather than static interfaces specifically designed for PWDs. As shown by Edwards (1995), accessibility features should not be considered as patches applied to existing systems, but as core functionalities that allow adaptations through user-driven changes. Since MOOCs are aimed at a broad and diverse population of learners, it is important to address accessibility since the beginning, following an "*accessibility by design*" approach to include as many users as possible and give them the best chance to succeed, regardless of their conditions.

8.2.3 Participatory Design

As it depends on a broad understanding of the user's needs and of possible contexts of use, it is essential to involve end-users as soon as possible in the design process in order to offer a wide variety of adaptations. It is also well acknowledged that PWDs most frequently abandon assistive technology when their opinions are not taken into account during the design process (Phillips & Zhao, 1993). It emphasizes the importance of considering users' needs and preferences as much as their expectations and attitudes when designing technological aids (Newell et al., 2011). Unfortunately, most contributions, in regard to MOOC accessibility, do not yet involve PWDs during the design processes and rely mostly on self-made recommendations.

Participatory design is nowadays seen as the most suitable method to develop assistive technologies as it allows PWDs to contribute as co-designers of accessibility solutions. It is

a user-centered approach in which target users, along with the different stakeholders, are fully involved in the design process. The process is iterative and is often structured around several phases including building an understanding, generating new ideas, prototyping and evaluation (Sanders, 2003). A variety of methods and tools can be used, such as focus groups, brainstorming, sketching or mock-ups (ISO/TSR 16982 :2002, 2002), allowing researchers and practitioners to adapt the process to their own context (Halskov & Hansen, 2015).

Participatory Design methods have been extensively used in the design of inclusive educational technologies (Borges et al., 2016) and have been proven efficient to produce highly customized assistive technology, in line with the ability-based design framework. In our context, this process aimed to identify and classify the needs of people with cognitive impairments in terms of learning activities and to develop a framework allowing us to design and evaluate accessibility features.

8.2.4 The evaluation of MOOC accessibility

As a direct consequence of the paucity of research on the accessibility of MOOCs, there are no concrete guidelines to guide its evaluation. Iniesto et al. (2017b) have shown that most studies tend to limit their scope to just one single type of disability (*e.g.*, vision impairment) or to focus on a specific platform. Moreover, the accessibility assessments they present usually follow a single methodological approach, either quantitative or qualitative, and thus are not sufficient given the complexity of the issues related to MOOCs (Gasevic et al., 2014).

As MOOCs are built upon web technologies, they are generally assessed through the scope of web accessibility. Yet, as Yesilada et al. (2015) have shown, there is still no clear agreement on its definition. As a result, its assessment is still limited to compliance with standards and guidelines through automatic tool validation or expert review. Although these methods are useful to highlight some of the more common issues, several studies have shown that their validity and reliability are often overestimated (Power et al. 2012, Brajnik et al. 2012). As already mentioned above, accessibility issues need to be addressed at an individual level and overly generic approaches can overlook some specific needs.

User-centered approaches for the design of complex websites such as MOOC platforms encourage a more holistic view of accessibility. Usability, which is a well-established concept in human computer interaction design, is therefore a relevant measure to assess accessibility. In our context, its evaluation ensures that the proposed accessibility features can be used by users with cognitive impairments to achieve learning goals with effectiveness, efficiency

and satisfaction in a MOOC context (ISO 9241-210 :2010, 2010). Beyond the evaluation of objective characteristics, it is also important to consider the more subjective aspects of interaction. Indeed, while instructional objectives are clearly specified by teachers, learners can engage in a MOOC for a wide range of different reasons (Iniesto et al., 2017a). For this purpose, the User Experience model proposed by Hassenzahl (Hassenzahl & Tractinsky 2006, Hassenzahl 2018) can provide a deeper understanding on how learners perceive their MOOC experience in relation to their particular situation.

Taken together, Usability and User experience approaches allow a more comprehensive assessment of the instrumental and non-instrumental (pleasantness and satisfaction) dimensions of a MOOC experience. These two ergonomic dimensions are well documented as positive levers for the empowerment of learners by fostering their motivation, which plays a central role in learning activities, and has a significant impact on learner's performances (Stipek, 1993). A high level of engagement is a fundamental goal to be achieved, especially for PWDs whose attrition rate is generally high in distance learning situations (Iniesto et al., 2017b). Self-Determination Theory (SDT) has been proven beneficial in e-learning situations (Roca & Gagné, 2008) and is also considered as a reliable indicator for the information and communication technology acceptance (Lee et al., 2003). Thus, as proposed by the SDT framework, the evaluation of the proposed solutions should take into account the feeling of autonomy and competence, as well as the relatedness with regard to the community-based dimension promoted by MOOC platforms.

8.3 Participatory Design Method

In this section, we present the participatory design method that we have developed for our research project after reviewing the approaches mentioned above.

8.3.1 Participants

One of the main difficulties related to the participatory design process is to clearly identify all the stakeholders (Grudin, 2017). It is also important that the context in which the process takes place be well defined as it has a major influence on the perceptions on accessibility of the various stakeholders (Seale, 2006). Since our study focuses on the accessibility of e-learning systems for persons with cognitive impairments, we have identified different stakeholders as : students with cognitive impairments, multimedia learning specialists, special education specialists, disability specialists and human factors specialists, accessibility and assistive technologies specialists.

ID	Gender	Age	Description	Academic Level
P1	F	31	Schizophrenia	BSC
P2	M	34	Schizophrenia	MSC
P3	F	22	ADHD	BSC
P4	F	26	ADHD	BSC
P5	M	19	ADHD and dysexecutive syndrome	A level
P6	F	25	Dyslexia	BSC

Tab. 8.1 : Students with disabilities involved in the participatory design process (ADHD : Attention-Deficit Hyperactivity Disorder).

A total of six university students were recruited through the local university support service and a call for participation displayed at the offices of therapists. This choice allowed us to target students who were receiving support from the university's specialized services for people with special needs, whose eligibility is determined on the basis of a medical diagnosis certificate and a medical prescription to provide specific educational accommodations for them depending on their needs. Among them, there were 2 persons with attentional disorders and hyperactivity (ADHD), 1 person with ADHD and dysexecutive syndrome, 2 persons with schizophrenia and 1 person with dyslexia. Following the functional view of impairments promoted by the ICF (World Health Organization, 2001), this heterogeneous recruitment of participant allows a representative understanding of global and specific needs with regard to learning activities.

Thirteen professionals from the fields of expertise previously identified as most relevant in our particular context were also involved in the process. This multidisciplinary approach allows the inclusion of a broad spectrum of theoretical frameworks and methodological tools framing the entire range of interactions between all stakeholders, resources, technologies and activities. This is particularly important when generating new design ideas in a complex environment (Forlizzi & Zimmerman, 2013). A summary of our participants can be found in Table 8.1 and 8.2.

8.3.2 Participatory Design Process

Inspired by Spinuzzi's user centered design methodology (Spinuzzi, 2005), our participatory design process consisted of four main phases (see Figure 8.1). The first phase (*Requirement Gathering*) consisted in meetings and interviews with university students with cognitive impairments and professionals. On this basis, we built a first set of ideas for accessibility features (*Ideas Generation*) and we conceptualized them in paper

ID	Position	Area of expertise
E1	MOOC development team manager	Multimedia learning
E2	Instructional designer	
E3	Instructional designer	
E4	Software engineer	
E5	Software engineer	
E6	Special education teacher	Special education
E7	University social worker	
E8	University social worker	
E9	Neuropsychologist	Disability specialist clinicians
E10	Geriatric Psychologist	
E11	Web accessibility consultant	Human Factor and Assistive Technology
E12	Ergonomist	
E13	Human computer interaction designer	

Tab. 8.2 : Experts involved in the participatory design process. It should be noted that E8 is a deaf person and E11 is a blind person who uses screen readers and braille keyboard on a regular basis.

prototypes through an iterative process of use and improvement (*Prototyping*). Finally, we developed a first software prototype that has been evaluated using an experimental protocol (*Evaluation*).

8.3.3 Phase 1 : Requirements Gathering

In line with user-centered design approaches (ISO 9241-210 :2010, 2010) a participatory design process starts with a requirement elicitation phase to clarify the context of use and specify users needs and preferences. During this phase we held meetings with MOOC and accessibility experts, and have conducted interviews with students with cognitive impairments. This series of meetings took place over a period of approximately one year.

8.3.3.1 Preparation Meetings

In our context, the first step was to define the organizational and technical dimensions of a MOOC to delineate the scope of our intervention. To reach this objective, we organized several meetings with 5 members of a MOOC development team (**E1** to **E5**). Their goal was to list the constraints imposed by the platform in terms of educational objectives,

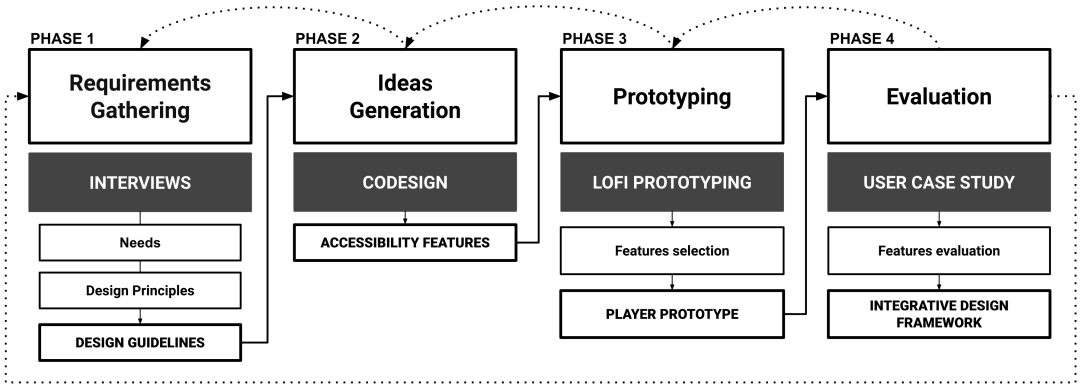


Fig. 8.1 : Participatory Design Process.

course organisation and format of teaching materials as well as the technical specifications of the platform and some information about user characteristics (*e.g.*, socio-demographic attributes, type of equipment, frequency and connection times, *etc.*). We also interviewed a Web accessibility expert (**E11**) to assess the relevant standards and guidelines to consider when creating Web content and to refine the usage contexts related to the use of specific assistive technologies.

In terms of platform specificities, we can isolate three major elements from a MOOC : the learning content delivered through video lectures, the auto-evaluation (*e.g.*, quizzes, peer-reviewed exercises *etc.*), and the community component such as a discussion forum. During the meetings, we quickly identified that the predominant use of video-based content cause several accessibility issues. Indeed, when teaching materials in the form of slide presentations are embedded into a single stream video, their content cannot be accessed through the use of screen readers (Wild, 2018). Moreover, this format prevents any content adaptation and thus is in contradiction with our approach. Discussions with experts also led us to consider that our system should comply with the main World Wide Web Consortium (W3C) accessibility guidelines (*e.g.*, WCAG - Campbell et al. (2018), UAAG - Spellman et al. (2015)) and respects the well-established standards for elderly adults and/or for sensory and motor disabilities (ISO/TR 22411 :2008 (2008), ISO/IEC 24751 :2008 (2008)), notably concerning interoperability with mainstream technologies for communication alternatives (ISO 9999 :2016, 2016).

8.3.3.2 Student interviews

During this step, our goal was to understand how students with cognitive impairments engage in learning activities, and identify any potential difficulties they may encounter in a MOOC use situation.

Following a case study approach, 45 to 60 minute-long sessions were conducted. At the beginning of each session, students signed a participation agreement after reading an informed consent form. All stages of the research project and related protocols have been reviewed and approved by our institution's ethics committee. They were then asked to fill a demographic questionnaire (age, gender and education level) and a diagnostic questionnaire (nature of the condition, date of diagnosis, physician's specialty, and self-evaluated severity level). As the majority of participants had never been enrolled in a MOOC, the session started with a short presentation of MOOC characteristics through an actual MOOC exploration. Then, a semi-structured interview was conducted with each participant. The agenda for the interview guide was organised around two main research questions :

- RQ 1 : What challenges do students with cognitive impairments face when they engage in learning activities, and what strategies do they perceive as helpful ?
- RQ 2 : What are the potential obstacles they may face when studying with a MOOC, and what solutions might help them ?

We transcribed the interviews and coded them following a two-cycle process (Saldaña, 2015). In the first cycle, we used a mixed coding method with structural coding (Guest et al., 2011) and descriptive coding (Miles et al., 2014). Even if the research questions guided the whole process, by combining these two techniques we ensured that the data analysis is bottom-up : patterns emerge during the transcriptions and are further investigated during a more systematic indexing process. In the second cycle, we used pattern coding to identify the emerging themes in the data.

Results

All participants reported attending both lectures and tutorial classes, as well as sitting exams, written assignments and classroom presentations. Eleven patterns emerged regarding how students with cognitive impairments engage in these different activities, the difficulties they face and what they perceive as facilitators. Table 8.3 provides an overview of pattern distribution among participants. Illustrative samples from the interview transcripts are available in Appendix A.

Participants	Pattern [ID]
P1, P2, P3, P4, P5, P6	Time-related constraints [1]
P2, P3, P4, P5, P6	Difficulty in taking notes [2]
P2, P3, P4, P5, P6	Difficulty to produce written content [3]
P1, P3, P4, P5	Difficulty to maintain focused [4]
P2, P3, P5, P6	Social component [5]
P1, P2, P6	Need of structured content [6]
P2, P3, P5	Knowledge consolidation and study skills [7]
P1, P3	Difficulty memorizing information [8]
P3, P5	Work organization [9]
P4, P6	Synthetizing information [10]
P2, P6	Oral examination preference [11]

Tab. 8.3 : List of emerged patterns and their distribution among participants.

[1] Time-related constraints : Students with disabilities are more prone to have chaotic and frequently disrupted university schooling due to potential unpredictable absences because of their hospitalization or medical appointments. Because of the fatigue induced by their medical treatment, some of them are unable to study in the evening and therefore cannot prepare the next class.

[2] Difficulty in taking notes : Note-taking is a rather difficult, if not impossible, task according to the students. Most of them choose to only focus on the teacher's discourse, and ignore other material (*i.e.*, slides, handbook, *etc.*) to ensure a better understanding of the course.

[3] Difficulty to produce written content : Most students expressed difficulties when it comes to writing expression. As it is the most common form of expression used for student evaluation, interviewees report that it increases the complexity of their exams and home assignments.

[4] Difficulty to maintain focused : Students expressed difficulties in staying focused during learning activities. This is especially the case when there is little interaction with the teacher, or when there are too many distractions in the room (*e.g.*, noise, talking, clutter, *etc.*). This lack of attention control leads them to engage discontinuously, and increases the risk of missing important information.

[5] Social component : Social interactions with teachers and other students affect in different and varied ways how students engage in learning activities. Group work is seen as more difficult than individual work, as they need to adapt to collective strategies that might interfere with their own work habits. However, they appreciate when an activity entails a

clear division of labour, as long as someone decide what they should do.

[6] Need of structured content : Courses content structure and representation have a significant impact on students' understanding. During the interviews, they expressed their difficulties in developing an adequate representation of the learning content throughout the course and find it really useful when a teacher provides a clear and consistent course outline.

[7] Knowledge consolidation and study skills : Students pointed out the difficulties in engaging in personal homework and reported that they spend a large amount of time when it comes to preparing an exam.

[8] Difficulty memorizing information : Students also find it difficult to remember new information, especially when instruction is based on rote learning.

[9] Work organisation : Two students pointed out several difficulties in organising their learning activities, especially when an activity has to be divided into several tasks and requires careful planning. As these strategies are cognitively demanding, they do not have sufficient resources when it comes to carry out their tasks effectively.

[10] Synthetizing information : Identifying the essential elements and presenting them in an organized fashion is seen as an almost impossible task for some students. As a consequence, they are unable to make courses or reading summary to help them during exam preparation or written assignments.

[11] Oral examination preference : Two students clearly stated their preference for oral examination rather than written ones. They motivate this preference by the fact that this type of assessment allows them to adjust their speech if teachers ask for clarification.

Problem space

Following a learning activity approach, we organized the emerged patterns into three clusters corresponding to the main learning tasks expressed by the students : Content reception, assimilation and production. We organized data in a multidimensional space using a Venn diagram (Figure 8.2) to highlight the overlapping aspects of certain patterns (Verdinelli & Scagnoli, 2013). This representation of the problem space also provides guidance for the next phases of the participatory design process.

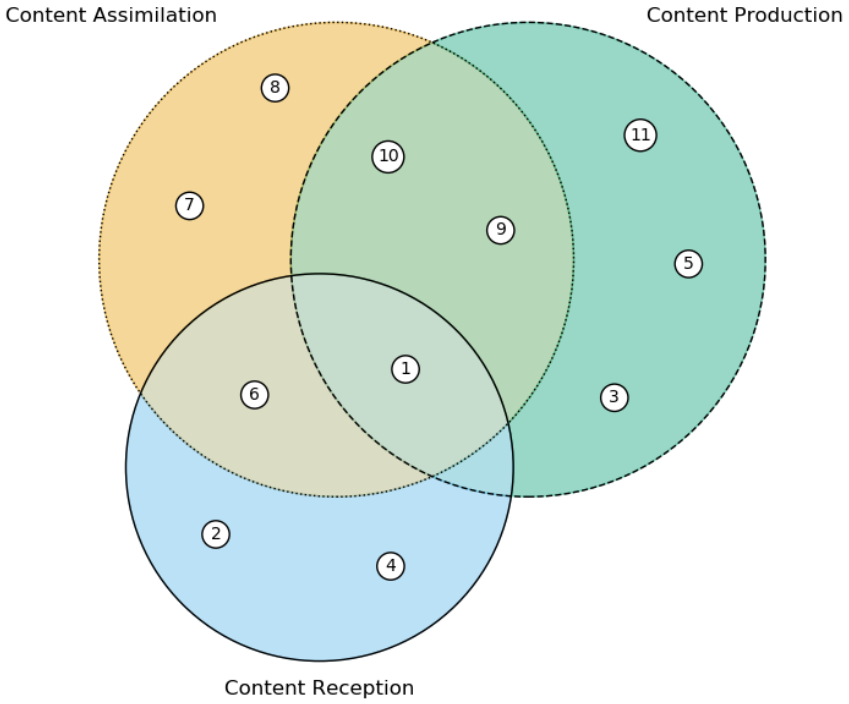


Fig. 8.2 : Spatial representation of the problem space. The circled numbers correspond to the pattern ID that can be found in Table 8.3.

8.3.3.3 Expert interviews

During the meetings, we asked the expert participants to list the potential difficulties that persons with cognitive impairments might encounter while taking a MOOC, and to propose design requirements and guidelines that are recognized as efficient in their field of expertise.

Emergence of Design Requirements & Guidelines

Discussions with experts have led to the identification and selection of design frameworks and guidelines from different research domains. The selection process was supported by the multidisciplinary background of the experts and through the light of the variety of cognitive needs identified in the context of MOOC's learning activities. The resulting design framework (see Figure 8.3) thus includes a set of requirements and guidelines

Fig. 8.3 : Design guidelines

from the theories in Multimedia Learning (Instructional Design and Cognitive Theory of Multimedia Learning), Special Education (Universal Design for Learning) and Human Factors (Environmental Support). A description of these theories can be found in Appendix B.

8.3.4 Phase 2 : Design Alternatives

The second step in a participatory design process is to conceptualize a design space by reviewing data gathered during the requirements elicitation phase. Based on the current MOOC design, our goal was to develop a set of alternative design to meet users' needs in terms of basic and specific accessibility features for our MOOC player. To do so, co-design sessions were organized to generate ideas from the problem space elaborated in Phase 1. By basing our design framework on the requirements and guidelines defined during the expert meetings, we ensured that we propose solutions that encompass all aspects of our context. In addition, it allows us to develop evaluation protocols based on scientifically acknowledged methodologies and metrics.

8.3.5 Results : Design ideas

Co-design sessions led to several observations seen as potential hindrance to the learning process of persons with cognitive impairments. The main observation was that the use of multimedia content as teaching material implies that learners have to engage in a wide range of tasks in parallel (*i.e.*, reading presentation slides, analyzing teacher's video, listening to the teacher's speech, taking notes, *etc.*), which requires strong multitasking abilities. This is further complicated by the use of video content that constrains learners to follow the teacher's pace which requires a quick and continuous information processing capability. This led to a substantial increase in cognitive load, which is known as woefully inadequate to effectively carry out learning activities.

Representation	Personalization	Appropriation
Provide sequences' structure	Allow user to choose between different content types	Note taking tools linked to the content
Provide time management tools	Provide different themes (windows color, shape, *etc.*)	Optional video slowing for note taking
Provide short videos	Save and Load settings	Timestamps
Reminders and notifications	Options for elements' sizes	Automatic pause of video after an important notion
User progression	Different options for text (font, color, size, etc.)	Downloadable learning material

Tab. 8.4 : Student's features proposition

Many of these concerns were also expressed by students when discussing the use of MOOCs. Among them, the pace imposed by the video in relation with the difficulty of taking notes was especially concerning. Even if the MOOC situation allows them to pause or browse the video, they were not sure they could determine its efficient use, without losing track of the entire lecture. These concerns raised several suggestions and participants expressed some functionality ideas that they thought might help them to be more efficient in their MOOC use. Table 8.4 summarizes these first ideas.

Thereupon, it was suggested that each source of information usually embedded in a video stream (*e.g.*, slides, teacher's video, subtitles, *etc.*) should be independent. This change in how contents are organized allowed us to define a set of features part of a self-configuration group :

- Selection of useful streams : Users can configure their work space by selecting the streams they want to watch, read and listen to.
- Spatial organization : Users can either keep a default layout, or modify it as they please. They can resize and move each of the content element windows.

These modifications can be made at any time (before starting or during perusal) and can be renewed whenever users wish to do so. By combining these features, users can dynamically configure their own work space to suit their wishes and abilities. Since this high level of configuration allows each of the distinct elements to be either displayed or hidden, it allows to adapt the visual attention span needed according to the learner's abilities. This brings up further discussions regarding how these personal configurations should be managed, and how they can be used to fulfill the student's needs. As a result, several personalization features were proposed :

- Profiles management : The layout configuration is automatically saved on the server-side and proposed as an individual user profile. If a user's needs evolve due to personal or contextual changes, they can reconfigure the player interface accordingly and save it as a different profile.
- Social learning : Users can export their profile and therefore share it, for instance with people who have disabilities close to their own. On a voluntary basis, this could contribute to strengthen the social bond between learners and promote the emergence of a supportive community.

All these first ideas mainly address how the learning content can be organized and displayed to provide great flexibility in layout modifications. In addition, it was also necessary to consider features that maximize the way users interact with the learning material. As identified in the first phase, a lack of structure for the learning content and the use of time-based media such as video sequences can lead to difficulties for people with cognitive impairment. To this end, we identified several functionality ideas to assist students with cognitive impairments to navigate and get meaningful markers throughout the courses :

- Semantic structure : Each MOOC sequence is divided into several instructional units, each representing all the information that must be considered in order to understand a given concept. Each unit can itself contain several slides depending on the complexity of the concept. The global structure is visually displayed close to the time progression bar and consists of tabs whose size varies according to their length.
- Levels of navigation : As our content is strongly structured, the use of standard video player functions appears limited. In addition to the standard time navigation, we added specific features to navigate sequentially between instructional units or slides, or choose to return to the beginning of a selected instructional unit.
- Time Markers : Instead of pausing the video when they want to take notes, users can use time markers to bookmark specific moments of a sequence. The markers are visible on the timeline and can be selected to play back the video from their exact position. By doing so, they avoid the stuttering of video playback that can make the course hard to follow.

Finally, thanks to the information architecture and content structure, we decided to propose complementary material through optional windows or multiple choices of content representation :

- Additional Window : Additional information such as description of important terms, acronyms definitions or icons that visually support the teacher's speech can be displayed to assist users in their understanding or to draw the user's attention to a particularly important part of the course. This additional material is managed like any other content, and remains optional and fully configurable in terms of location and size.
- Different teacher displays : Different points of view can easily be added and proposed to the learners. For instance, they can choose between several viewing angles for the teachers display, such as a classic frontal view or a profile view such as if the teacher's gaze was oriented towards the slides' content.

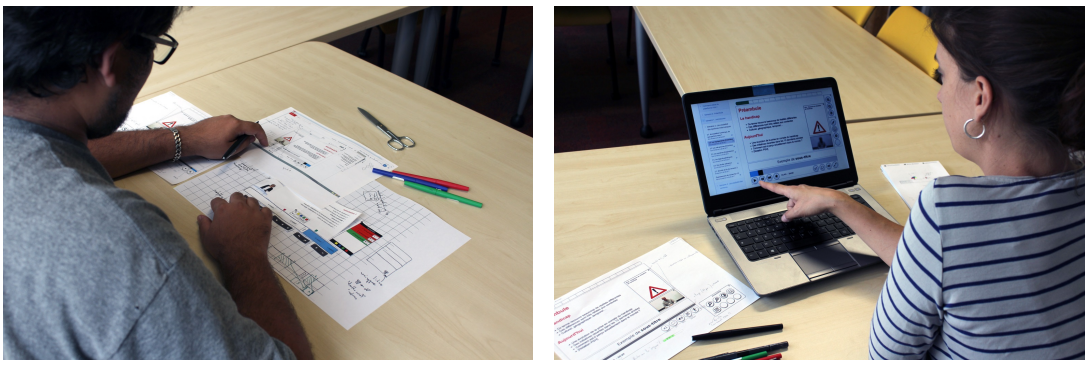
Ideas that emerged from the previous phase were conceptualized in basic paper prototypes (Rettig, 1994) with separated sketches of each window and button.

8.3.6 Phase 3 : Low-fidelity prototyping

Low-fidelity prototyping techniques are widely used in participatory design processes as they allow a formative evaluation of the design concepts and the generation of new ideas along quick iterations.

Paper prototypes were shown to participants to assess their relevance (Figure 8.4.a). The paper format is particularly appropriate for the drawing of detailed documentation, which is essential to improve the methodology of the global process. During each session, participants were asked to shape the interface by selecting and placing the desired stream windows in the layout. We also asked participants if they had any ideas for other functionalities that could fit their needs. Their suggestions and comments were directly annotated on the paper prototype. Their answers helped us to adjust our first proposition and revealed new ones, which we then showed to other participants in an iterative way, both on paper and on a non-interactive digital version (Figure 8.4.b). For instance, several participants explicitly asked for the possibility to remove all windows. They also proposed new interactions such as a drag-and-drop control for the time marker feature.

The participatory design approach led to a first version of an accessible MOOC player that served as a high fidelity prototype. It is based on a web video player expanded with additional elements obtained during co-design sessions. It included a main window containing course materials in HTML format, a window displaying the teacher video, an additional window with contextual information related to the sequence and a navigation bar including the time scroll bar, tabs depicting the semantic delimitation of the played sequence and the various



(a) Co-design session with a paper prototype. (b) Co-design session with software prototype.

Fig. 8.4 : Prototype co-design sessions.

controls for playback and navigation, audio volume, play rate, bookmark and a setting menu to configure which windows are displayed or hidden (see Figure 8.5).

It was evaluated in a multiple-cases study with students with cognitive impairments. The aim of this user study was to evaluate the impact of our design decisions on usability, and gather additional feedback to improve the general design. This evaluation also allowed us to develop and refine the experimental protocol in a small scale environment before a larger field study.

A total of four participants took part in this preliminary evaluation. Two of them had global cognitive impairments affecting pervasively all learning activities (**P1g & P2g**), while the other two participants had domain-specific cognitive impairments that selectively affected certain learning activities (**P3s & P4s**). A descriptive summary for each participant can be found in Table 8.5.

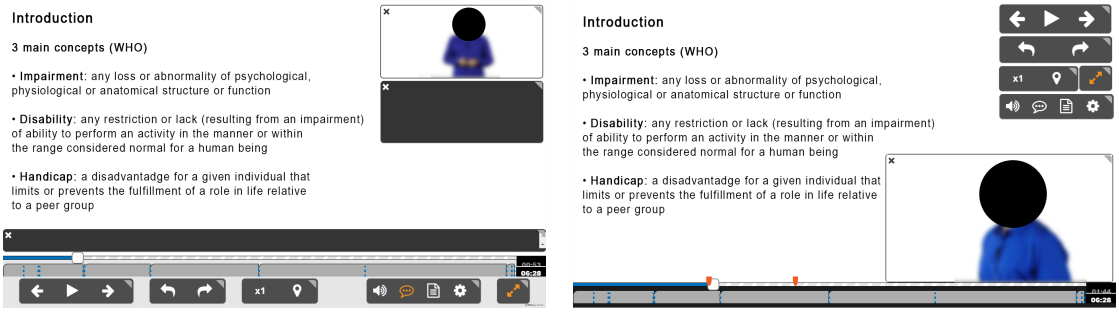


Fig. 8.5 : MOOC Player Prototype Screenshots showing separation of streams, selection of useful streams, spatial organization, additional window, different teacher displays.

ID	Gender	Age	Description	Academic Level
P1g	F	31	Schizophrenia	BSC
P2g	M	34	Schizophrenia	MSC
P3s	F	25	Dyslexia	BA
P4s	M	24	Dyspraxia	A level

Tab. 8.5 : Multiple case user study participants

8.3.6.1 Experimental design

Similar to the student's interviews protocol, each participant signed a participation agreement and filled in a demographic and a diagnostic questionnaire. The study began with a short video tutorial introducing the different features of the multimedia player prototype. Here, they were allowed to test these features and manipulate the different elements of the interface. Participants were given thirty minutes to follow two MOOC sequences (total duration of 15 minutes) and answer five multiple-choice questions about the content. Once finished, participants were asked to complete several questionnaires to evaluate the accessibility of our prototype :

- Usability was assessed using the standardized questionnaire System Usability Scale (SUS, Brooke et al. 1996). Numerous studies have shown that this is a robust measure of system usability (Bangor et al. 2008, Lewis & Sauro 2009) and that it can be used for any software system, device or service. This questionnaire comprises 10 items to be rated on a five-point scale ranging from strongly disagree to strongly agree, among which five are positive statements and the others are negative. The SUS score is single and ranges from 0 to 100, the higher the score the better the usability.
- User Experience (UX) was evaluated using the Attrakdiff2 questionnaire (Hassenzahl 2003, Lallemand et al. 2015). It uses a seven-point Likert scale to rate 28 items, the poles of each represent opposite adjectives (*e.g.*, "unusual-ordinary"). These items are then distributed in four groups to evaluate pragmatic quality (PQ), hedonic stimulation (HQ-S), hedonic identification (HQ-I), and attractiveness (ATT) derived from Hassenzahl's theoretical work model (Hassenzahl et al., 2001).
- Self-determination was measured using a custom-built questionnaire inspired from Vallerand (1997). This assessment comprises 9 items to be rated on a five-point scale ranging from strongly disagree (1) to strongly agree (5). The 9 items were distributed into the three main concepts of Self-Determination Theory : Autonomy, Competence and Relatedness (SDT, Ryan & Deci 2000).

- Cognitive load (CL) induced by the player was also measured using the raw version of NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). This questionnaire consists of 6 subscales representing the different factors relevant to define the subjective experience of workload when a user performs a task. The computed overall workload score ranges from 0 (low workload) to 100 (high workload).

These different measures were chosen based on the design guidelines that emerged during the discussions. At the end of the session, participants were also asked for qualitative feedbacks.

8.3.6.2 Results

In regards to the results, several comments can be made. The multimedia player prototype was well received by the participants, assessed by the overall good usability score (Average SUS score = 80.6). The player generates a moderate workload (RAW-TLX score = 48.8). Participants also reported a good self-determination support, especially in terms of autonomy and competence. The User Experience results are more heterogeneous, they exhibit a neutral trend for all the components evaluated by the questionnaire. Descriptive statistics for each participant can be found in Table 8.6.

When we look at the individual results, we observe that P2g differs the most from the rest of the participants. His SUS and SDT scores are relatively low and differ from other participants whose results are more homogeneous. During the discussion, he told us that he was reluctant with online courses, that he considered face-to-face courses to be the best way to learn and he seemed confused about the value of his participation in our research project.

ID	SUS	Attrakdiff2				SDT			CL
		QP	QHS	QHI	ATT	COM	AUT	REL	
P1g	90	2.8	2	1.6	2.1	3.6	5	1	57.5
P2g	62.5	0.1	0	-0.6	-0.8	1.3	2.6	1	56.8
P3s	87.5	0.7	0.8	-0.1	0.8	4.6	5	4	49.2
P4s	82.5	1.4	0.3	1	1.1	3.3	4	3.3	29.2
TOTAL	80.6	1.2	0.8	0.5	0.8	3.2	4.1	2.3	48.8

Tab. 8.6 : Multiple case study results.

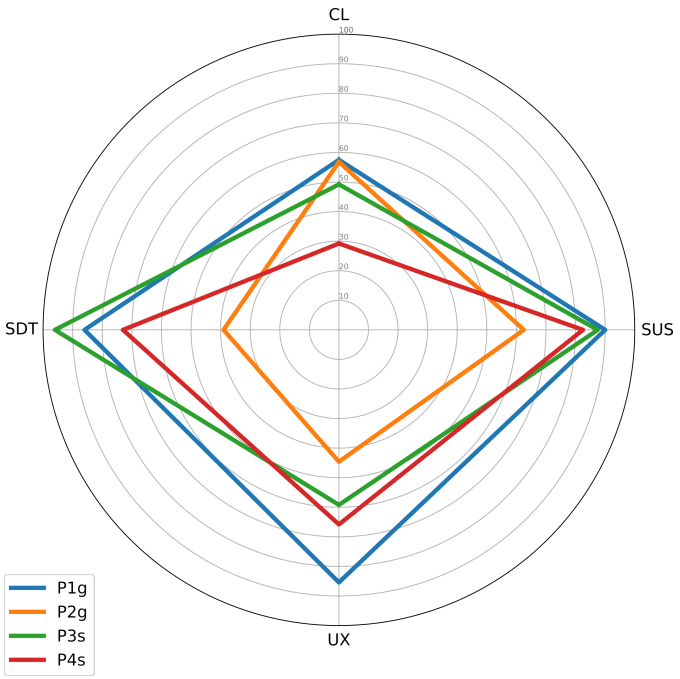


Fig. 8.6 : Comparison of participants results for the four metrics evaluated in the study : Cognitive Load (CL), Self-Determination (SDT, User Experience (UX) and Usability (SUS).

The individual results and discussions that followed the experimental task helped us to identify problems that we were not aware of, allowing us to improve the design in the next iteration. For instance, moving the different windows with the mouse was difficult for P4s, who requested to use the keyboard arrows instead. Finally, this preliminary study allowed us to refine the evaluation protocol that will be used in a larger field study.

8.4 Discussion

The results presented in this article underline the relevance of a co-design approach to conceive more accessible e-learning devices. By leveraging from the very beginning on real learning situations experienced by students with cognitive impairments, we were able to more accurately identify various barriers that may prevent them from engaging in e-learning activities. Through their involvement in every phase of the design process, we ensured that the proposed solutions are not only in line with their needs, but also respect their preferences.

The main challenge of a user-centered approach is to formalize in a synthetic way all

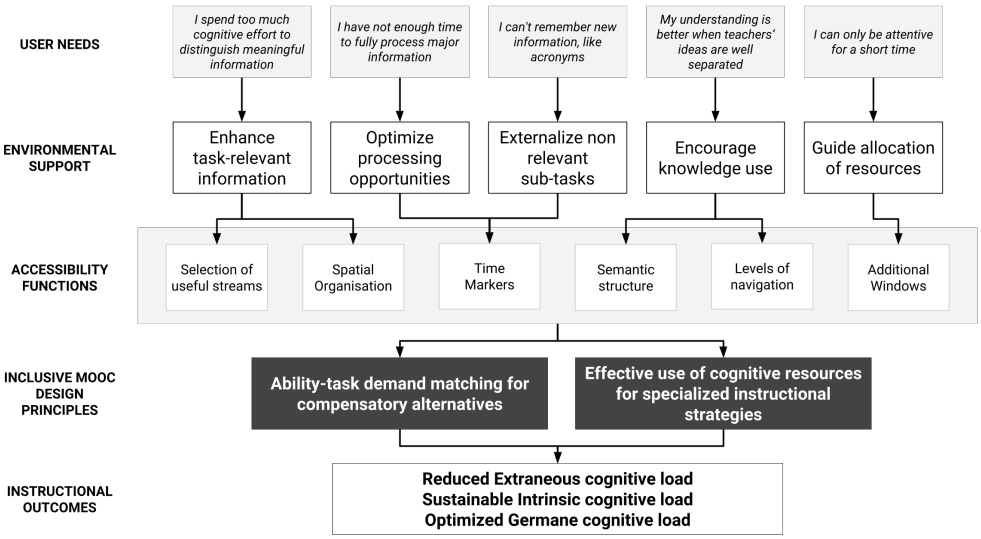


Fig. 8.7 : Integrative flowchart. The accessibility functions presented here are provided as examples.

the design principles that emerged from all participatory design phases. To this end, we propose an integrative framework that can be used to design more accessible e-learning systems. As shown in Figure 8.7, the design process is bottom up : user needs drive the elaboration of design principles.

At first, each needs are considered in light of the five environmental support categories defined by Morrow and Rogers (2008) : enhance task-relevant information, optimize processing opportunity, externalize non-relevant subtasks, encourage knowledge use, and guide resource allocation. This leads to the definition of accessibility functionalities and guides the ideation process in relation to contextual needs. The elements are then associated with inclusive MOOC design principles, mirroring the fusion of the two main environmental support functions (*i.e.*, reducing the task demands on mental resources and promoting the effective use of available resources) and the principles for Universal Design for Learning (*i.e.*, offer multiple representations of information, provide multiple ways of expression and support engagement in learning). Considering the main principles derived from the Instructional Design and Cognitive Load Theory, our framework provides guidance for assessing the expected instructional outcomes and is consistent with the research project's objectives.

This proposal of an integrative framework for inclusive instructional design enables the design of accessibility features and the proposal of options to customize the interface according to the users' wishes and abilities. Consequently, it respects the notion of a flexible interface without stigmatizing PWDs, in line with the ability-based design approach.

Although the main objective of our research project is to improve access to e-learning content for people with cognitive impairments, it was essential to examine MOOC accessibility in a more holistic way. As our design approach relies on a closely intertwined set of guidelines rooted in an inclusive design stance, it allows us to build more accessible e-learning solutions related to the goals of our research project without conflicting with other accessibility guidelines. Accordingly, the solutions that emerged through this process are not intended to solely provide assistance towards cognitive impairments, but can also lead to improved global accessibility. For instance, the idea of separating the different learning contents allowed the content of the slides to be provided in text format. Originally proposed to lower the cognitive load by reducing the amount of information displayed, it also allows the use of screen reading softwares on slide content, which is impossible in a video.

8.5 Limits

As a result of our recruitment process, it should be noted that participatory design sample did not cover all the medical conditions with mental functions impairments such as intellectual disabilities, autistic disorders spectrum, dysphasia, *etc.* Accordingly, some specific support functions usually associated with some of these conditions did not emerge during the interviews (*e.g.*, easy to read and understand material, social communication tools, *etc.*) underlining one of the limit of the functional approach we chose to take. It would therefore be possible to strengthen the integrative framework resulting from this initial work by including recommendations that are based on a more pathology-specific needs analysis. However, it would be important to consider these elements in the light of the functional approach to address the lack of transferability that a "design for one" approach may lead to, resulting in the development of functionalities that could only satisfy the very specific needs of a limited group of individuals. For example, recommendations regarding specific learning material characteristics would serve as a source of inspiration to define different options to fulfill the "Offer multiple representations of information" recommendation of Universal Design for Learning.

While we agree with the importance of understanding how specific disorders impact learning in a more general way, we believe that their use is limited in our context as it can overshadow relationships between a learner and the teaching material as a property of the learner experience. Similar to the limitations of using only Accessibility Guidelines when designing a website, it can also lead to misconception from stakeholders that might put the burden of accessibility on the platform and thus provide teaching material detrimental to person with cognitive impairments (*e.g.*, unnecessary elements, lack of structure, *etc.*). In future iteration it would be important to expand the variety of stakeholders to take into

account the content creator.

During the co-design process, all participants converged on the idea of considering the presentation of the learning material as the critical part to be considered for MOOC accessibility. As a consequence, it leads to a focus towards this particular component with few or no propositions concerning the evaluation methods or social components. Nevertheless, as our approach is not bound by the learning material but focuses on learning activities, our framework can also be used to design accessible solutions for these other aspects. For instance, the social part of a MOOC is usually handled outside of the course material (in a forum or a chat room) and it may be interesting to include it directly in the player, and thus mimic the social presence induced by a classroom. Following our inclusive design principles, such new functionalities could be modulated according to user capabilities for cognitively managing additional distractors. In a more general view, our integrative proposal can be seen as a fruitful design flowchart applicable to other e-learning systems. Future translational research could reinforce the generalization strength of our design principles.

8.6 Conclusion

In this article, we described the results of a participatory design process that involved students with cognitive impairments and specialists from various fields of expertise, and propose design principles that led to new functionalities to enhance MOOC accessibility. The results of a multiple-cases study evaluation of these functionalities embedded in a first prototype support the positive impact of our design decisions, confirmed by the high level of autonomy and competence perceived by our participants, and the moderate level of cognitive load induced by the player. As an extension of these results, we propose an integrative framework for the design of accessible e-learning systems that draws on the different needs and guidelines that emerged during the process.

The continuation of the iterative process will make it possible to refine these initial proposals. The player's evaluation, through its use for a MOOC available on a widely used platform, will provide an accurate measure of its benefits for people in real-life conditions of use. Aside from assessing the learning outcomes, the player's usability and the self-determination benefits with the protocol defined in this study, we will extend the investigation of interactions users make with the player by tracking the use of each functionalities. The analysis of these interaction events will provide us complementary data-driven information, allowing us to define more precisely the use and relevance of the features we propose. All together, the results of this field study should reveal new needs, which will serve to hone our design framework and initiate future participatory design sessions.

9

Évaluation pilote

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats d'une étude préliminaire de faisabilité pour l'évaluation à grande échelle du prototype d'Aïana dans le cadre de son utilisation sur la plateforme nationale FUN. Cette étude a été publiée et présentée à la conférence *ICCHP'18* (Linz, Autriche).

9.1 Introduction **130**
9.2 Related Work **130**
9.3 Design of Aïana, an accessible MOOC player **132**
9.4 Field Assessment **135**
9.5 Limitations and future work **137**

9.1 Introduction

Even if the situation of Persons with Disabilities (PWDs) is improving due to inclusion policies aimed at combating discrimination, there are still many areas where disability is somewhat overlooked. This is particularly the case for education : the representation of PWDs decreases drastically between primary school and higher education. Lower qualification leads to adverse consequences in the professional world, where unemployment rates for PWDs are much higher than average.

As online e-learning platforms such as MOOCs (Massive Online Open Courses) are playing an increasingly key part in our education and training systems (Clark & Mayer, 2016), they could allow PWDs to develop new skills, thus facilitating access to employment. Unfortunately, MOOCs are lacking in terms of accessibility, which contributes to PWD's social exclusion. Even if sensory and motor disabilities are beginning to be considered when designing accessible interfaces, this is rarely the case for cognitive impairments (*e.g.,* attention, memory, *etc.*). Although they are very common, they are often referred to as invisible disabilities because they are not very well-known outside of the family, medical or specialized environment (Matthews & Harrington, 2000).

Our overall goal is to enable the development of MOOCs that are accessible for many different learners, by including as much as possible those with cognitive impairments. The main contributions of this paper are :

1. The design and the implementation of a truly accessible MOOC player based on the pre-existing design principles as well as those from a participatory design, which included both PWDs and (scientific or professional) experts.
2. A field study on the use and efficiency (follow-up measures) of this MOOC player in a "real life" context, *i.e.* a real MOOC that we built and broadcast (5800 registered users coming from 60 countries).

9.2 Related Work

9.2.1 Accessibility design approaches

Several design frameworks have specifically addressed cognition-related issues. The most known are : Cognitive Load - Instructional Design (Sweller, 1994) which aims to reduce distractive and non-instructional information and promoting opportunities to process

target information ; Universal Design for Learning (Rose & Meyer, 2006) that proposes using specialized instructional strategies and compensatory devices like speech-to-text transcribers, and Environmental Support for cognition (Morrow & Rogers, 2008) that suggest to reduce the demands and attentional cost of tasks, and spare cognitive functions. Those frameworks are fully compatible with recent advances in accessible computing concepts, such as Ability-based Design (Wobbrock et al., 2011). It refocuses the accessibility issue on capability rather than disability to adapt a system to what a person can do. For instance, it recommends the possibility for users to adapt the interface instead of specifically designing an interface for PWDs. As a virtuous circle, these adaptations potentially provide benefits for all users. Edwards (1995) has shown that it is not a matter of placing a patch on existing systems, but of offering user-driven change. In a MOOC context, where many different people are involved, we think that it is important to take this approach to give all users the best chance to succeed, regardless of their conditions.

9.2.2 Accessibility & MOOCs

There has been little research activities on MOOC accessibility (Iniesto & Rodrigo, 2016). Most of the studies on MOOC accessibility were published after 2013 and focus on physically impaired learners. They are essentially based on the assessment of accessibility in relation to "mainstream" accessibility guidelines (*e.g.*, WCAG 2.0, Campbell et al. (2018)) and unfortunately they include few or no PWDs in the evaluation (Sánchez Gordón & Luján-Mora, 2017).

Most of existing MOOCs are not fully accessible. In 2014, Bohnsack & Puhl showed that most MOOC platforms had a lack of correct language markers or accessible design. This study concluded that accessibility was not considered when developing these platforms, effectively excluding PWDs and not fulfilling the claim that MOOCs are open to everyone. In accordance with these results, Iniesto & Rodrigo (2014) used automatic tools, a visual disability simulator and analyzed the educational resources of three Spanish MOOC platforms. They showed that many shortcomings in terms of accessibility (absence of links for navigation, misuse of headings or images without alternative text) prevent PWDs from benefiting from these new educational platforms.

Nevertheless, some projects try to overcome this lack of accessibility. The EU4ALL project (Boticario et al., 2012) provides a framework to satisfy eLearning accessibility needs of higher students by using already existing standards and guidelines to customize presentations of several Learning Management Systems. In a different way, Sánchez Gordón et al. (2015) propose a plugin for the OpenEdx platform, which adapts the content of the course according to the learner's preferences, needs and competences following a set of

predefined adaptation rules.

Although these two studies illustrate real progress in the design of MOOC systems, shifting from a technology to a human-centered approach. Unfortunately, the authors did not assess their systems with real learner and their progress should perhaps be considered as claims rather than ground truth of effective accessibility. Moreover, it is noteworthy that today, no study actually addressed the MOOC accessibility for cognitive impairments (attention, memory, *etc.*).

9.3 Design of Aïana, an accessible MOOC player

Participatory Design (PD) process was conducted to define the users' needs in terms of basic and specific accessibility features for Aïana. It consisted in meetings and interviews with 7 students with disabilities (age > 18 years) and 13 expert professionals. PWDs exhibited varied neurodevelopmental diseases or neuropsychological syndromes to be representative of cognitive needs that they encountered. To specifically address the needs of persons relative to their cognitive capabilities, we listed and consigned the successes and requests of PWDs in situations closely related to MOOC experience during interviews. This preparatory phase led to a first set of ideas for accessibility features conceptualized in paper mockups (Iteration Loop 1) then software mockup (Iteration Loop 2) in an iterative process. Finally, ideas selected during these two PD session loops were integrated into a first version of Aïana, our MOOC player. This version was then evaluated during a field study.

9.3.1 Key design features

In this section, the features from the participatory design sessions are presented. They are organized into two main purposes : self-configuration vs. access.

9.3.1.1 Self-configuration

Allows users to select the desired streams, and then configure the position and location of their display window and of the buttons of the interface.

- Separation of streams : Classically, a MOOC consists of several types of information (video, slides, subtitles) merged together in a single stream (video most

often). We built our MOOC using a different principle by explicitly separating all information streams into different windows.
Goal : Allow the user-selection of the more useful stream for using screen-readers or for optimizing the learning task.

- Selection of useful streams : Users can configure their work space in Aïana by selecting which streams they want to watch, read and listen. This choice can be made at any time and can be modified whenever users wish to do so.
  Goal : Enhance task-relevant information, for instance for people for whom few information can be processed such as in cases of cognitive slowing-down or with a decrease of divided-attention or working memory.

- Spatial organization : Users can either keep the initial layout as it is when Aïana is first launched, or modify it as they please. They can resize and move each of the control buttons and display windows. These modifications can be made at any time and can be renewed whenever users wish to do so.
  Goal : Enhance task-relevant information, for instance to avoid distractors for persons with selective attention deficits or spatial disorders such as in schizophrenia or in attention disorder syndromes.

- User profile : By combining these features, users can dynamically configure their own MOOC player to suit their wishes and abilities. These settings form the users' profile. If a user needs evolve due to personal or contextual changes (*e.g.*, MOOC topic, MOOC contents, *etc.*), then they can reconfigure the player's interface.
  Goal : Promote self-determination perception in users, particularly those related to autonomy as motivational leverage for online e-learning.

- Social Learning : Users can save this profile on their computer and therefore to share it, with people who have disabilities close to their own for instance. On a voluntary basis, these exchanges can help create communities of Aïana users, who can exchange and potentially help each other.
  Goal : Promote social interactions and community building, particularly between proficient and less proficient Aïana users.

9.3.1.2 Access

Allows users to access the stream of information they have selected and navigate through the courseware sequence (start, stop, forwards, backwards, bookmark, *etc.*).

- Additional Window : Unfamiliar terms or abbreviations are often explained only

once, the first time they occur. We added an information window providing short texts and simple icons. This additional information is intended to assist users in their understanding, for instance by providing the meaning of an abbreviation or by indicating with an alert icon where their attention is required.
Goal : Externalize non-relevant sub-tasks, for instance for persons with working memory and long-term memory impairments.

- Time Markers : To take notes, learners must pause the video, resulting in a stuttered playback of the video which can make course hard to follow. With Aïana, users can put tags on the timeline to mark specific moments of the course so they can quickly and easily access a specific piece of information that they were unable to fully process the first time they play the video.
  Goal : Optimize processing opportunities ; for instance, for persons needing specific repetitions or for persons with difficulties for achieving simultaneous tasks (i.e., listen and write) as in the cases of a cognitive slowing-down or attention disorders.

- Semantic Navigation : The standard functions for navigating video streams should be enhanced with new features, notably regarding concept-driven navigation in MOOC sessions. In Aïana, the course contents are divided into main instructional units (each containing information which must be considered as a whole to fully understand a given concept) that are presented using one or more slides. It is possible to navigate across the instructional units : users can either return to the previous one in the event of a misunderstanding if they wish to deepen their understanding, or they can move forward if they are already familiar with the current concept.
  Goal : Encourage knowledge use in MOOC navigation, for instance for persons with understanding disorders due to impairments in processing speed, attention working memory, or memory.

- Different teacher displays : Classically, teachers are filmed looking into the camera lens forcing users to process simultaneously, but separately, the communication stream uttered by teacher and the slide's contents. We proposed a classic frontal face view and a profile view such as the teacher's gaze is oriented to the slide.
  Goal : Enhance task-relevant information by supporting joint attention and by avoiding direct face-to-face interaction, for instance for persons with social particularities (such as schizoaffective disorder or autism).

9.4 Field Assessment

Aïana was used during two sessions of a MOOC dedicated to digital accessibility (5 weeks per session). 651 persons signed the consent form and completed the profile survey (end of week 1) including 94 PWDs (14%). Of these, 146 completed the course and answered all our surveys, including 24 PWDs (19.67%). Among these 24 participants, 8 declared at least one cognitive disability (designated COG group) and 16 declared at least one sensory or motor disability and no cognitive disability (designated NON-COG group). Disability was assessed by a questionnaire derived from the function disabilities taxonomy (sensory, motor/mobility, etc.) according to the International Classification of Functioning, Disability and Health (World Health Organization, 2001). It included 20 items, of which 8 were about sensorial capabilities, 3 about motor capabilities and 9 about cognitive capabilities (*e.g.*,I have difficulty reading text, I have difficulty staying focus, I have problems with memorization, *etc.*).

9.4.1 Assessment procedure

To study the impact of Aïana's features, three outcomes were analyzed :

- Usability score using the standardized questionnaire System Usability Scale (SUS, Brooke et al. (1996)). This questionnaire fits perfectly within an online environment (Van Selm & Jankowski, 2006).

- Learning score by a learning scale using multiple-choice questions. For each course video (each lasting between 2'31 and 10'23, average duration = 6'12) participants were asked to complete an assessment composed of 3 items on average. Each of the 30 assessments was then marked to give a percentage of success. We calculated two scores : once at mid-point (average over the first 14 assessments) and once at the end of the MOOC (average of all assessments).

- Self-Determination (SD) scores using a 9 items-rating scale inspired from (Vallerand, 1997) that assesses the three SD dimensions (Autonomy, Competence and Relatedness). SD is a key factor of technology accessibility and acceptance (Lee et al., 2015) and of e-learning progress (Roca & Gagné, 2008), notably for older adults and PWDs (Dupuy et al., 2016).

9.4.2 Results

Overall, all learners achieved high learning performance regardless of their disability condition (Table 9.1). Thus, the functionalities allowed them to access all the instructional material provided through the entire MOOC. Similarly, the Aïana usability results at the end of the MOOC reached a "good" usability level (average of 75) according to Bangor (Bangor et al., 2008). Before starting the MOOC sessions, we proposed a video-based demonstration and an illustrated user manual as recommended in the field of adoption of assistive technology (Kizilcec et al., 2017), allowing a good understanding of the offered functionalities amongst learners. Consequently, this video and this manual could have occasion a boost on the subsequent SUS scoring. Furthermore, although group difference failed the significance (p = .607), the mean examination of SUS score reveals that COG (74.75) was slightly more proficient than NON-COG (66.34) until mid-point.

Additionally, Aïana provided a good SD support to PWD needs in terms of autonomy and competence, known as important components for learners' intrinsic motivation. In distance learning, improving the intrinsic motivation of learners (i.e., self-determination) decreases the attrition rate of online learning platforms (Zahed-Babelan & Moenikia, 2010). This is even truer in the case of PWD, where the lack of accessibility can lead to a bigger effort to self-regulate their learning. Finally, regarding the participation rate, we compare our results to other MOOCs thanks to a recent paper studying eight MOOCs (Iniesto et al., 2017b). For the first week, we observed a slightly higher rate of PWD with Aïana (14%) than in other MOOCs (10.75%). At the end of the last week, the difference is much significant : 19.67% with Aïana versus 11.3%. Aïana seemed to make it possible to better keep PWDs throughout the MOOC. This is a promising result that truly accessible MOOC players improve opportunities for the educational inclusion of PWDs.

		NON-COG	COG
Learning Score (max. score = 1)	*Mid-point*	.87 (.08)	.78 (.15)
	End-point	.89 (.08)	.89 (.09)
Usability Score (max. score = 100)	*Mid-point*	66.34 (21.53)	74.75 (21.65)
	End-point	75.46 (23.53)	75.81 (13.57)
SD Score (max. score = 5)	**Autonomy**	3.46 (.23)	3.94 (.33)
	Competence	3.31 (.24)	3.71 (.34)
	Relatedness	3.20 (.25)	3.04 (.25)

Tab. 9.1 : Means (and standard deviation) for learning, usability scores (across times : Mid- vs. End-point) and for SD achieved scores according to group condition.

9.5 Limitations and future work

The user interface of this first version of Aïana has yet to be improved. As already noted, the current version promoted self-configuration according to users' abilities and preferences, but no adaptive features are included, Future works will address this issue to fully cover the principles of the ability-based design. The continuation of the iterative process will also allow us to increase the number of participants and therefore reinforce the statistical results and the diversity of disabilities of potential MOOC users. A tracking log of user's interactions with Aïana is currently under implementation. Its analysis should enable us to highlight the relevance of designed features.

Regarding the SD scores elicited by Aïana, it would be interesting to think about functionalities that strengthen the relatedness component. In MOOC, the social part is usually handle outside of the courses' material (in a forum or a chat) and it may be interesting to include it directly into the player, mimicking the social presence induced by a classroom. Such new functionalities should be modulated according to user capabilities for cognitively managing additional distractors.

We have successfully designed a MOOC player to support inclusive e-education. Results presented here provide evidence of its good usability value and its positive impact (learning and SD) for PWDs, notably for those with cognitive impairments.

10

Évaluation finale d'Aïana

S'appuyant sur l'étude décrite au chapitre précédent, ce chapitre présente une évaluation plus complète du prototype d'Aïana, à la fois en terme de nombre de participants, mais aussi par l'ajout de mesures de charge cognitive perçue et par l'exploitation des jeux de données d'interaction des utilisateurs à travers l'utilisation d'outils développés dans le domaine des *Learning Analytics*. Cette étude a été soumise au journal *Computers in Human Behavior*.

10.1 Introduction **140**
10.2 Related Work **140**
10.3 Previous Work : Design of an accessible MOOC player **144**
10.4 Materials & Methods **147**
10.5 Part I : Quantitative assessment **149**
10.6 Part II : Qualitative assessment **157**
10.7 Discussion **163**
10.8 Limitations & Future Work **164**
10.9 Conclusion **165**

10.1 Introduction

The Convention on the Rights of Persons with Disabilities (PWDs) is an essential framework provided to the signatory States to improve their social inclusion, particularly with regard to the promotion of equal access to education (UN General Assembly, 2007). It promotes their full participation in education systems, enabling them to define their professional project and, ultimately, to make their own choices in all areas of their lives (Ryan & Deci, 2000). It is well recognized that education is a decisive factor in shaping life-course and employability. Yet, across the world, PWDs experience significantly lower employment rates than persons without disabilities, and when they are employed, have less opportunities to grow and develop their careers within a company or evolve professionally in the job market (Hästbacka et al., 2016). One of the reason given by both PWDs and employers is that they still face barriers to access education, and therefore have fewer professional qualifications than the general population (World Health Organization, 2011). These difficulties are even more important for individuals with mental health difficulties or cognitive impairments (*e.g.*, memory disorders, attention disorders, *etc.*) who experience the lowest employment rates (Thornicroft et al., 2010) and are most often to be employed in a segregated environment (Verdonschot et al., 2009).

The overall objective of our work is to further increase the access to education for PWDs, notably those with cognitive impairments, through new e-learning systems, to contribute to their professional and social inclusion. We focused primarily on MOOC (Massive Open Online Courses) platforms, which are playing an increasingly important role in the academic and lifelong vocational training programs offered to the general population, and which are still growing strongly (Shah, 2018). Moreover, they are sufficiently flexible and adaptable to potentially ensure that content can be made accessible to as many learners as possible and that pedagogical approaches adapted to people with cognitive impairments can be used to support their learning.

10.2 Related Work

10.2.1 MOOCs Accessibility

Like most online learning systems *(anonymized citation)*, MOOCs suffer from a lack of accessibility, which hampers the full participation of PWDs, who are therefore excluded. While sensory and motor deficits begin to be considered in the design of MOOC platforms, there is a paucity of results for cognitive impairments (Sánchez Gordón & Luján-Mora, 2017).

Several studies illustrate the accessibility issues of MOOCs. In 2014, Bohnsack & Puhl (2014) showed that most MOOC platforms lack of correct language markers or accessible design. Iniesto & Rodrigo (2014) used automatic tools and a visual disability simulator to analyse the educational resources of three Spanish MOOC platforms and showed important shortcomings in terms of accessibility (*e.g.*, absence of links for navigation, misuse of headings, images without alternative text, *etc.*). Al-Mouh et al. (2014) conducted a case study to evaluate the compliance with the Web Content Accessibility Guideline (WCAG, Campbell et al. 2018) of ten Coursera[1] courses. Their results showed that none of the courses reached the minimum level of accessibility for visually impaired persons, mainly due to the exclusive use of audiovisual material with no audio description or text alternatives. Similarly, Sánchez-Gordón & Luján-Mora (2013) evaluated the accessibility of five Coursera courses for elderly users. They identified twenty-nine web accessibility requirements related to older users' requirements. and manually checked their level of conformance through a three-step procedure. They report that both the courses and the platform have accessibility issues that prevent elderly users from benefiting from them. In order to improve MOOCs accessibility they emphasize the need to raise awareness of the web accessibility requirements of elderly users among content authors and to provide them with techniques to avoid common failures. All of these studies highlight the lack of consideration for accessibility in the design of MOOCs, preventing PWDs from benefiting from these new educational platforms, in contradiction to the claim that they are open to everyone.

Some projects try to overcome this lack of accessibility by proposing adapted frameworks and plugins for MOOC platforms. For instance, the EU4ALL project (Boticario et al., 2012) provides a framework for content customization, based on existing standards and guidelines, to improve Learning Management Systems' accessibility. In a similar approach, Sánchez Gordón et al. (2015) developed a plugin for the OpenEdx[2] platform, which adapts the course content by matching the learner's preferences, needs and competences with adaptation rules derived from various accessibility and usability guidelines. These two studies illustrate an evolution in the design of MOOC systems, shifting from a technology to a human-centered approach. This shift towards user-centered design strategies for MOOCs can also be found in González & Rodríguez (2016). They proposed the use of semi-transparent layers on top of the actual MOOC interface to assist cognitive-impaired learners by giving them indications on how to interact with the different elements of the interface using simple phrases and explicit interactions.

1. https ://www.coursera.org
2. https ://open.edx.org/

10.2.2 Challenging the evaluation methodology for MOOC Accessibility

As a direct consequence of the paucity of research on the accessibility of MOOCs, there are no concrete guidelines to guide its evaluation. As a matter of fact, Iniesto et al. (2017b) have shown that most studies tend to limit their scope to just one single type of disability (*e.g.*, vision impairment) or to focus on a specific platform. Moreover, the accessibility assessments they present usually follow a single methodological approach, either quantitative or qualitative, and thus are not sufficient given the complexity of the issues related to MOOCs (Gasevic et al., 2014).

As MOOCs are built upon web technologies, they are generally assessed through the scope of web accessibility. Yet, as Yesilada et al. (2015) have shown, there is still no clear agreement on its definition. As a result, its assessment is still limited to compliance with standards and guidelines through automatic tool validation or expert review. Although these methods are useful to highlight some of the more common issues, several studies have shown that their validity and reliability are often overestimated (Power et al., 2012 ; Brajnik et al., 2012). As already mentioned above, accessibility issues need to be addressed at an individual level as overly generic approaches can overlook some specific needs.

User-centered approaches for the design of complex websites such as MOOC platforms encourage a more holistic view of accessibility. Usability, which is a well-established concept in human computer interaction design (Carroll, 2003), is therefore a relevant measure to assess accessibility (Petrie & Kheir, 2007). In our context, its evaluation ensures that accessibility features can be used by users with cognitive impairments to achieve learning goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a MOOC context (ISO 9241-210 :2010, 2010). Beyond the evaluation of objective characteristics, it is also important to consider the more subjective aspects of interaction. Indeed, while instructional objectives are clearly specified by teachers, learners can engage in a MOOC for a wide range of different reasons (Iniesto et al., 2017a). A high level of engagement is a fundamental goal to be achieved, especially for PWDs whose attrition rate is generally high in distance learning situations (Iniesto et al., 2017b).

In distance learning, it is well known that improving the intrinsic motivation of learners can lead to decrease the attrition rate of online learning platforms (Zahed-Babelan & Moenikia, 2010). This is even more true in the case of PWDs, where the lack of accessibility can lead to a bigger effort to self-regulate their learning. In this perspective, the Self-Determination Theory (SDT, Deci & Ryan (2004)) has been proven beneficial in e-learning situations (Roca & Gagné, 2008) and is also considered as a reliable indicator for technology acceptance (Lee et al., 2015). This theory refers to the psychological mechanisms involved in intrinsic motivation and autonomous decision-making, that play

a critical role in the perceived quality of life. More specifically, the SDT proposed that three basic psychological needs, namely competence, autonomy and relatedness, are either supported or challenged by social contexts (Wehmeyer & Patton, 2017). In the recent reconceptualization of SDT, known as the Causal Agency Theory, evidence is provided that the more self-determined a person behaves, the more likely they are to identify their strengths and weaknesses, leading to the improvement of their perceived of autonomy and competence. It is important to note that these causal relationships are increased in people with cognitive impairment (Wehmeyer & Shogren, 2016 ; Wehmeyer et al., 2017). Thus, the evaluation of MOOC accessibility should take into account the feeling of autonomy and competence, as well as the relatedness with regard to the community-based dimension promoted by MOOC platforms.

10.2.3 Learning analytics for accessibility

While there is no generally accepted definition of Learning Analytics (LA), many refer to it as "the measurement, collection, analysis, and reporting of data about learners and their contexts, for purposes of understanding and optimizing learning and the environments in which it occurs" (Siemens & Long, 2011 ; Schumacher & Ifenthaler, 2018).

If the improvement of student retention has always been a hot topic in MOOC LA (Hone & El Said, 2016b) few studies has taken into account disability and accessibility. This is a significant omission as several studies have demonstrate that disability can be a significant factor in academic and MOOCs attrition (Bean & Metzner, 1985 ; Tinto, 1998 ; Iniesto et al., 2017b). Cooper et al. (2016b) tried to move forward the field of LA by studying the retention rates between disabled and non-disabled students. To this end, they performed a comparison of odds ratio of completion rate of disabled and non-disabled students for 1338 learning modules from the Open University. Their results allowed to determine the reliability of this metric as a measure of accessibility and demonstrated how LA can improve the field of e-learning accessibility.

Since video lectures are one of the main media used for delivering MOOC content, analyzing video interactions has also received a lot of attention (Seidel, 2017). Using data generated by user interaction with the video player, video-based LA is used to study a macro-level of learning activity with the use of metrics such as the number of videos watched (Anderson et al., 2014), the engaging time (Guo & Reinecke, 2014) or students navigation styles (Guo et al., 2014). A more in-depth level analysis can also be used for MOOC instructors to closely examine how a student interacts with each video lecture, *e.g.* what types of video interactions are performed, when they happen and how intense they are (Kim et al., 2014). This can help to determine if students are encountering any issues for

a particular part of the course (Sinha et al., 2014), and in the end provide MOOC content providers opportunities to improve students' learning experience. Unfortunately, the video players involved in above-mentioned studies are all so-called mainstream players, and few research discuss video player accessibility issues.

10.3 Previous Work : Design of an accessible MOOC player

As the overall objective of our work is to further increase the access to education for PWDs through new e-learning systems, we have initiated a research program aimed at enhancing the accessibility of MOOCs, with a particular focus on persons with cognitive impairments. To achieve this objective, we have chosen to adopt a multidisciplinary approach and engage PWDs as stakeholders, involving them throughout the design, tests and field-study evaluation of the proposed solutions. In line with user-centered design approaches (ISO 9241-210 :2010, 2010) the participatory process was initiated with a requirement elicitation phase to clarify the context of use and specify users needs and preferences (ANONYMIZED CITATION). We held meetings with specialists from various fields of expertise (including experts in multimedia learning and MOOCs, special education, human factors, accessibility and assistive technologies), and conducted interviews with university students with cognitive impairments (*i.e.*, ADAHD, dysexecutive syndrome, dyslexia, schizophrenia, *etc.*).

From both needs, guidelines and co-design sessions, a first prototype of an accessible MOOC player has been developed and evaluated in a multiple-case study with 4 students with cognitive impairments. The results and discussions helped us to identify problems that we were not aware of, allowing us to improve the design in the next iteration, and refine the experimental protocol in a small scale environment before a larger field study. Finally, ideas selected at the end of the all process were implemented into a first version of Aïana, our MOOC player (Figure 10.1).

The design of Aïana was based on a fundamental principle : the fragmentation of pedagogical content into independent elementary streams (*e.g.*, video, audio, subtitles, *etc.*) synchronized in time. This change in content organization has allowed us to define a set of self-configuration features for users to dynamically configure their learning experience according to their wishes and abilities :

- Selection of useful streams : Users can configure their work space by selecting the streams they want to watch, read and listen to.

- Spatial organization : Users can either keep a default layout, or modify it as they please. They can resize and move each of the content element windows.
- Profiles management : The layout configuration is automatically saved on the server-side and proposed as an individual user profile. If a user's needs evolve due to personal or contextual changes, they can reconfigure the player interface accordingly and save it as a different profile.
- Social learning : Users can export their profile and therefore share it, for instance with people who have disabilities close to their own. On a voluntary basis, this could contribute to strengthen the social bond between learners and promote the emergence of a supportive community.

The main goal of these self-configuration set of features is to enhance task-relevant information, especially crucial regarding to people for whom few information can be processed such as in cases of cognitive slowing-down or with a decrease of divided-attention, sustained attention or higher-level cognitive functions as described in ICF-CY (World Health Organization, 2007) and covering executive functions involved in complex goal-directed behaviours such as decision-making, abstract thinking, planning and carrying out plans, mental flexibility, and deciding which behaviours are appropriate under what circumstances (*e.g.*, time management, cognitive flexibility, inhibition, judgement, *etc.*). All the modifications can be made at any time (before starting or during perusal) and can be renewed whenever users wish to do so. By offering the user the possibility of customizing the layout himself, these features can enhance the user's perception of self-determination, especially with regard to autonomy, which is known to be an essential factor behind online education success.

Another strong outcome allowed by these features is the opportunity to directly and easily adjust the cognitive load induced by instructional flow by setting the number and the

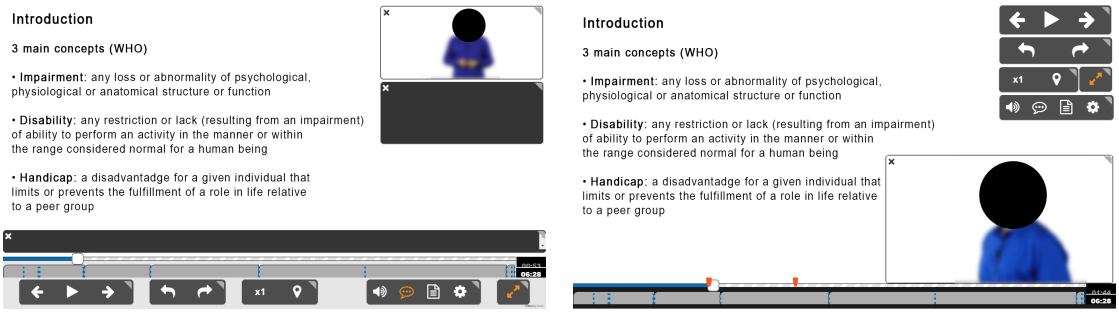


Fig. 10.1 : Two configurations of Aïana.

representation of the displayed learning material. Keeping in mind that the compensatory mechanisms used by PWDs result in significant cognitive costs (Morrow & Rogers, 2008), added to the cost incurred by the processing of irrelevant information that can be provided during a teaching sequence (*e.g.*, teacher's gesture, Paas et al. (2003)), it is a critical asset that needs to be addressed to optimize cognitive processing.

All these first functionalities mainly address how the learning content can be organized and displayed but it was also necessary to consider features that maximize the way users interact with the learning material. To this end, we proposed several functionality to assist students with cognitive impairments to navigate and get meaningful information throughout the courses :

- Semantic structure : Each MOOC sequence is divided into several instructional. units, each representing all the information that must be considered in order to understand a given concept. Each unit can itself contain several slides depending on the complexity of the concept. The global structure is visually displayed close to the time progression bar and consists of tabs whose size varies according to their length.
- Levels of navigation : As our content is strongly structured, the use of standard video player functions appears limited. In addition to the standard time navigation, we added specific features to navigate sequentially between instructional units or slides, or choose to return to the beginning of a selected instructional unit.
- Time markers : Instead of pausing the video when they want to take notes, users can use time markers to bookmark specific moments of a sequence. The markers are visible on the timeline and can be selected to play back the video from their exact position. By doing so, they avoid the stuttering of video playbacks that can make the course hard to follow.
- Additional Window : Additional information such as description of important terms, acronyms definitions or icons that visually support the teacher's speech can be displayed to assist users in their understanding or to draw the user's attention to a particularly important part of the course.
- Different teacher displays : Different points of view can easily be added and proposed to the learners. For instance, they can choose between several viewing angles for the teachers display, such as a classic frontal view or a profile view such as if the teacher's gaze was oriented towards the slides' content.

Most of these functionnalities allow to externalize the non-relevant sub-tasks and optimize processing opportunities, and thus can serve as environmental support for instance

for persons with working memory and/or long-term memory impairments, persons that need specific repetitions or for persons with difficulties for achieving simultaneous tasks (*i.e.*, listen and write) as in the cases of a cognitive slowing-down or attention disorders (Morrow & Rogers, 2008). They also encourage knowledge use through structured navigation, and thus can support persons with understanding disorders due to impairments in processing speed, attention or working memory. Finally, the profile view option allow to avoid direct face-to-face interaction, for instance for persons with social particularities (*e.g*, schizoaffective disorder or autism) as well as enhance task-relevant information by supporting joint attention toward contents displayed on the slide.

Field Study Objectives

The study described in this article aims to evaluate the main concepts of Aïana and assess the impact of its features on accessibility in a real context of use. Consequently, the primary goal of the present work is to provide evidence-based study investigating the learning experience of PWDs (with and without cognitive impairments) *vs.* persons with no disability (NODs) when using our accessible MOOC player. The main expected results are that Aïana allowed the PWDs to :

- Reduce their more frequent drop-outs across MOOC session ;
- Achieve an equal level of learning performance comparing to NODs ;
- Maintain a sustainable cognitive load level ;
- Experience feelings of self-determination as high as those of other learners.

10.4 Materials & Methods

We used a causal comparative study design, a more ethically appropriate research method in our educational settings, as a classical (control-observed) experimental design would have lead us to randomly force some users to use a traditional player and force others to use ours.

Data collection was performed during four consecutive sessions of a MOOC about Digital Accessibility delivered on a widely-used MOOC platform from November 2016 to April 2019. The entire course consists of 32 modules that are divided over 5 weeks. Each modules contained one or two videos as well as a quiz used for learning assessment. All data was collected anonymously using an external registration process managed by the MOOC

platform. Anonymization was ensured by the use of a code to de-identify each participant's data. The entire study design as well as data management has been approved by the ethics committee of our research institute and each participant gives informed consent before participating in the study.

10.4.1 Procedure and participants inclusion criteria

Before starting, participants were informed of the novelty of Aïana and its link with a research program. In order to give learners the opportunity to be more familiar with the player, an instructional session (Preparation Week) was included. During this session, a tutorial presented the different features available and users were invited to test them and configure their interface according to their specific preferences or needs. In addition, participants were also informed that they could share their personal configuration in a dedicated forum thread and engage in discussions with the pedagogical team.

Prior to the first module, participants were asked to fulfill a profile questionnaire composed of demographic questions (including gender, age, and education level) in which they could self-declared a disability from a questionnaire derived from the standardized ICF's function disabilities taxonomy. It included 20 items, of which 8 were about sensorial capabilities, 3 about motor capabilities and 9 about cognitive capabilities (for instance : *I have difficulty reading text*, *I have difficulty staying focus*, *I have problems with memorization*, *etc.*). Participants that declared at least one disability were distributed in a PWDs group while the others formed the Persons with no disability group (referred as NOD group). Two series of research questionnaires were proposed, once at mid-point (after 14 modules) and once at the end of the MOOC. Interaction logs were also collected for each user, in the form of a set of traces recorded at each interaction with a functionality (*e.g.*, the user clicks on a button on the interface, moves one of the elements, *etc.*). A summary of the procedure can be found in figure 10.2.

In the following sections, we present the findings of the field study in two consecutive parts : Part 1 describes the results (module completion, attrition and participation rates, logs interaction with MOOC Player) of the quantitative assessement and Part 2 presents the results of the qualitative assessement (usability, cognitive load and self-determination measures).

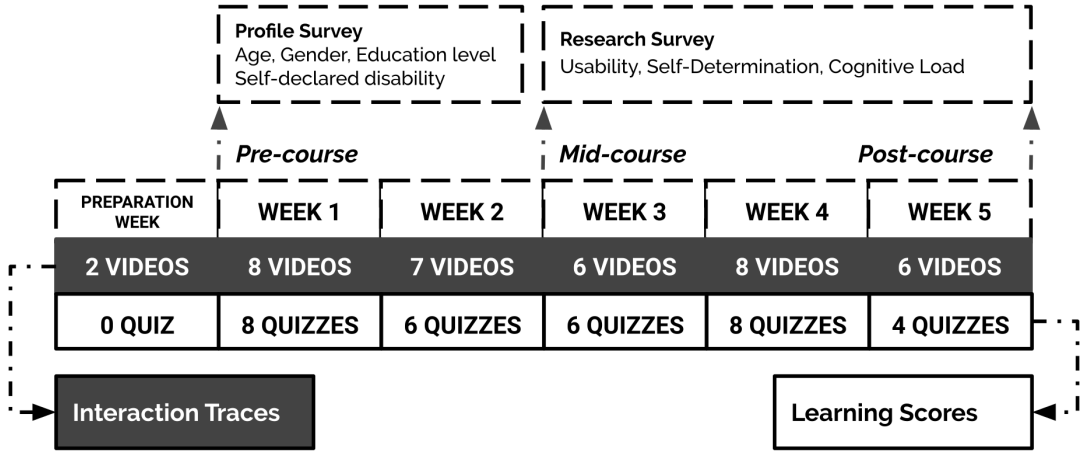


Fig. 10.2 : Study Procedure.

10.5 Part I : Quantitative assessment

In order to have a preliminary understanding of the participation of PWDs and NODs in the course, we first compared the number of learners who completed the surveys for the two groups. Then especially to test whether the accessibility is a dominant factor in determining the retention of disabled students in this MOOC, we analyzed the course completion by : *a.* performing a comparison of the 32 modules' odds ratios (OR) of completion rates in our MOOC with the dataset in Cooper et al. (2016a) ; *b.* performing a comparison of participation and attrition between the two groups of learners (PWDs and NODs) ; *c.* analysing the early interaction behavior of the two groups regarding their use of Aïana accessibility functionnalities.

10.5.1 Participants

To be included in the quantitative assessment, participants must have filled the profile survey and have only take part of one of the four sessions of the MOOC. After the exclusion of 32 participants enrolled more than once, a total of 646 participants were included. Among them, there were 87 PWDs and 559 NODs.

10.5.2 Measures & Statistical Treatment

10.5.2.1 Modules Completion

In this part, we drew on the analytic method presented by Cooper et al. (2016a) to evaluate accessibility, using a relative odds ratio (OR) value to reflect the impact of disability on course completion according to the following formula (1) :

$$OR = \frac{odds_{NOD}}{odds_{PWD}} = \frac{p/(1-p)}{q/(1-q)} \tag{10.1}$$

Where p is the completion rate of NODs, then $odds_{NOD} = p/(1-p)$ and q is the completion rate of PWDs, then $odds_{PWD} = q/(1-q)$. The OR value assesses whether the variable of disability significantly affects the completion rate of the course : when OR > 1, NODs perform better than PWDs. The larger the OR is, the greater the disparity between the two groups. The authors defined a threshold of 3.0 for the OR value so as to filter out cases where factors other than disability would have an impact on student performance. Therefore, when OR > 3, disability has a significant effect on student performance.

We first calculated 32 modules' odds ratios (OR) of completion rates, then compared them to the dataset in Cooper et al. (2016a) through a visualization analysis. To avoid distortion, modules with less than 25 PWDs were not considered.

10.5.2.2 Participation and Attrition

To give us an outline of PWDs' global participation in the course, we counted the number of NODs and PWDs that fulfilled the profile survey, the mid-course survey and the end-course survey, and compared the proportion of PWDs in each stage with the results provided by (Iniesto et al., 2017b) that studied PWDs participation in eight MOOCs with a similar procedure.

Participation in each module was defined by the proportion of active learners (*i.e.*, learners who watched videos or completed the quiz in the corresponding module). Given that most students tend to follow MOOC courses by video sequence (Qu & Chen, 2015) and that, as the course progresses, the number of active people declines (Belanger et al., 2013), we chose the module sequence order as the time measure, and drew the attrition curves for PWDs and NODs. To compare their respective attrition rates, we calculated

the Fréchet distances of the two normalized curves. The Fréchet distance is a measure of similarity between curves that takes into account the location and ordering of the points along the curves (Alt & Godau, 1995). When the Fréchet distance is less than 1, it indicates that the two trajectories are similar, which means the attrition rates of the two groups are the same.

10.5.2.3 Survival analysis

To model the probability that learners dropped out the course, we conducted a survival analysis, a method used to examine how specific factors influence the rate of a particular event happening at a particular point in time, in our case, dropping out. More specifically, we used means of a Cox proportional hazard model (Cox, 1972) that can be expressed by the hazard function denoted by $h(t)$ (2) :

$$h(t) = h_0 \times exp(b \times x_{disability}) \tag{10.2}$$

Where :

1. t represents the time of participation in the course
2. h_0 is the baseline hazard
3. $exp(b)$ is the hazard ratio (HR)

The hazard ratio represents the effect size of disability : being in the PWD group reduces the hazard of dropping out when HR is less than 1, while increases the hazard when HR is more than 1. Finally, we conducted a Wald test to evaluate the effect of disability on dropping out (Agresti & Kateri, 2011).

10.5.2.4 Early interaction

It is well known that accessibility barriers lead to dropout in the first moments of service use. To further investigate Aïana efficiency, we analyzed the use of its functions during the first five minutes. To be included in the early use analysis, participants must have allowed us to track their interactions with the player and interacted at least one time with it to generate an interaction logs file. After the exclusion of participants with no interaction logs, 537 participants (76 PWDs, 461 NODs) were included in this analysis.

To compare the potential effect of first five minutes use behavior on the course completion, we divided each group among two categories according to their course completion : Completers and Dropouts. To be identified as a completer, a participant had to meet at least one of the following criteria :

1. Obtain a final learning score greater than or equal to 0.55, which corresponds to the lowest grade for obtaining a completion certificate.
2. Watch at least 90% of the videos (*i.e.*, at least 34 videos).

There are 40 completers and 36 dropouts out of 76 PWDs, and 236 completers and 225 dropouts out of 461 NODs.

Aïana's functions fall into two main types. One type is the mainstream function, available in mainstream players, including play, pause, adjust volume and play rate, seek bar, turn on/off the subtitles and enter full-screen mode. The other type is accessibility function, which are specifically added to improve accessibility, including fast-forward or rewind according to slides or notion, add/remove/delete bookmarks, adjust size and position of interface elements, export or import user preferences. For each learner, we calculated the total number of clicks on accessibility functions within five minutes using the first interaction trace generated as the starting time. Since the number of clicks on the accessibility functions did not conform to the normal distribution by Kolmogorov–Smirnov test, and considering the large sample size gap between PWDs and NODs (PWDs :NODs $\approx$ 1 :7), we chosed to use type-III sums of squares, recommended for unbalanced designs, to compute a two-way ANOVA analysis.

10.5.3 Results

10.5.3.1 Module Completion

The average module completion rate is 90.40% for PWDs and 90.48% for NODs. In comparison with the study performed by Cooper et al. (2016b) where the module completion rate is 69.5% for PWDs and 75.3% for NODs, in our MOOC the vast majority of learners complete a module as long as they participate in it. From the 32 modules in our MOOC, there are 15 modules with an OR value inferior to 1 (52%) and 2 with an OR value equal to 0 (*i.e.*, all PWDs completed the module). As no module exhibits an OR value above 3 (max OR = 2.43), we can conclude that accessibility is not a dominant factor to determine the completion rates of PWD (Cooper et al., 2016b).

Figure 10.3 presents a visualization of the distribution of the OR of completion rates obtained from our dataset ($N = 32$), overlaid with Cooper et al. (2016a) dataset[3] ($N = 668$). We can observe that our results are basically located in the middle and lower part of the distribution, which means that our MOOC shows better accessibility than most other MOOCs. Although there may be some differences between modules, considering the high average completion rate of PWDs, we can conclude that our MOOC gives PWDs a relatively equal and more inclusive e-learning environment.

The above results suggest that the use of Aïana allows PWDs to engage in MOOC in a similar way as NODs and that it does not present any additional barriers to their participation. It should be noted that the only study on MOOC accessibility with analytics method was not able to assess this indicator over an entire MOOC session due to an insufficient number of PWDs on certain modules ($N < 25$) Cooper et al. (2016a). In our study, the number of PWDs participating meets statistical requirements, thus it does not cause a large fluctuation in the proportion of active learners because of the retention or attrition of individual student whose data are presented hereafter.

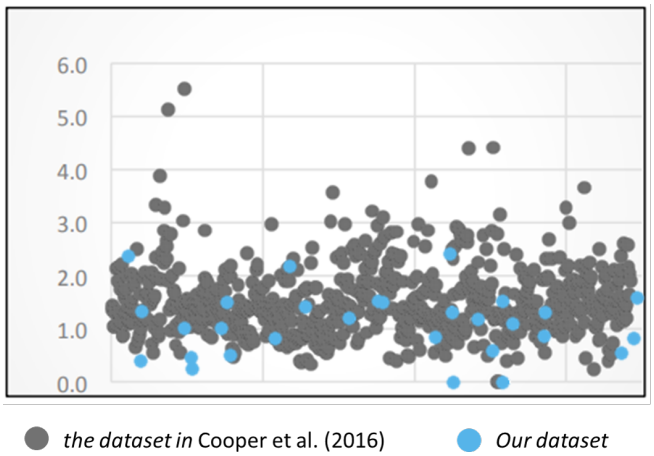


Fig. 10.3 : Distribution plot of odds ratios of completion rates. Each dot represents a module presentation (distributed along the x-axis in no particular order) ; the y-axis is the odds ratio value ; the gray dots represent the dataset in Cooper (2016) and the blue dots represent our dataset.

3. As we did not get the complete data of Cooper et al. (2016a), it was not possible to compare the two datasets with statistical methods.

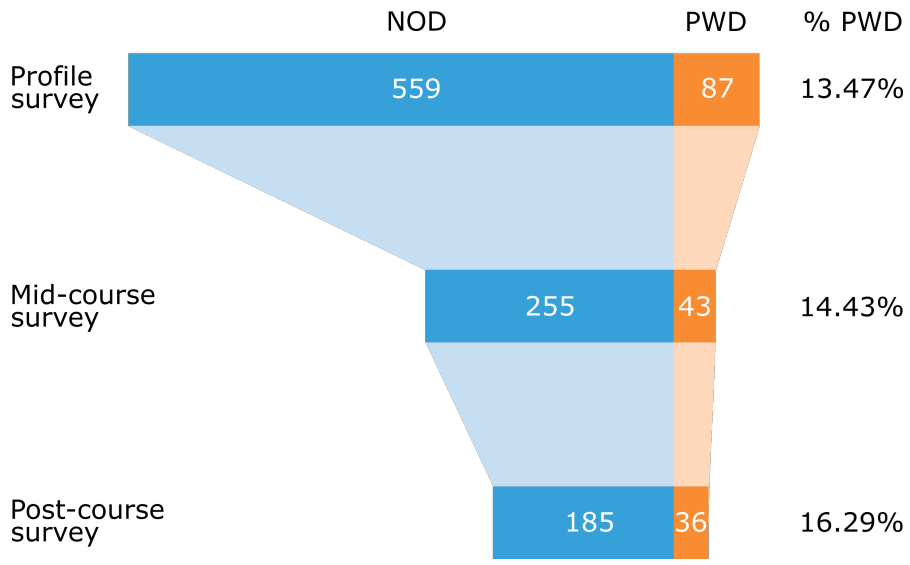


Fig. 10.4 : PWDs proportion in surveys.

10.5.3.2 Participation and Attrition.

Figure 10.4 shows the number of PWDs and NODs along the proportion of PWDs who completed the pre-course, mid-course, and post-course surveys. About half of the learners that filled the pre-course survey did not filled the middle-course survey. After that, most learners who filled out the mid-course survey also filled out the post-course survey. The result of a chi-square test shows no significant correlation between disability and survey completion ($\chi^2 = 2.9786, p = 0.2255$).

At the beginning of the course, we observe a slightly higher rate of PWDs in our MOOC (13.47%) than in other MOOCs (10.75%) (Iniesto et al., 2017b). At the end of the course, the difference is more significant : 16.29% in our MOOC *versus* 11.30% in other MOOCs. This result suggest that our MOOC displayed by Aïana effectively promotes the participation of PWDs.

Regarding the participants attrition, the proportion of active learners is about 83% of the total number of participants (85.06% in PWDs and 83.18% in NODs) in the first module, indicating that nearly 17% of learners abandoned the course after the preparation week. As the course progresses, the proportion of active learners gradually decreases, (Figure 10.5). The Fréchet distance between PWDs and NODs attrition curves is 0.242 (< 1), which indicates that the two trajectories are similar. Consequently, the attrition rates of PWDs and NODs are equivalent.

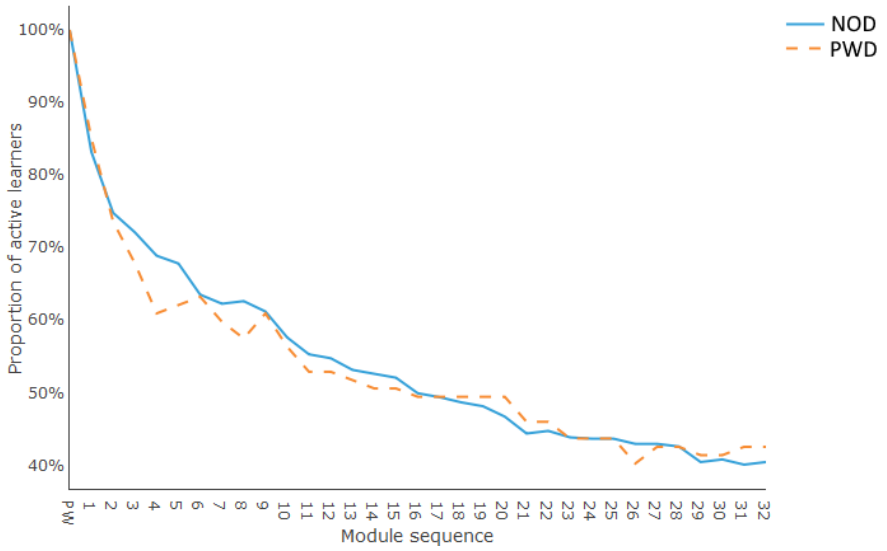


Fig. 10.5 : Attrition curves.

10.5.3.3 Survival Analysis

In our resulting survival model, the Hazard ratio of disability is equal to 1.02, suggesting that PWDs are 2% more likely to drop out of the course than NODs. Furthermore, the result of the Wald test shows that disability had no significant effect on the probability of dropping out ($z = 0.176, p = 0.86$). When plotted together, the survival curves of PWDs and NODs present a similar trajectory (Figure 10.6). Although the proportion of active PWDs is slightly smaller, the attrition rates of the two groups are the same. As such, these results suggest that the use of Aïana allows PWDs to much better attend in a MOOC - *i.e.*, in a similar way than persons without disability - and that it does not present any additional barriers to their participation.

10.5.3.4 Aïana early use

As shown in Figure 10.7, in the first five minutes, the average number of clicks for NOD dropouts is 1.49 ($sd = 4.11$) and that for NOD completers is 1.34 ($sd = 3.15$). In comparison, the average number of clicks for PWD dropouts is 0.61 ($sd = 1.69$) and that for PWD completers is 2.30 ($sd = 4.15$). The result of a two-way ANOVA shows that there is an interaction between disability and course completion ($F(1, 1, 533) = 4.2608, p = 0.039, \eta^2 = 0.008$), which indicates that the difference in the use frequency

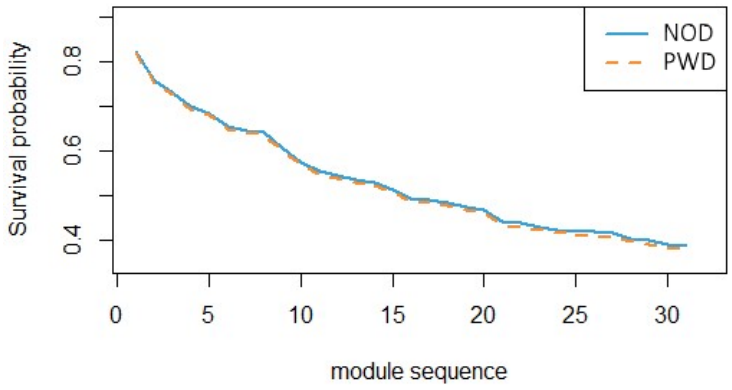


Fig. 10.6 : The predicted survival proportion by module.

between PWD completers and the PWD dropouts is significantly larger than that between NODs completers and NOD dropouts. A further Mann–Whitney U indicates that there is a significant difference between PWD completers and PWD dropouts in the average number of clicks on accessibility functions ($U = 534.5, Z = -2.29, p = 0.023, Cohen'sd = 0.523(medium)$). However, this difference between NOD completers and NOD dropouts ($U = 25866, Z = -0.579, p = 0.563, Cohen'sd = 0.0411$).

From the above series of results, we see that *PWD completers* exhibits more use of accessibility functions during the first five minutes compared to PWD dropouts. It shows that the attendance of PWDs in the course is associated with their rapid appropriation

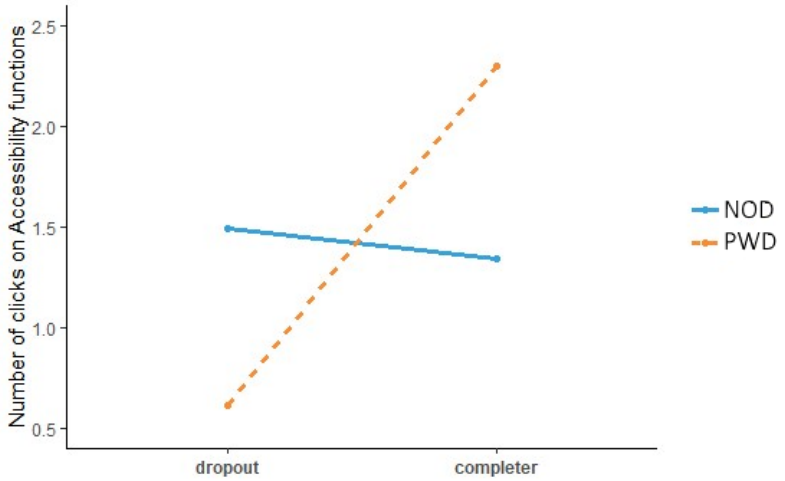


Fig. 10.7 : Interaction plot between disability and course completion on the use of accessibility functions in the first five minutes.

of accessibility functions. In the next part we present the results from the qualitative assessment in terms of learning experience.

10.6 Part II : Qualitative assessment

10.6.1 Participants

To be included in the qualitative assessment, participants must have completed a profile questionnaire, have a recorded score and have completed all research questionnaires. A total of 277 participants, with 46 PWDs and 231 NOD met these eligibility criteria. Two subgroups were formed from the PWD group : 21 persons with at least one cognitive disability (designated COG group) and 25 persons with at least one sensory or motor disability and no cognitive disability (designated NCOG group). Socio-demographic information for the different groups can be found in Table 10.1.

10.6.2 Measures & Statistical Treatment

To assess the accessibility and probe the effectiveness of Aïana independently from learners' conditions, multiple outcomes were analyzed :

Learning score was assessed with a learning scale using scores obtained in multiple-choice questions quizzes. From these answers, the percentage of correct answers was computed, scoring from 0 (no satisfactory answers) to 100 (all answers correct). We

		PWD			NOD
		COG	**NCOG**	**All PWD**	
N		21	25	46	231
Age	*M*	41.8 (12.4)	41 (10.8)	41.4 (11.5)	39.8 (10.9)
	Min-Max	21-66	21-67	21-67	18-71
Gender		10M 11F	7M 17F 1o	17M 28F 1o	102M 125F 4o
Education level	$\leq$ *Bachelor*	10 (47.6%)	13 (52.0%)	23 (50%)	60 (26%)
	$\leq$ *Master*	7 (33.3%)	6 (24.0%)	13 (28.3%)	91 (39.4%)
	PhD	4 (19.0%)	6 (24.0%)	10 (21.7%)	80 (34.6%)

Tab. 10.1 : Participant's characteristics. M = means (and standard deviations), M = Male, F = Female, o = Other.

calculated two scores : once at mid-point, corresponding to the average over the first 14 quizzes, and once at the end of the MOOC corresponding to the average of all quizzes (32).

Usability was assessed using the standardized questionnaire System Usability Scale (SUS, Brooke et al. 1996). Numerous studies have shown that this is a robust measure of system usability (Bangor et al. 2008, Lewis & Sauro 2009) and that it can be used for any software system, device or service. This questionnaire comprises 10 items to be rated on a five-point scale ranging from strongly disagree to strongly agree, among which five are positive statements and the other are negative. The SUS score is single and ranges from 0 to 100, the higher the score the better the usability.

Cognitive load (CL) induced by the player was also measured using the raw version of NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). This questionnaire consists of 6 subscales representing the different factors relevant to define the subjective experience of workload when a user performs a task. The computed overall workload score ranges from 0 (low workload) to 100 (high workload).

Self-Determination (SD) was measured using a custom-built questionnaire inspired from Vallerand (1997). This assessment comprises 9 items to be rated on a five-point scale ranging from strongly disagree (1) to strongly agree (5). The 9 items were distributed into the three main concepts of Self-Determination Theory : Autonomy, Competence and Relatedness (SDT, Ryan & Deci 2000).

The findings of the study are reported in 3 successive sections. The first section presents a statistical analysis of the differences between the NOD and PWD groups. For learning performance, usability and cognitive load measures, we conducted mixed ANOVAs (2 (Group : NOD, PWD) x 2 (Time : mid-term, end-term)) with group as a between-subjects factor, and time as a within subjects repeated measure factor. For Self-Determination we conducted a mixed ANOVA (2 (Group : NOD, PWD) x 2 (Time : mid-term, end-term) x 3 (SDT component : Autonomy, Competence, Relatedness)) with group as a between-subjects factor, time as a within subjects repeated measure factor and SDT component as a within-subjects factor. Levene's tests were conducted for each dependent variable and confirmed the equality of variances between the two groups. The chosen statistical significance threshold is $p = .05$.

The second section presents a statistical analysis of the differences between the COG and NCOG groups. The statistical analysis procedure is identical to that used when comparing the NOD and PWD groups, only with a change of related group for the independent variable to COG and NCOG. The third section presents an exploratory correlations analysis on the measures obtained at end-time for NOD and PWD groups. To examine the relationship between the learning score, the usability score, the perceived cognitive load

and the different components of self-determination, we performed correlational analysis on the measures obtained at end-time for NOD and PWD groups. An examination of the scatterplots (not presented) suggested the presence of monotonic nonlinear relationships between each pair of variables in both groups. Accordingly, a nonparametric procedure, the Kendall's tau-b correlation coefficient (*i.e.*, Kendall's τ_b) was performed (Newson, 2002 ; Kendall, 1948). The chosen statistical significance threshold is $p = .05$. Due to the large number of correlations, we applied the Bonferroni correction (Bonferroni, 1936) and included the Benjamini–Hochberg correction (Benjamini & Hochberg, 1995) as an alternative to the highly conservative aspect of Bonferroni's correction (Haynes, 2013). Correlation coefficients between groups were then compared using the Fisher r-to-z transformation, with a statistical significance threshold of $p = .05$.

10.6.3 Results

10.6.3.1 Group comparisons : NOD vs PWD

A summary of all the results can be found on Table 10.2.

Learning performance. Both groups reached a similar learning performance with a similar progression all along the course. The results of the statistical analyses show a significant main effect of time ($F(1, 275) = 4.81, p = .029, \eta^2 = .002$), such that the overall learning score was slightly higher at mid-term than end-term (Learning score mid-term = 0.885, Learning score end-term = 0.870) for both groups. There is no main effect of Group on assessments scores ($p = .095$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .0.502$).

		NOD	PWD
Learning Score	*mid*	.892 (.090)	.858 (.110)
(max. score = 1)	*end*	.872 (.128)	.848 (.133)
Usability Score	*mid*	76.3 (18.4)	76.7 (18.7)
(max. score = 100)	*end*	77.4 (17.7)	80.2 (17.4)
Cognitive Load Score*	*mid*	27.3 (20.0)	32.2 (19.8)
(max. score = 100)	*end*	27.1 (20.3)	28.5 (17.6)

Tab. 10.2 : Means (and standard deviations) of learning performance, usability scores and cognitive load scores across time according to group condition. * Cognitive Load Score was only measured for MOOC sessions 2, 3 and 4 (180 NOD, 33 PWD).

Usability. All users perceived the system as highly usable, with an average SUS score above 70 (Bangor et al., 2008). Moreover, the results of the statistical analyses show a significant main effect of Time ($F(1, 275) = 3.95, p = 0.549, \eta^2 = .002$), such that the overall SUS score was slightly better at the end of the MOOC (Usability mid-term = 76, Usability end-term = 78.2) for both groups. The analysis revealed no significant effect of Group on SUS score ($p = .549$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .296$).

Cognitive Load. All users perceived a low impact of the player on their cognitive workload, all along the course exhibited by the low average NASA-LTX scores obtained for both groups (CL mid-term = 28.6, CL end-term = 26.7). Thus, the statistical analysis revealed no significant effect of Group on NASA-LTX score ($p = .352$), no significant effect of Time ($p = .220$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .274$).

Self-Determination. There was a significant main effect of SDT ($F(2, 550) = 69.041, p < 0.001, \eta^2 = .37$), such that the level of perceived self-determination differs according to the component, with the feeling of autonomy being higher than the feeling of competence, which in turn is higher than the feeling of relatedness (see Table 10.3). In addition, the analysis revealed an interaction between SDT and Time ($F(2, 550) = 3.598, p = .028, \eta^2 = .001$) exhibiting an increase for the feelings of autonomy and competence between mid-term and end-term for all users, while the feeling of relatedness remains stable. For both group, the overall SDT scores obtained are rather high indicating a high level of perceived competence, autonomy and relatedness. In this respect, the analysis revealed no significant main effect of Group on SDT scores ($p = .462$) indicating that both groups reached a globally good level of perceived self-determination.

		NOD	**PWD**
Autonomy	*mid*	3.44 (1.10)	3.48 (1.15)
(max. score = 5)	*end*	3.59 (1.05)	3.72 (1.17)
Competence	*mid*	3.19 (1.08)	3.15 (0.98)
(max. score = 5)	*end*	3.27 (1.02)	3.46 (1.19)
Relatedness	*mid*	2.82 (1.15)	2.91 (1.09)
(max. score = 5)	*end*	2.76 (1.07)	2.96 (1.07)

Tab. 10.3 : Means (and standard deviations) of each SDT components according to condition groups.

10.6.3.2 Group comparisons : COG vs NONCOG

A summary of all the results for this analysis can be found on Table 10.4.

Learning performance. Both groups achieved a good level of performance with the same evolution (Learning score mid-term = 0.858, Learning score end-term = 0.849). The analysis revealed no main effect of Group on assessments scores ($p = .095$), no main effect of Time ($p = .506$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .244$).

Usability. Both groups perceived the system as highly usable all along the course (Usability mid-term = 76.7, Usability end-term = 80.2). The analysis revealed no significant effect of Group on SUS score ($p = .225$), no significant effect of Time ($p = .116$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .990$).

Cognitive Load. Both groups perceived the cognitive load induced by the player as rather low with no significant evolution from mid to end-term (CL mid-term = 28.3, CL end-term = 27). Although the group effect did not reach the significance ($p = .083$), the examination of the means suggested that the perceived cognitive load is slightly higher for the COG group compared to the NCOG group, although it remains low (mean = 35.2). There were no significant effect of Time ($p = .548$) and no significant interaction between Time and Group ($p = .761$).

Self-Determination. A significant main effect of SDT ($F(2, 88) = 23.662, p < .001, \eta^2 = .059$) indicates that the level of perceived self-determination differs according to the component, with the feeling of autonomy being higher than the feeling of competence, which in turn is higher than the feeling of relatedness (see Table 10.5). There were no significant main effect of Group on SDT scores ($p = .770$) and no significant main effect

		COG	NONCOG
Learning Score	*mid*	.819 (.127)	.891 (.090)
(max. score = 1)	*end*	.825 (.117)	.867 (.144)
Usability Score	*mid*	73.5 (19.0)	79.5 (18.3)
(max. score = 100)	*end*	76.9 (17.5)	82.9 (17.3)
Cognitive Load Score*	*mid*	36.2 (18.6)	28.5 (20.7)
(max. score = 100)	*end*	34.2 (17.1)	23.1 (10.8)

Tab. 10.4 : Means (and standard deviations) of learning performance, usability scores and cognitive load scores across time according to group condition. * Cognitive Load Score was only measured for MOOC sessions 2, 3 and 4 (16 COG, 17 NCOG).

		COG	NCOG
Autonomy	*mid*	3.48 (1.03)	3.48 (1.26)
(max. score = 5)	*end*	3.76 (1.04)	3.68 (1.28)
Competence	*mid*	3.10 (0.88)	3.20 (1.08)
(max. score = 5)	*end*	3.57 (0.92)	3.36 (1.38)
Relatedness	*mid*	2.62 (1.07)	3.16 (1.07)
(max. score = 5)	*end*	2.90 (1.14)	3.00 (1.04)

Tab. 10.5 : Means (and standard deviations) of each SDT components according to condition groups

of Time ($p = .174$), indicating that both groups reached a globally good level of perceived self-determination. Finally, there was no interactions between the different factors.

10.6.3.3 Correlations

As the COG *vs.* NCOG group effect was not significant across the qualitative measures, the correlational analyses have been performed for the overall PWDs sample and the NODs sample, respectively. Table 10.6 shows the correlations among the 6 measures in the PWD group above the diagonal and in the NOD group below the diagonal.

For both groups, a strong perceived usability was associated with a higher level of perceived autonomy, competence and relatedness and less perceived cognitive load. The results of a Z test for independent measures exhibited no significant differences in the correlation values between the two groups, indicating that the perceived usability is an important co-variable of SDT regardless of any disability conditions. In addition, strong

Measure	1	2	3	4	5	6
1. Learning Score		.248	−.092	.193	.247	.200
2. SUS Score	.082		−.453[a,b]	.492[a,b]	.489[a,b]	.458[a,b]
3. NASA-LTX Score	−.149[a,b]	−.258[a,b]		−.393[a,b]	−.325[b]	−.186
4. SDT Autonomy	.033	.445[a,b]	−.092		.684[a,b]	.391[a,b]
5. SDT Competence	.043	.353[a,b]	−.070	.656[a,b]		.605[a,b]
6. SDT Relatedness	−.113	.195[a,b]	.078	.459[a,b]	.489[a,b]	

Tab. 10.6 : Correlations for participants in the PWD group (n=46) are presented above the diagonal, and correlations for participants in the NOD group (n=231) are presented below the diagonal. [a] Correlations were significant following the Bonferroni correction. [b] Correlations were significant following the Benjamini-Hochberg correction. p <.05

positive correlations can be observed between the three components of SDT in both groups, in particular between Autonomy and Competence scores.

The perceived cognitive load was associated with the learning performance only among the NOD group and not the PWDs group. However, this correlation is rather low ($\tau_b = -.149$). For the PWDs group, the Kendall's τ_b revealed a statistically significant relationship between the NASA-LTX score and the Self-Determination autonomy and competence component score showing that a lower level of perceived cognitive load is associated with a higher level of perceived autonomy and competence for PWDs.

10.7 Discussion

The results presented in this article are the first one providing an extended quantitative and qualitative accessibility assessment in a field study setup that includes a large sample of PWDs learners. They support the effectiveness of Aïana to improve MOOC accessibility. Regarding the quantitative assessment, Aïana allows a good retention of PWDs throughout the MOOC, with an equivalent attrition rate of non disabled persons corroborating the odds values for module completion across MOOC sessions. Moreover, the analysis of the first five minutes of use revealed that PWDs that demonstrate the most early interaction behaviors with accessibility features are the most likely to persist until the end. The comparison of participation between PWDs and NODs for each module and the inclusion of a disability variable in the measurement of learner attrition appear to be two new promising indicators to strengthen MOOC accessibility assessment methodology that MOOC platforms could easily implement to conduct a rapid assessment of their content. In addition, the analysis of the first minutes of interaction confirms that the rapid adoption of accessibility features is a decisive factor for the persistence of PWDs, which underlines its reliability in evaluating the implementation of accessibility solutions.

Regarding the qualitative assessment, all learners achieved equivalent learning outcomes regardless of their disability condition and the overall usability performance of Aïana was high for every participant. The use of Aïana is not perceived by users as generating a significant cognitive load, and those for all users. While the cognitive load perceived by users who reported at least one cognitive impairment could have been expected to be higher, it remains relatively low and does not significantly differ from other PWDs. Such finding is noteworthy in light of previous findings reporting that cognitive load is a critical learning barrier for PWDs, specially those with cognitive impairments (Paas et al., 2003). The results of the Self-Determination questionnaire show that Aïana provides a good support to PWD needs in terms of autonomy and competence, known as important components for learners' motivation (Roca & Gagné, 2008), and more particularly for PWDs with and

witout cognitive impairments (Wehmeyer & Patton, 2017). Moreover, correlational analyses revealed that SDT measures are co-variable of learning rate in NOD and of cognitive load specially for PWDs. As such, these results can serve as a guide for a more qualitative evaluation of a MOOC, with the consideration of perceived autonomy and competence as valuable accessibility hallmarks for all learners.

10.8 Limitations & Future Work

Although the field study have led to the above encouraging results, some limitations need to be discussed or to be resolved in future work.

Data collection. A more complete data collection framework has yet to be established. More information related to interaction has yet to be collected to gradually improve the data collection framework. For example, in our current data collection, interaction traces with some accessibility functions are not recorded, such as switching the player theme or downloading subtitles. Another feature that deserves special attention is "Setting and menu". In general, when learners cannot find the function that they want to use, they will likely click "Settings and menu" to search. If we can associate it with Aïana's usability, we might get interesting results. It also should be important to complete our dataset with data from the MOOC platform (*e.g.*, learners' login/logout time, quiz submission time and page views, *etc.*) as it could provide more information to understand engagement pattern. In addition, matching the anonymous profiles with MOOC user-names is useful to obtain the learner's behavior data in the forum, such as the frequency of posting and commenting in quantitative aspects, and the sentiment analysis of comments in qualitative aspects.

Attrition. Comparing the impact of disability on attrition is a fresh and groundbreaking attempt in MOOC accessibility research. Nevertheless, our conclusions have yet to be further validated. Indeed, in the absence of available benchmark of PWDs' attrition rate, we used the NODs' attrition rate as baseline. It is well documented that NODs' attrition in online learning is generally higher than in traditional settings (Kizilcec & Halawa, 2015), but we have no certainty that PWDs usually exhibit similar attrition-related behaviors. Consequently, demonstrating the attrition similarity between PWDs and NODs is a valuable indicator within the hypothesis that PWDs and NODs' behavior is really equal in terms of attendance and dropout in MOOC.

Interaction. For the first time, this field study reports the relationship between the use-related interaction on MOOC player and the retention of PWDs, that is, the initial experience of PWDs using an accessible MOOC system has a crucial impact on their subsequent sustainable attendance. This discovery is a heuristic to motivate us to

further improve Aïana's design. For example, it could be beneficial to integrate self-adaptive properties into the player following the ability-based design approach, to detect PWDs who are not using the accessibility functions within the first 5 minutes, to provide functions adapted to their self-declared needs through system suggestions. Such extensions of accessible MOOC player would be both a technical advance and probably a significant step forward to support PWDs.

Mixed method qualitative and quantitative. The evaluation of Aïana's efficiency requires further qualitative analyses in conjunction with the questionnaires (Viberg et al., 2018). Through studying learners' actual use of Aïana, we concluded that the attendance of PWDs in the course is associated with their rapid appropriation of accessibility functions. If the appropriation is related to the good usability of Aïana, the early consideration of Aïana accessibility functionnalities could be related to a strong intrinsic motivation, resulting in more interactions. Additionally, results from the qualitative assessment allowed to gather information about a more global user experience, showing that the player was well valued for its usability and elicited good self-determination perception. The conjunction between actual use of Aïana and subjective data gathered with the research questionnaires could be used as a complementary way of accessibility evidence.

More in depth interaction analysis to determine behavior. In this study we analyze each interaction independently. Following Sinha et al. (2014), it would be interesting to explore patterns of functionality interaction (*i.e.*, chains of actions that occur during a specified time frame) to define a taxonomy of behavior use for Aïana that could be used to provide users with personalized shortcuts, based on the analysis of their own usage.

Tools for relatedness. Regarding the self-determination perception induced by our player, it would be interesting to design functionalities that strengthen the relatedness component. In MOOC, the social part is usually handle outside of the courses' material (in a forum or a chat) and it may be interesting to include it directly into the player, mimicking the social presence induced by a classroom. Such new functionalities should be modulated according to user capabilities for cognitively managing additional distractors.

10.9 Conclusion

The outcomes of the field study support the positive impact of our design decisions and provide a positive feedback about the benefits of Aïana for PWDs to engage in a MOOC, in particular with regard to people with cognitive impairments that are often insufficiently addressed. As a consequence it supports our inclusive design approach, showing that Aïana allows to raise barriers for PWDs to engage in MOOCs, which is promising in terms

of providing new opportunities for the inclusion of people with disabilities in educational technologies. The use of both quantitative analytics and qualitative assessment allowed us to obtain a more complete evaluation of accessibility, confirming the need for mixed-method approach to assess online learning accessibility.

From a broader perspective, the present study not only supports the relevance of the accessibility features deployed in this first release of Aïana, but also provides the e-learning accessibility community new metrics that can be used to explore different levels of participation (attrition rate *vs.* early interaction analysis) or evaluate the valence of different learner experience components (cognitive load *vs.* self-determination). We believe that such research efforts will contribute to providing PWDs with equal opportunities for their personal and professional development, a fundamental condition for them to exercise their right to choose and realize their life project.

Quatrième partie

Discussion et Conclusion

Il y a des choses que l'homme n'est pas apte à concevoir tant qu'un autre homme n'a pas eu l'idée saugrenue de les réaliser. Mais une fois cette chose effectuée, bonne ou mauvaise, elle pénètre dans le patrimoine de l'humanité. Utilisable, reproductible et même surpassable.

Fred Vargas, Un lieu incertain, 2008

11

Synthèse, discussion et perspectives

Dans ce chapitre nous présentons une synthèse des résultats obtenus dans les quatre études présentées dans la partie empirique afin de discuter de la pertinence du lecteur Aïana et plus globalement de nos propositions pour l'amélioration de l'accessibilité des formations en ligne pour les personnes présentant des troubles cognitifs. Nous exposons ensuite les limites associées à notre travail et proposons un ensemble de perspectives en guise d'ouverture.

11.1 Synthèse des principaux résultats

Sur la base présentée dans la partie théorique, la première étape de notre travail avait comme objectif d'obtenir un panorama global de l'état de la recherche sur l'accessibilité des dispositifs d'enseignement en ligne pour les personnes présentant des troubles cognitifs. À l'issue d'une revue systématique de la littérature, nous avons identifié un certain nombre de limitations quant aux cadres théoriques de conception et d'évaluation mis en avant dans les travaux de recherche. Ainsi, si ces dernières années ont vu une augmentation des efforts de recherche autour des personnes handicapées avec troubles cognitifs, les études sont encore peu nombreuses, s'inscrivent le plus souvent dans une vision en silo disciplinaire ou technologique, et présentent soit des travaux d'élaboration de prototype restant dans

les laboratoires, soit la mise en place de cadres théoriques pour la conception d'interfaces associée à une inspection ergonomique de surface (*e.g.*, évaluations automatiques par logiciel ou études pilotes auprès d'un faible nombre de participants). Dans tous les cas, aucune des études ne présentent de réelle évaluation de l'impact de ces propositions sur l'expérience d'apprentissage des personnes handicapées.

Cette situation est notamment la résultante d'une faible prise en compte des approches centrées utilisateur de l'accessibilité, qui ignore de fait les travaux menés dans le domaine du handicap, et en particulier les avancées faites dans le cadre du modèle de la CIF (*c.f.*, Chapitre 2). Le cadre des études est ainsi le plus souvent restreint à la prise en compte d'une maladie ou d'un syndrome spécifique, ce qui empêche la généralisation de leur résultats et leur mutualisation pour élaborer des standards d'accessibilité cognitive. Une deuxième conséquence de cette centration vers le pathologique s'exprime dans le fait que la plupart des dispositifs présentés dans ces travaux de recherche n'ont pas été conçus dans une démarche inclusive. Ainsi, ils sont le plus souvent conçus pour répondre à l'usage quasi-exclusif d'une population « bien définie » de personnes handicapées. Ici encore, se saisir du modèle de la CIF pourrait permettre la mutualisation des solutions afin de concevoir des SNE offrant des interfaces à multiples fonctionnalités d'accessibilité paramétrables et personnalisables dans le but de couvrir les différents besoins de chaque apprenant quelle que soit sa situation, tout en prenant en compte l'étendue des possibles contextes d'utilisation, en cohérence avec les approches *Ability-Based Design* (Wobbrock et al., 2011).

11.1.1 Conception centrée utilisateur d'un lecteur de MOOC

La seconde étude présentait un travail de conception participative visant au développement de nouvelles fonctionnalités d'accessibilité pour la diffusion de contenu multimédia dans le contexte des SNE. Les résultats obtenus au long des différentes étapes de ce processus démontrent la pertinence d'ancrer notre travail dans une telle approche afin de cibler au mieux les besoins des utilisateurs. Aussi, l'analyse systématique du corpus d'entretiens menés auprès de six étudiants handicapés nous a permis de mieux appréhender les difficultés qu'ils ou elles pouvaient rencontrer dans le cadre d'activités d'apprentissage, mais aussi de recueillir un certain nombre des stratégies déjà mises en place et perçues comme profitables. De surcroit, l'emploi d'une méthodologie rigoureuse s'appuyant sur des techniques de codage pour l'analyse a fait émerger les similitudes entre des étudiants dont les pathologies étaient différentes, illustrant à nouveau la pertinence de suivre une approche fonctionnelle du handicap dans le contexte des SNE (Maxwell et al., 2018). En permettant d'organiser l'ensemble des informations recueillies, nous avons ainsi pu cibler au mieux les besoins qui répondent aux plus grand nombre de situations et ordonner les priorités en matière de conception des fonctionnalités. Enfin, les échanges menés avec

treize experts issus de champs disciplinaires variés nous ont permis d'élargir le recueil des besoins non seulement des étudiants, mais aussi de ceux liés aux contraintes techniques et pédagogiques inhérentes aux plateformes MOOC. Ce travail répond aussi aux limites méthodologiques que nous avons pu observer dans notre travail bibliographique, rappelant que s'il est pertinent de s'inscrire dans une démarche centrée utilisateur, il est d'autant plus fondamental de s'appuyer sur des outils méthodologiques qui permettent d'assurer la robustesse des résultats obtenus et la rigueur dont doit faire preuve la recherche scientifique.

Cette étude présentait aussi un cadre de conception conçu à travers l'intégration des différents principes et préconisations identifiés tout au long des différentes étapes du processus de co-design. Se saisissant d'approches et de méthodes de champs disciplinaires variés, l'émergence de celui-ci démontre à nouveau l'intérêt de s'extraire d'une approche « mono-disciplinaire », courante dans les études en accessibilité, pour se tourner vers une approche qui prend en compte la complexité de l'objet de recherche et s'empare de multiples postures théoriques et pratiques pour le traiter. Ce travail de co-conception et de formalisation a donné lieu à un premier prototype de lecteur de MOOC accessible nommé Aïana, développé en collaboration avec la cellule Inria Learning Lab[1] et utilisé sur la plateforme FUN, permettant son évaluation en condition réelle.

11.1.2 Évaluation du lecteur Aïana

Les résultats préliminaires de cette évaluation auprès de 146 apprenants dont 24 ont déclaré un handicap, ont montré qu'Aïana avait un impact positif sur leur performance d'apprentissage et leur sentiment d'auto-détermination. Ces résultats encourageants demandaient néanmoins à être renforcés et étendus, d'une part, avec un plus grand nombre de participants et, d'autre part, par un examen approfondi de l'utilisation des fonctionnalités d'accessibilité et de leurs liens avec les indicateurs d'apprentissage et d'expérience utilisateur (utilisabilité, charge mentale perçue et sentiment d'auto-détermination). Ainsi, une seconde étude a été réalisée pour renforcer la valeur de preuve concernant l'accessibilité d'Aïana. Les résultats de celle-ci ont confirmé l'impact positif du lecteur Aïana sur l'engagement des personnes handicapées, en particulier en ce qui concerne les personnes avec des troubles cognitifs, montrant que des outils conçus dans une démarche inclusive peuvent permettre de lever les barrières actuelles pour ouvrir l'accès aux MOOCs. Cette étude nous a aussi permis d'explorer des pistes novatrices dans l'évaluation de l'accessibilité des MOOCs, notamment à travers la mise en place d'outils issus du domaine en pleine expansion des *Learning Analytics* qui permettent une analyse au plus proche des comportements d'interactions et l'étude de leurs effets sur la rétention des utilisateurs handicapées.

1. https ://learninglab.inria.fr/

11.1.3 Proposition d'une méthodologie d'évaluation de l'accessibilité des dispositifs e-learning

L'exploration des méthodes des LA a permis le développement d'un indicateur spécifique pour évaluer l'accessibilité d'Aïana, à savoir l'impact sur la rétention des apprenants handicapées de l'utilisation des fonctionnalités d'accessibilité dans les premières minutes de contact avec le lecteur. En effet, nous avons pu observer que pendant les cinq premières minutes de contact avec Aïana, chez les apprenants qui déclarent un handicap ceux qui utilisaient le plus les fonctionnalités d'accessibilité étaient les plus susceptibles de suivre l'intégralité du MOOC, alors que ce n'est pas observé chez les apprenants qui ne déclarent pas de handicap. D'ores et déjà, cela indique qu'il serait pertinent d'introduire des incitations à utiliser ces fonctionnalités dès le début de cours, par exemple à travers l'invitation à explorer les fonctionnalités du lecteur lors de sessions interactives d'introduction au MOOC. Ces résultats sont en accord avec les travaux sur l'acceptabilité des outils numériques présentés en chapitre 3 (Lee et al., 2015), et viennent appuyer notre choix de porter notre intérêt sur l'analyse du sentiment d'auto-détermination des personnes handicapées pour évaluer l'accessibilité des SNE (Roca & Gagné, 2008).

Cette dernière étude étaie aussi l'intérêt d'adopter une méthodologie d'évaluation mixte, qui combine à la fois des approches quantitatives et qualitatives, pour renforcer les critères de preuve de l'accessibilité des plateformes de formation en ligne, en accord avec les limites déjà soulevées par Christopher Power et ses collaborateurs (2012). Partant de ce fait, nous avons proposé de nouvelles métriques d'évaluation qui peuvent être utilisées pour explorer à la fois différents niveaux de participation (*i.e.*, taux d'attrition *vs.* analyse précoce des interactions) ou pour évaluer l'impact des solutions proposées sur différentes composantes de l'expérience des apprenants (*i.e.*, charge cognitive *vs.* autodétermination). En définitive, les résultats de cette évaluation de fin de cycle de conception sont extrêmement positifs et encourageants concernant à la fois l'accessibilité du lecteur Aïana mais aussi aux perspectives que ce travail de doctorat permet de percevoir. Avant d'aborder celles-ci, nous devons toutefois présenter les différentes limites de ce travail de thèse.

11.2 Limites

Le recul que nous apporte la synthèse de ces trois années de doctorat permet de réfléchir aux limites de notre travail. Celles-ci peuvent être regroupées en trois catégories : 1) les limites liées au cadre théorique ; 2) les limites relatives au protocole de conception participative ; et 3) les limites relatives au protocole de validation expérimentale.

11.2.1 Choix du cadre théorique

Si tout au long de ce travail nous avons régulièrement rappelé les limites d'une approche centrée sur la pathologie, il est important de reconnaitre que notre inscription dans le cadre de la CIF a aussi un impact sur les résultats de notre travail. En effet, l'approche en terme d'analyse de la situation de handicap présente dans la CIF, qui dans notre cas se matérialise dans l'étude de l'impact des troubles cognitifs sur les activités d'apprentissage, nous a *de facto* détourné d'une prise en compte de solutions spécifiques à certaines pathologies (*e.g.*, dyslexie, TDAH, autisme, *etc.*). Pourtant, ces solutions auraient pu alimenter les différentes considérations explorées durant le co-design des fonctionnalités d'Aïana. Par conséquent, il est possible que certaines de nos propositions soient, au moins en partie, déjà documentées dans des travaux délimitant leur cadre de recherche à travers la pathologie. Néanmoins, comme nous avons pu le défendre auparavant, une telle approche nous aurait conduit à proposer des fonctionnalités fortement liées à une pathologie spécifique, pouvant conduire à une éventuelle stigmatisation et quoi qu'il en soit incompatible avec notre volonté d'inclusion.

De même, dans nos travaux nous avons principalement étudié l'accessibilité des MOOCs à travers la problématique de la motivation et de la charge cognitive, au détriment d'une réflexion qui aurait porté sur le développement d'outils de soutien à des activités d'apprentissage spécifiques comme par exemple des outils de synthèse de cours ou d'aide à la rédaction. De fait, ces besoins ont aussi émergés au cours du travail de conception, et sont aujourd'hui considérés dans le démarrage d'une nouvelle boucle itérative dont nous donnons un aperçu dans la section 11.3.1.

11.2.2 Limites de la conception participative

La première limite liée au travail de conception participative concerne le recrutement des participants. À cet égard, il est important de préciser que la phase de recrutement s'est avérée particulièrement compliquée. Ainsi, bien que l'appel à participation ait été diffusé via la cellule handicap de l'Université de Bordeaux, peu d'étudiants se sont portés volontaires. De plus, le processus de co-design nécessitant d'organiser plusieurs séances de travail, a été rendu difficile du fait même que nous cherchions à recruter des étudiants ayant des troubles cognitifs. Comme nous avons pu l'exposer dans le chapitre 8, la gestion du temps est un problème chez la plupart de ces étudiants, particulièrement pour ceux qui présentent des troubles exécutifs, ce qui a pu rendre l'organisation des séances compliquée. Ainsi, certains participants ont oublié de se présenter à certaines séances ou répondaient à nos messages avec un délai trop important pour planifier des séances de travail. À titre d'exemple, il nous

aura fallu près de six mois pour organiser un entretien avec un participant présentant des troubles de la mémoire et des troubles exécutifs à la suite d'un accident vasculaire cérébral.

En lien direct avec cette première limite, nous pouvons aussi supposer que les étudiants qui ont accepté de participer de manière volontaire à notre étude représentent les plus motivés à s'insérer dans des dispositifs de formation en ligne, ce qui présente alors un biais dans l'analyse de l'acceptabilité des fonctionnalités proposées. Pourtant, deux constats peuvent remettre en cause cette hypothèse : tout d'abord, la majorité des participants n'avait jamais pris part à un MOOC avant de se porter volontaire, excluant de fait un intérêt purement lié à leur pratique personnelle. De même, certains d'entre eux se sont montrés réticents à l'idée de réellement se saisir de ces dispositifs, montrant leur attachement à s'insérer dans un cursus universitaire traditionnel.

Ces biais de recrutement peuvent aussi être discutés au regard des études qui mettent en lumière le sentiment de non légitimité que peuvent exprimer les personnes handicapées dans les processus de conception participative, notamment dans le cas du handicap dit « invisible » (Brueggemann et al., 2001). Nous pouvons ainsi penser, à la manière d'Ervin Goffman, que les troubles cognitifs s'inscrivent dans la catégorie des « stigmates » qui rendent l'individu qui les porte « discréditable » (Goffman, 1975). Dans ce contexte, le faible nombre de réponses à l'appel à participation, pourtant relayé par la cellule handicap de l'université, pourrait être vu comme la résultante de stratégies de contrôle de l'identité personnelle mises en place par ces étudiants afin de conserver cachée l'existence de ces troubles. De fait, au cours des entretiens, nous avons pu percevoir la volonté chez ces étudiants de ne pas mettre en avant leur handicap, vis à vis de leur camarade ou de leurs enseignants, afin de diminuer un éventuel effet du discrédit que celui-ci pourrait avoir sur leur parcours scolaire.

11.2.3 Limites de la validation expérimentale

De manière similaire, un certain nombre de limites liées à la validation expérimentale doivent être discutés. Tout d'abord, il semble évident que le contenu du MOOC associé à l'utilisation d'Aïana a influencé le recrutement et la motivation à le suivre des participants. En effet, le sujet de l'accessibilité numérique les concernant directement, les personnes handicapées qui se sont inscrites à ce MOOC avaient probablement un plus grand intérêt à le suivre dans son intégralité. Il est ainsi important que les futurs évaluations d'Aïana s'appuient sur des MOOCs de champs disciplinaires variés. De même, si notre volonté est de développer des outils numériques accessibles afin de permettre à des personnes handicapées de s'insérer dans des dispositifs de formation, il est nécessaire que ceux-ci soient évalués avec des participants ayant des niveaux d'éducation très divers. Or, le niveau d'étude des participants à nos études de validation s'est révélé particulièrement élevé, loin du contexte

présenté dans la première partie de ce document (Chapitre 2). Ainsi, le faible nombre d'inscrits non diplômés ne nous a pas permis d'évaluer les éventuelles interactions entre la situation de handicap et le niveau de formation sur l'expérience du MOOC.

Une autre limite est liée à notre choix d'inclusion des participants, faite sur la base de l'existence d'un score d'apprentissage supposant qu'ils aient répondu à au moins un questionnaire d'évaluation. À travers le choix de ce critère, nous nous sommes ainsi restreint à une vision très scolaire de l'apprentissage, liée à la validation d'un ensemble d'examens comme mesure de la performance d'un étudiant, et de fait, avons pu réduire notre échantillon de participants. Pourtant, les personnes qui s'inscrivent sur des plateformes MOOCs n'ont pas nécessairement pour objectif l'évaluation de leur apprentissage, et peuvent adopter des comportements qui les conduisent à ne consulter que les sections d'un cours qui les intéressent réellement ou qui leur permettent d'acquérir une compétence nécessaire à la réalisation de leur activité professionnelle. Dans ces circonstances, leur expérience du MOOC peut être vécue positivement alors qu'une mesure de réussite associée au score d'évaluation les classera dans le groupe des apprenants qui ont abandonné, considéré alors comme un échec. Il semble donc important de s'interroger sur les différents critères permettant de juger de la valeur de l'expérience utilisateur propre aux MOOCs. Dans ce contexte, un questionnaire à remplir avant le démarrage du cours pourrait permettre de catégoriser les participants selon leurs attentes pour ainsi affiner l'évaluation de l'efficacité des MOOCs à travers des critères plus proches des attentes des utilisateurs.

11.3 Perspectives

En complément de la synthèse et des limites présentées dans ce chapitre, nous exposons dans les sections suivantes certaines pistes de réflexions afin d'initier une ouverture à ce travail de thèse. Nous présentons tout d'abord les pistes d'amélioration du lecteur Aïana. Dans un deuxième temps, nous présentons de nouveaux outils de LA pour l'évaluation de l'accessibilité des SNE.

11.3.1 Vers un élargissement des usages d'Aïana

Dans le prolongement du processus itératif, une deuxième version d'Aïana qui servira à peaufiner nos propositions de conception est actuellement en développement. Comme nous avons pu le décrire précédemment, la conception de l'interface d'Aïana repose sur un principe fondamental : la fragmentation du contenu pédagogique en flux élémentaires indépendants synchronisés temporellement. Ce changement dans l'organisation du contenu nous a permis

de définir un ensemble de fonctions d'auto-configuration qui offrent aux utilisateurs la possibilité de configurer dynamiquement leur expérience d'apprentissage en fonction de leurs souhaits et de leurs capacités. Ainsi, les utilisateurs peuvent choisir quels éléments de contenus ils souhaitent regarder, lire et écouter et peuvent modifier l'emplacement et la taille de chacun de ces éléments. L'un des résultats forts de ce principe est qu'il est désormais possible d'ajuster directement et facilement la charge cognitive induite par le flux pédagogique, en contrôlant le nombre et la représentation des éléments affichés. Ce choix de conception s'inscrit dans un cadre d'optimisation du traitement cognitif et répond ainsi aux différentes recommandations présentés dans le chapitre 2 (Clark & Mayer, 2016 ; Paas et al., 2003).

L'initiation d'une nouvelle boucle de conception a été l'occasion de formaliser à nouveau ces principes de design tout en les liant aux contraintes issues du développement technique. L'architecture d'Aïana est désormais structurée autour de composants élémentaires - les atomes - associés à des flux de contenu qui sont indépendants (*e.g.*, un flux vidéo ou audio, un fichier de sous-titre, un média interactif, *etc.*). Ces différents atomes peuvent alors être regroupés pour constituer une interface utilisateur spécifique – la molécule – et il est donc possible de produire différents systèmes numériques pour répondre à différents contextes (*e.g.*, quels sont les formats des contenus diffusés, quels sont les objectifs de l'activité, quelles sont les caractéristiques des utilisateurs, *etc.*). Cette logique nous amène à ne plus considérer Aïana comme un simple lecteur de MOOCs, mais comme un lecteur multimédia qui peut être utilisé pour faire fonctionner et combiner tout type de contenu (*e.g.*, vidéo, audio, sous-titres, *etc.*), y compris bien sûr dans le cadre de la conception de MOOCs qui deviennent alors un contexte spécifique d'utilisation. Naturellement, cette nouvelle version conservera les principes d'accessibilité qui étaient à l'origine du projet et sera aussi équipée de nouvelles fonctions qui résultent de l'évaluation de la première version.

Au cours de nouvelles séances de co-design, nous avons aussi initié une réflexion autour de différents moyens pour représenter la progression dans le cours ainsi que sur la conception d'outils pour la prise de note. Le démarrage de cette nouvelle boucle itérative visait ainsi à répondre aux besoins qui avaient été identifiés au cours de la conception participative mais n'avait pas donné lieu à une implémentation. Les figures 11.1 et 11.2 donnent un aperçu des premières maquettes réalisées à la suite de ces séances.

11.3.2 Des MOOCs aux Serious Games

Les environnements physiques ou numériques non accessibles sont *de facto* excluant et dépasser cette barrière serait donc un progrès social tangible. Dans cette perspective, la conception du lecteur Aïana s'est inscrite dans une dynamique de développement de

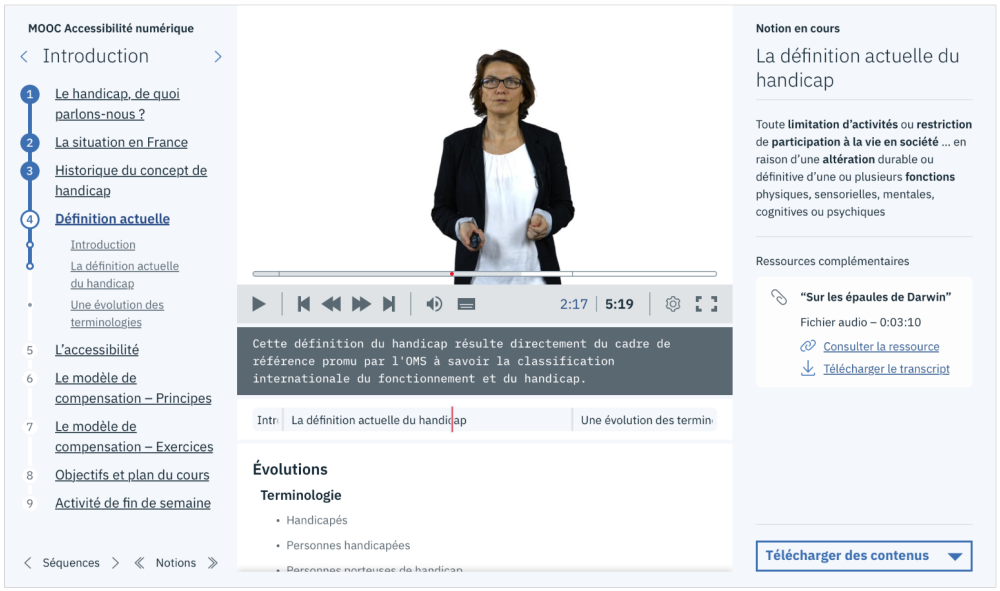


Fig. 11.1 : Maquette 1de la nouvelle interface utilisateur d'Aïana issu du démarrage de la nouvelle boucle itérative de conception.

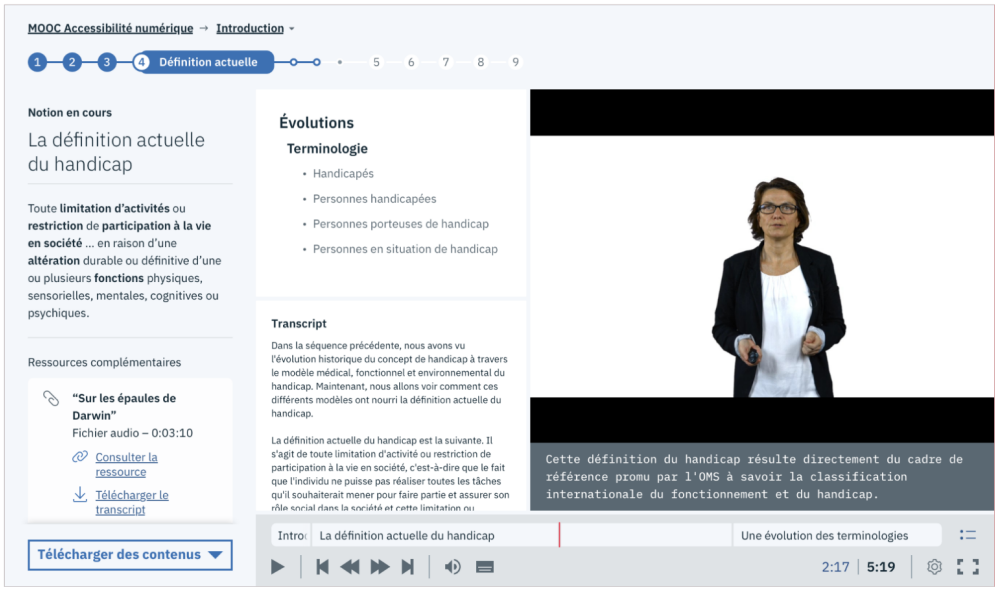


Fig. 11.2 : Maquette 2 de la nouvelle interface utilisateur d'Aïana issu du démarrage de la nouvelle boucle itérative de conception.

l'accessibilité des SNE. Une autre piste d'exploration dans le domaine des SNE concerne l'utilisation des principes dérivés de la conception d'Aïana dans le cadre de la conception de *Serious Games* (SG).

De manière similaire à l'ensemble des dispositifs de *e-learning*, mais aussi des jeux vidéo auxquels ils empruntent les mécaniques (Yuan et al., 2011), il est particulièrement difficile de trouver des études qui proposent des SG accessibles aux personnes qui ont des troubles cognitives, la majorité des études s'intéressant principalement aux troubles sensoriels ou moteurs (Park & Kim, 2013) ou s'intéressant de manière spécifique à une pathologie particulière (*e.g.*, alzheimer, autisme, *etc.*). Ainsi, selon une revue systématique datant de 2016, seules neuf études présentent une analyse de l'impact des SG sur des symptômes cliniques de santé mentale (Lau et al., 2017). Ces dispositifs sont pourtant de plus en plus vu comme un moyen pour améliorer la motivation des apprenants, qui comme nous l'avons vu est un facteur primordial dans les activités d'apprentissage. Dans une autre perspective, il est également nécessaire d'examiner le cas particulier des personnes âgées pour lesquelles de nombreux dispositifs similaires sont proposés (Byun & Park, 2011). Déjà exclus par leurs handicaps souvent multiples, il leur est difficile d'utiliser des logiciels qui ne sont pas accessibles. Si suivre des MOOCs puisse sembler secondaire à cet auditoire, les SG pourraient permettre d'offrir des outils afin de maintenir les fonctions cognitives essentielles comme la mémoire ou la motivation pour les activités de la vie quotidienne.

11.3.3 Création d'un référentiel LA d'accessibilité

Une deuxième perspective de travail s'inscrit directement dans l'amélioration des outils de LA mis en place lors de l'évaluation d'Aïana. Afin d'évaluer de manière plus fine l'accessibilité du lecteur Aïana à travers ces indicateurs, différents outils pourraient être explorées, selon qu'ils concernent la relation avec le cours dans sa globalité ou l'interaction avec le lecteur. Dans un premier temps, il s'agirait ainsi de renforcer l'étude des liens entre les différents troubles déclarés par les apprenants sur les résultats d'apprentissage et leur engagement à travers l'extraction de différentes mesures telles que le nombre et la durée de lecture des vidéos, le taux téléchargement des contenus de cours, le nombre d'évaluations complétées ou le nombre de messages déposés sur le forum (le tableau 11.3 résume les différentes mesures identifiées pouvant servir à cette étude).

Dans le prolongement de l'étude présentée en chapitre 10, il s'agirait ainsi de comparer les relations causales entre ces mesures et d'analyser les stratégies d'apprentissage en fonction de la situation de handicap à l'aide de méthodes d'analyse statistique, de modélisation et de classification. Enfin, une étude plus approfondie de l'utilisation des fonctionnalités d'Aïana consisterait par exemple à analyser non pas chaque action de l'utilisateur de manière

Learning Analytics		Measures	
		Quantitative	Qualitative
Engagement	Video viewing	• Average number of videos viewed • Average number of pauses • Average viewing duration	
	Access	• Number of page views • Online duration	
	Interaction	• Browsing frequency of forum • Number of posts • Number of comments	• Reflective sentences in posts and comments
Learning outcome	Evaluation	• Number of quizzes filled • Average score	• Grading

Fig. 11.3 : Mesures de l'engagement et de l'apprentissage pour l'exploration de nouvelles métriques d'accessibilité en *Learning Analytics*.

indépendante mais à travers la mise en évidence de chaînes d'actions, formant des *clusters* qui définiraient différents comportements d'apprentissage (Sinha et al., 2014). Dans ce cadre, l'utilisation de méthodes probabilistes comme les chaines de Markov (Figure 11.4) permettrait ainsi d'extraire des séquences préférentielles d'actions sur le lecteur et ainsi de comparer des « signatures d'interactions » entre apprenants handicapés et non handicapés, et fournir une mesure supplémentaire de l'accessibilité. Une telle investigation permettrait d'établir des raccourcis définis au plus proches des comportement d'utilisation de chaque utilisateur. En d'autres termes, ces outils s'inscrivent dans la démarche de conception *Ability Based Design*, à travers le développement de fonctionnalités d'accessibilité adaptatives basé sur les interactions effectives de l'utilisateur.

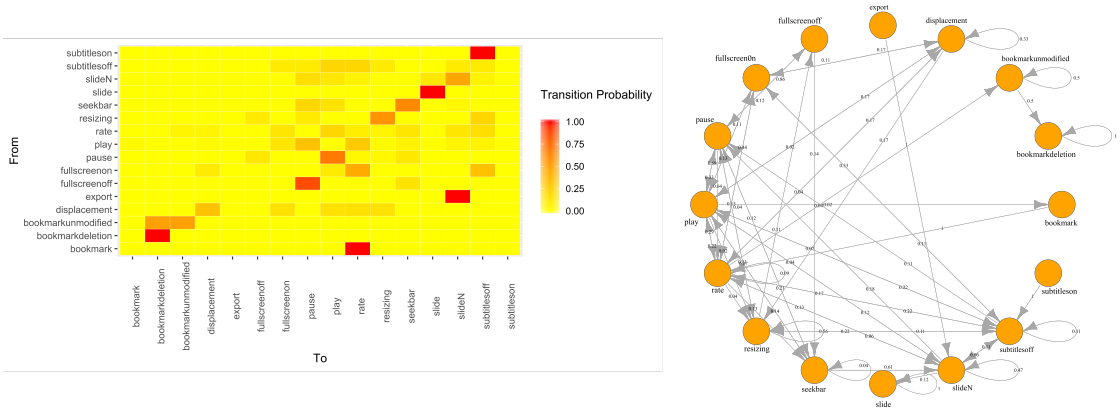


Fig. 11.4 : Illustration d'une représentation de la probabilité de transition entre les fonctionnalités d'Aïana d'un utilisateur pendant la lecture d'une séquence du MOOC.

12

Conclusion générale

Les formes que prennent les structures dédiées à l'instruction et à la formation se dessinent au regard des changements culturels, sociaux et économiques qui s'opèrent au sein de la société dans laquelle elles s'inscrivent. À cet égard, l'évolution du regard porté sur le handicap a transformé les volontés d'intégration des personnes handicapées au système scolaire vers une idée d'inclusion, démontrant ainsi la volonté de construire un modèle du vivre ensemble où chaque personne handicapée bénéficierait des mêmes droits et devoirs que l'ensemble des concitoyens.

Les travaux de recherche que nous avons présentés dans ce document se situent parmi les premiers à s'attaquer directement à la problématique de l'accessibilité des systèmes numériques d'enseignement pour les personnes handicapées ayant des troubles cognitifs. Ainsi, si ceux-ci présentent un certain nombre de limites inhérentes à leur qualité de pionniers dans ce domaine, en montrant qu'il est possible d'offrir de nouvelles opportunités pour l'inclusion des personnes handicapées dans les technologies éducatives, nous espérons humblement qu'ils contribueront à offrir aux personnes handicapées des chances égales de développement personnel et professionnel, conditions fondamentales afin qu'elles puissent exercer leur droit de choisir et de réaliser leur projet de vie. En ce sens, au-delà de la simple accessibilité des MOOCs, notre travail s'inscrit dans la promotion du droit des personnes handicapées à une vie autonome en leur donnant les moyens de participer activement à leurs propres expériences personnelles et professionnelles.

Bibliographie

Admiraal, W., Huisman, B., & Pilli, O. (2015). Assessment in massive open online courses. *Electronic Journal of E-learning*, 13(4), 207–216.

Agresti, A. & Kateri, M. (2011). *Categorical data analysis*. Springer.

Aist, G., Kort, B., Reilly, R., Mostow, J., Picard, R., et al. (2002). Experimentally augmenting an intelligent tutoring system with human-supplied capabilities : adding human-provided emotional scaffolding to an automated reading tutor that listens. In *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Multimodal Interfaces* (pp. 483). : IEEE Computer Society.

Al-Azawei, A., Serenelli, F., & Lundqvist, K. (2016). Universal design for learning (udl) : a content analysis of peer reviewed journals from 2012 to 2015. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 16(3), 39–56.

Al-Mouh, N. A., Al-Khalifa, A. S., & Al-Khalifa, H. S. (2014). A first look into moocs accessibility. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 145–152). : Springer.

Alghabban, W. G., Salama, R. M., & Altalhi, A. H. (2017). Mobile cloud computing : an effective multimodal interface tool for students with dyslexia. *Computers in Human Behavior*, 75, 160–166.

Alraimi, K. M., Zo, H., & Ciganek, A. P. (2015). Understanding the moocs continuance : The role of openness and reputation. *Computers & Education*, 80, 28–38.

Alt, H. & Godau, M. (1995). Computing the fréchet distance between two polygonal curves. *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 5(01n02), 75–91.

American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.

Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J., & Leskovec, J. (2014). Engaging with massive online courses. In *Proceedings of the 23rd international conference on World wide web* (pp. 687–698). : ACM.

Andruseac, G. G., Rotariu, D., Rotariu, C., & Costin, H. (2013). elearning platform for personalized therapy of learning disabilities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 83, 706–710.

Arnold, L. E., Hodgkins, P., Kahle, J., Madhoo, M., & Kewley, G. (2015). Long-term outcomes of adhd : academic achievement and performance. *Journal of attention disorders*, (pp. 1087054714566076).

Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory : A proposed system and its control processes. In *Psychology of learning and motivation*, volume 2 (pp. 89–195). Elsevier.

Bäckman, L. & Dixon, R. A. (1992). Psychological compensation : a theoretical framework. *Psychological bulletin*, 112(2), 259.

Baddeley, A. D. (1997). *Human memory : Theory and practice*. Psychology Press.

Bakker, M., van den Heuvel-Panhuizen, M., & Robitzsch, A. (2016). Effects of mathematics computer games on special education students' multiplicative reasoning ability. *British Journal of Educational Technology*, 47(4), 633–648.

Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human–Computer Interaction*, 24(6), 574–594.

Barcenilla, J. & Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le travail humain*, 72(4), 311–331.

Baron, G.-L. (2011). Learning design. *Recherche et formation*, (68), 109–120.

Barstow, C. & Rothberg, M. (2004). Ims guidelines for developing accessible learning applications.

Bastien, J. M. C., Scapin, D. L., & Leulier, C. (1999). The ergonomic criteria and the iso/dis 9241-10 dialogue principles : a pilot comparison in an evaluation task. *Interacting with computers*, 11(3), 299–322.

Battersby, S., Kelly, N., Brown, D. J., & Powell, H. (2002). Online gardening to promote social inclusion. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 150–152). : Springer.

Bean, J. P. & Metzner, B. S. (1985). A conceptual model of nontraditional undergraduate student attrition. *Review of educational Research*, 55(4), 485–540.

Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological bulletin*, 91(2), 276.

Belanger, Y., Thornton, J., & Barr, R. C. (2013). Bioelectricity : A quantitative approach–duke university's first mooc. *EducationXPress*, 2013(2), 1–1.

Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate : a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society : series B (Methodological)*, 57(1), 289–300.

Benmarrakchi, F., El Kafi, J., & Elhore, A. (2016). Supporting dyslexic's learning style preferences in adaptive virtual learning environment. In *Engineering & MIS (ICEMIS), International Conference on* (pp. 1–6). : IEEE.

Biederman, J., Faraone, S., Spencer, T., Mick, E., Monuteaux, M., & Aleardi, M. (2006). Functional impairments in adults with self-reports of diagnosed adhd. *J Clin Psychiatry*, 67(4), 524–540.

Blumenfeld, P. C., Kempler, T. M., & Krajcik, J. S. (2006). *Motivation and cognitive engagement in learning environments*. na.

Bødker, S. (2006). When second wave hci meets third wave challenges. In *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction : changing roles* (pp. 1–8). : ACM.

Bødker, S. (2015). Third-wave hci, 10 years later-participation and sharing. *interactions*, 22(5), 24–31.

Bohnsack, M. & Puhl, S. (2014). Accessibility of moocs. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 141–144). : Springer.

Bonferroni, C. (1936). Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilita. *Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commericiali di Firenze*, 8, 3–62.

Borges, L. C., Araujo, M. R., Maciel, C., & Nunes, E. P. (2016). Participatory design for the development of inclusive educational technologies : A systematic review. In *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1–9). : IEEE.

Boticario, J. G., Rodriguez-Ascaso, A., Santos, O. C., Raffenne, E., Montandon, L., Roldán Martínez, D., & Buendía García, F. (2012). Accessible lifelong learning at higher education : outcomes and lessons learned at two different pilotsites in the eu4all project. *Journal of Universal Computer Science*, 18(1), 62–85.

Bouvier, G. (2011). L'enquête handicap-santé, présentation générale. *Document de travail Insee F*, 1109.

Brajnik, G., Yesilada, Y., & Harper, S. (2012). Is accessibility conformance an elusive property ? a study of validity and reliability of wcag 2.0. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 4(2), 8.

Brangier, E. & Bastien, J. C. (2010). L'évolution de l'ergonomie des produits informatiques : accessibilité, utilisabilité, émotionnalité et influençabilité. *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés*, (pp. 307–328).

Brooke, J. et al. (1996). Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4–7.

Brueggemann, B. J., White, L. F., Dunn, P. A., Heifferon, B. A., & Cheu, J. (2001). Becoming visible : Lessons in disability. *College Composition and Communication*, (pp. 368–398).

Brunswic, E. (1970). Hier, l'audiovisuel ; demain, la technologie de l'éducation. Revue Medias, n° 18.

Burgstahler, S. (2009). Universal design of instruction (udi) : Definition, principles, guidelines, and examples. *DO-IT*.

Byun, S. & Park, C. (2011). Serious game for cognitive testing of elderly. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 354–357). : Springer.

Calvary, G., Coutaz, J., Thevenin, D., Limbourg, Q., Bouillon, L., & Vanderdonckt, J. (2003). A unifying reference framework for multi-target user interfaces. *Interacting with computers*, 15(3), 289–308.

Calvez, M. (1994). Le handicap comme situation de seuil : éléments pour une sociologie de la liminalité. *Sciences sociales et santé*, 12(1), 61–88.

Calvo, R., Arbiol, A., & Iglesias, A. (2014). Are all chats suitable for learning purposes ? a study of the required characteristics. *Procedia Computer Science*, 27, 251–260.

Calvo, R., Iglesias, A., & Castaño, L. (2017). Evaluation of accessibility barriers and learning features in m-learning chat applications for users with disabilities. *Universal Access in the Information Society*, 16(3), 593–607.

Campbell, A., Kirkpatrick, A., Connor, J. O., & Cooper, M. (2018). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. W3C recommendation, W3C. https ://www.w3.org/TR/2018/REC-WCAG21-20180605/.

Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). The psychology of human-computer interaction. 1983.

Carroll, J. M. (2003). *HCI models, theories, and frameworks : Toward a multidisciplinary science*. Elsevier.

Catarci, T., De Giovanni, L., Gabrielli, S., Kimani, S., & Mirabella, V. (2008). Scaffolding the design of accessible elearning content : a user-centered approach and cognitive perspective. *Cognitive processing*, 9(3), 209–216.

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). La charge cognitive (cognitive load).

Chapireau, F. (2001). La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. *Gérontologie et société*, 24(4), 37–56.

Chatzara, K., Karagiannidis, C., & Stamatis, D. (2016). Cognitive support embedded in self-regulated e-learning systems for students with special learning needs. *Education and Information Technologies*, 21(2), 283–299.

Cinquin, P.-A., Guitton, P., & Sauzéon, H. (2019). Online e-learning and cognitive disabilities : A systematic review. *Computers & Education*, 130, 152–167.

Clark, R. C. & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction : Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & Sons.

Clement, B., Oudeyer, P.-Y., & Lopes, M. (2016). A comparison of automatic teaching strategies for heterogeneous student populations. In *EDM 16-9th International Conference on Educational Data Mining*.

Cooper, M., Ferguson, R., & Wolff, A. (2016a). What can analytics contribute to accessibility in e-learning systems and to disabled students' learning ? In *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge* (pp. 99–103). : ACM.

Cooper, M., Ferguson, R., & Wolff, A. (2016b). What can analytics contribute to accessibility in e-learning systems and to disabled students' learning ? In *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge* (pp. 99–103). : ACM.

Cowan, N. (2001). Metatheory of storage capacity limits. *Behavioral and brain sciences*, 24(1), 154–176.

Cox, D. R. (1972). Regression models and life-tables. *Journal of the Royal Statistical Society : Series B (Methodological)*, 34(2), 187–202.

Craik, F. I., Klix, F., & Hagendorf, H. (1986). *A functional account of age differences in memory*.

Craik, F. I. & Salthouse, T. A. (2011). *The handbook of aging and cognition*. Psychology Press.

Csikszentmihalyi, M. (1978). Intrinsic rewards and emergent motivation. *The hidden costs of reward : New perspectives on the psychology of human motivation*, 24(3), 205–216.

Csikszentmihalyi, M. (1997). Flow and the psychology of discovery and invention. *HarperPerennial, New York*, 39.

Dalipi, F., Imran, A. S., & Kastrati, Z. (2018). Mooc dropout prediction using machine learning techniques : Review and research challenges. In *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1007–1014). : IEEE.

Davis, F. D. (1985). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems : Theory and results*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, (pp. 319–340).

de Oliveira Cardoso, C., Seabra, A. G., Gomes, C. M. A., & Fonseca, R. P. (2019). Program for the neuropsychological stimulation of cognition in students : Impact, effectiveness, and transfer effects on student cognitive performance. *Frontiers in psychology*, 10.

Debevc, M., Verlič, M., Kosec, P., & Stjepanovič, Z. (2007). How can hci factors improve accessibility of m-learning for persons with special needs ? In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction* (pp. 539–548). : Springer.

DeBoer, J., Ho, A. D., Stump, G. S., & Breslow, L. (2014). Changing "course" reconceptualizing educational variables for massive open online courses. *Educational researcher*, 43(2), 74–84.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). The general causality orientations scale : Self-determination in personality. *Journal of research in personality*, 19(2), 109–134.

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2004). *Handbook of self-determination research*. University Rochester Press.

Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'instructional design ? *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 28(1), 137–157.

Dixon, R. A., Garrett, D. D., Bäckman, L., Stuss, D., Winocur, G., et al. (2008). Principles of compensation in cognitive neuroscience and neurorehabilitation. *Cognitive neurorehabilitation : Evidence and application*, 2, 22–38.

Dostál, J. (2015). Activating devices and their use in e-learning–focussed on handicapped students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 176, 284–290.

Downes, S. (2005). An introduction to connective knowledge.

Downes, S. (2008). Places to go : Connectivism & connective knowledge. *Innovate : Journal of Online Education*, 5(1), 6.

Dupuy, L., Consel, C., & Sauzeon, H. (2016). Self determination-based design to achieve acceptance of assisted living technologies for older adults. *Computers in Human Behavior*, 65, 508–521.

Dyches, T. T., Smith, B. A., & Syal, S. (2004). Redesigning an introduction to special education course by infusing technology. *Computers in the Schools*, 21(1-2), 59–72.

Edwards, A. D. (1995). Computers and people with disabilities. In *Extra-ordinary human-computer interaction* (pp. 19–43). : Cambridge University Press.

English, W. K., Engelbart, D. C., & Berman, M. L. (1967). Display-selection techniques for text manipulation. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, (1), 5–15.

Espagnacq, M. (2015). Populations à risque de handicap et restrictions de participation sociale dossiers solidarité et santé.

Fage, C., Consel, C., Etchegoyen, K., Anouck, A., Bouvard, M., & Sauzéon, H. (2016a). Applications numériques pour la cognition sociale pour favoriser l'inclusion scolaire des élèves avec troubles du spectre autistique (tsa).

Fage, C., Moullet, P., Consel, C., & Sauzéon, H. (2016b). *Handbook of International Special Education*, chapter Disability and School in France : Overview. ABCCLIO, LLC.

Fairclough, S. H. (2008). Fundamentals of physiological computing. *Interacting with computers*, 21(1-2), 133–145.

Fanou, S. (2009). Web 2.0 : Engaging those with learning disabilities. In *Proceedings of the 7™ European Conference on e-Learning (354).(Reading, UK : Académie Publishing Limited)*.

Faucett, H. A., Ringland, K. E., Cullen, A. L., & Hayes, G. R. (2017). (in) visibility in disability and assistive technology. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 10(4), 14.

Field, S., Sarver, M. D., & Shaw, S. F. (2003). Self-determination : A key to success in postsecondary education for students with learning disabilities. *Remedial and Special Education*, 24(6), 339–349.

Fischer, G. & Herrmann, T. (2011). Socio-technical systems : a meta-design perspective. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development (IJSKD)*, 3(1), 1–33.

Fisseler, B. & Bühler, C. (2007). Accessible e-learning and educational technology extending learning opportunities for people with disabilities. In *Proceedings of the International Conference of "Interactive computer aided learning" ICL2007 : EPortofolio and Quality in e-Learning* (pp. 26–28).

Fleischer, D. Z., Zames, F. D., & Zames, F. (2012). *The disability rights movement : From charity to confrontation*. Temple University Press.

Forlizzi, J. & Zimmerman, J. (2013). Promoting service design as a core practice in interaction design. In *The 5th IASDR World Conference on Design Research* (pp. 1–12).

Frazier, T. W., Youngstrom, E. A., & Naugle, R. I. (2007). The latent structure of attention-deficit/hyperactivity disorder in a clinic-referred sample. *Neuropsychology*, 21(1), 45.

Friedman, M. G. & Bryen, D. N. (2007). Web accessibility design recommendations for people with cognitive disabilities. *Technology and Disability*, 19(4), 205–212.

Fryia, G. D., Wachowiak-Smolikova, R., & Wachowiak, M. P. (2009). Web accessibility in the development of an e-learning system for individuals with cognitive and learning disabilities. In *Networked Digital Technologies, 2009. NDT'09. First International Conference on* (pp. 153–158). : IEEE.

Gaebel, M. (2014). *MOOCs : Massive open online courses*. EUA.

Gagné, R. M. (1970). *The Conditions of learning (2e éd.)*. Holt, Rinehart and Winston.

Gagné, R. M. (1976). *Les principes fondamentaux de l'apprentissage : application à l'enseignement*. Éditions HRW,.

Gagné, R. M. (1985). *The Conditions of learning (4e éd.)*. Holt, Rinehart and Winston.

Gagné, R. M. (1988). Mastery learning and instructional design. *Performance Improvement Quarterly*, 1(1), 7–18.

García, A. M., De Bra, P., Stash, N., Fletcher, G., Fabri, M., & Pechenizkiy, M. (2016). Adaptive web-based educational application for autistic students. In *CEUR Workshop Proceedings*, volume 1628.

Garrison, D. R. (1993). 16 multifunction microcomputer enhanced audio teleconferencing : moving into the third generation of distance education. *Distance Education : New Perspectives*, (pp. 200).

Gasevic, D., Kovanovic, V., Joksimovic, S., & Siemens, G. (2014). Where is research on massive open online courses headed ? a data analysis of the mooc research initiative. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15(5).

Gevarter, C., Bryant, D. P., Bryant, B., Watkins, L., Zamora, C., & Sammarco, N. (2016). Mathematics interventions for individuals with autism spectrum disorder : A systematic review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 3(3), 224–238.

Gillespie, A., Best, C., & O'Neill, B. (2012). Cognitive function and assistive technology for cognition : A systematic review. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(1), 1–19.

Gillespie, A., Best, C., & O'neill, B. (2014). Assistive technology for cognition. In *Assistive Technology for Cognition* (pp. 15–28). Psychology Press.

Goffman, E. (1975). *Stigmate : les usages sociaux des handicaps*. Les éditions de minuit.

González, A. M. & Rodríguez, F. A. (2016). Enabling moocs' usage to mild and moderate intellectual disabled users : An approach to enhance mobile interfaces. *User-Centered Design Strategies for Massive Open Online Courses (MOOCs), Hershey, PA : Information Science Reference*, (pp. 157–175).

González, M., Moreno, L., & Martínez, P. (2015). Approach design of an accessible media player. *Universal Access in the Information Society*, 14(1), 45–55.

Griful-Freixenet, J., Struyven, K., Verstichele, M., & Andries, C. (2017). Higher education students with disabilities speaking out : perceived barriers and opportunities of the universal design for learning framework. *Disability & Society*, 32(10), 1627–1649.

Grudin, J. (2017). Obstacles to participatory design in large product development organizations. In *Participatory Design* (pp. 99–119). CRC Press.

Guest, G., MacQueen, K. M., & Namey, E. E. (2011). *Applied thematic analysis*. Sage Publications.

Guo, P. J., Kim, J., & Rubin, R. (2014). How video production affects student engagement : An empirical study of mooc videos. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference* (pp. 41–50). : ACM.

Guo, P. J. & Reinecke, K. (2014). Demographic differences in how students navigate through moocs. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference* (pp. 21–30). : ACM.

Halskov, K. & Hansen, N. B. (2015). The diversity of participatory design research practice at pdc 2002–2012. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 81–92.

Harbour, R. & Miller, J. (2001). A new system for grading recommendations in evidence based guidelines. *BMJ : British Medical Journal*, 323(7308), 334.

Harpur, P. (2012). Embracing the new disability rights paradigm : the importance of the convention on the rights of persons with disabilities. *Disability & Society*, 27(1), 1–14.

Harrison, M., Stockton, C., & Pearson, E. (2008). Inclusive, adaptive design for students with learning disabilities. In *Advanced Learning Technologies, 2008. ICALT'08. Eighth IEEE International Conference on* (pp. 1023–1027). : IEEE.

Harrison, S., Tatar, D., & Sengers, P. (2007). The three paradigms of hci. In *CHI 2007*.

Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of nasa-tlx (task load index) : Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*, volume 52 (pp. 139–183). Elsevier.

Hassenzahl, M. (2003). The thing and i : understanding the relationship between user and product. In *Funology* (pp. 31–42). Springer.

Hassenzahl, M. (2018). The thing and i : understanding the relationship between user and product. In *Funology 2* (pp. 301–313). Springer.

Hassenzahl, M., Beu, A., & Burmester, M. (2001). Engineering joy. *Ieee Software*, 18(1), 70–76.

Hassenzahl, M. & Tractinsky, N. (2006). User experience-a research agenda. *Behaviour & information technology*, 25(2), 91–97.

Hästbacka, E., Nygård, M., & Nyqvist, F. (2016). Barriers and facilitators to societal participation of people with disabilities : A scoping review of studies concerning european countries. *Alter*, 10(3), 201–220.

Haynes, W. (2013). *Bonferroni Correction*, (pp. 154–154). Springer New York : New York, NY.

Hew, K. F. & Cheung, W. S. (2014). Students' and instructors' use of massive open online courses (moocs) : Motivations and challenges. *Educational research review*, 12, 45–58.

Higbee, J. L. & Goff, E. (2008). Pedagogy and student services for institutional transformation : Implementing universal design in higher education. *Center for Research on Developmental Education and Urban Literacy*.

Holmes, J. (2012). Working memory and learning difficulties. *Dyslexia Review*, 23(2), 7–10.

Holmes, K. (2018). *Mismatch : How Inclusion Shapes Design*. MIT Press.

Hone, K. S. & El Said, G. R. (2016a). Exploring the factors affecting mooc retention : A survey study. *Computers & Education*, 98, 157–168.

Hone, K. S. & El Said, G. R. (2016b). Exploring the factors affecting mooc retention : A survey study. *Computers & Education*, 98, 157–168.

Hulusic, V. & Pistoljevic, N. (2015). Read, play and learn : An interactive e-book for children with autism. In *International Conference on Games and Learning Alliance* (pp. 255–265). : Springer.

IMS Global Learning Consortium (2004). Ims accessforall meta-data overview.

Iniesto, F., McAndrew, P., Minocha, S., & Coughlan, T. (2017a). An investigation into the perspectives of providers and learners on mooc accessibility. In *Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp.95). : ACM.

Iniesto, F., McAndrew, P., Minocha, S., & Coughlan, T. (2017b). What are the expectations of disabled learners when participating in a mooc ? In *Proceedings of the Fourth (2017) ACM Conference on Learning@ Scale* (pp. 225–228). : ACM.

Iniesto, F. & Rodrigo, C. (2014). Accessibility assessment of mooc platforms in spanish : Uned coma, colmenia and miriada x. In *2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE)* (pp. 169–172). : IEEE.

Iniesto, F. & Rodrigo, C. (2016). Strategies for improving the level of accessibility in the design of mooc-based learning services. In *2016 International Symposium on Computers in Education (SIIE)* (pp. 1–6). : IEEE.

International Organization for Standardization (2016). 9999 assistive products for persons with disability–classification and terminology.

Iradah, I. S. & Rabiah, A. (2011). Edutism : an assistive educational system for the treatment of autism children with intelligent approach. In *International Visual Informatics Conference* (pp. 193–204). : Springer.

ISO 9241-210 :2010 (2010). *Ergonomics of human-system interaction – Part 210 : Human-centred design for interactive systems*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.

ISO 9999 :2016 (2016). *Assistive products for persons with disability – Classification and terminology*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.

ISO/IEC 24751 :2008 (2008). *Information technology – Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.

ISO/TR 22411 :2008 (2008). *Ergonomics data and guidelines for the application of ISO/IEC Guide 71 to products and services to address the needs of older persons and persons with disabilities*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.

ISO/TSR 16982 :2002 (2002). *Ergonomics of human-system interaction – Usability methods supporting human-centred design*. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.

Istenic Starcic, A. & Bagon, S. (2014). Ict-supported learning for inclusion of people with special needs : Review of seven educational technology journals, 1970–2011. *British Journal of Educational Technology*, 45(2), 202–230.

John, B. E. & Kieras, D. E. (1996). The goms family of user interface analysis techniques : Comparison and contrast. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 3(4), 320–351.

Jordan, K. (2015). Massive open online course completion rates revisited : Assessment, length and attrition. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 16(3).

Keates, S., Clarkson, P. J., Harrison, L.-A., & Robinson, P. (2000). Towards a practical inclusive design approach. In *Proceedings on the 2000 conference on Universal Usability* (pp. 45–52). : ACM.

Keefe, J. W. (1988). *Profiling and Utilizing Learning Style. NASSP Learning Style Series*. ERIC.

Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods.

Kensing, F. & Blomberg, J. (1998). Participatory design : Issues and concerns. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 7(3-4), 167–185.

Kesim, M. & Altınpulluk, H. (2015). A theoretical analysis of moocs types from a perspective of learning theories. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 186, 15–19.

Khowaja, K. & Salim, S. S. (2013). A systematic review of strategies and computer-based intervention (cbi) for reading comprehension of children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(9), 1111–1121.

Kim, J., Guo, P. J., Seaton, D. T., Mitros, P., Gajos, K. Z., & Miller, R. C. (2014). Understanding in-video dropouts and interaction peaks inonline lecture videos. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning@ scale conference* (pp. 31–40). : ACM.

King-Sears, M. (2009). Universal design for learning : Technology and pedagogy. *Learning Disability Quarterly*, 32(4), 199–201.

Kizilcec, R. F. & Halawa, S. (2015). Attrition and achievement gaps in online learning. In *Proceedings of the Second (2015) ACM Conference on Learning@ Scale* (pp. 57–66). : ACM.

Kizilcec, R. F., Saltarelli, A. J., Reich, J., & Cohen, G. L. (2017). Closing global achievement gaps in moocs. *Science*, 355(6322), 251–252.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T., & Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human eeg and attention. *Neuroscience letters*, 244(2), 73–76.

Knight, V., McKissick, B. R., & Saunders, A. (2013). A review of technology-based interventions to teach academic skills to students with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(11), 2628–2648.

Kolb, D. A. (1999). *Learning style inventory : Version 3*. Hay/McBer Training Resources Group.

Kurkovsky, S. (2009). *Multimodality in mobile computing and mobile Devices : Methods for adaptable Usability : Methods for adaptable usability*. IGI Global.

Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G., & Martin, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire attrakdiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 65(5), 239–252.

Lau, H. M., Smit, J. H., Fleming, T. M., & Riper, H. (2017). Serious games for mental health : are they accessible, feasible, and effective ? a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in psychiatry*, 7, 209.

Lê, T. K. (1967). *Lê Thành Khôi. L'Industrie de l'enseignement*. Les Éditions de Minuit.

Lee, Y., Kozar, K. A., & Larsen, K. R. (2003). The technology acceptance model : Past, present, and future. *Communications of the Association for information systems*, 12(1), 50.

Lee, Y., Lee, J., & Hwang, Y. (2015). Relating motivation to information and communication technology acceptance : Self-determination theory perspective. *Computers in Human Behavior*, 51, 418–428.

Lewis, J. R. & Sauro, J. (2009). The factor structure of the system usability scale. In *International conference on human centered design* (pp. 94–103). : Springer.

Limbourg, Q., Vanderdonckt, J., Michotte, B., Bouillon, L., & López-Jaquero, V. (2004). Usixml : a language supporting multi-path development of user interfaces. In *IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction* (pp. 200–220). : Springer.

Liu, G.-Z., Wu, N.-W., & Chen, Y.-W. (2013). Identifying emerging trends for implementing learning technology in special education : A state-of-the-art review of selected articles published in 2008–2012. *Research in developmental disabilities*, 34(10), 3618–3628.

Liyanagunawardena, T. R., Adams, A. A., & Williams, S. A. (2013). Moocs : A systematic study of the published literature 2008-2012. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 14(3), 202–227.

Mabbett, D. (2005). The development of rights-based social policy in the european union : the example of disability rights. *JCMS : Journal of Common Market Studies*, 43(1), 97–120.

Mace, R. (1991). Accessible environments : Toward universal design. *Design interventions : Toward a more humane architecture*.

Magarey, J. M. (2001). Elements of a systematic review. *International Journal of Nursing Practice*, 7(6), 376–382.

Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(4), 377–384.

Martinussen, R. & Tannock, R. (2006). Working memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without comorbid language learning disorders. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 28(7), 1073–1094.

Matthews, C. K. & Harrington, N. G. (2000). *Invisible disability*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Maxwell, G., Granlund, M., & Augustine, L. (2018). Inclusion through participation : understanding participation in the international classification of functioning, disability, and health as a methodological research tool for investigating inclusion. In *Frontiers in Education*, volume 3.

Mayer, R. E. (1996). Learning strategies for making sense out of expository text : The soi model for guiding three cognitive processes in knowledge construction. *Educational psychology review*, 8(4), 357–371.

Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational psychologist*, 38(1), 43–52.

Mendoza-Gonzalez, R. (2016). *User-centered Design Strategies for Massive Open Online Courses (MOOCs)*. IGI Global.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). Fundamentals of qualitative data analysis. *Qualitative data analysis : A methods sourcebook*, (pp. 69–103).

Miñón, R., Moreno, L., Martínez, P., & Abascal, J. (2014). An approach to the integration of accessibility requirements into a user interface development method. *Science of Computer Programming*, 86, 58–73.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses : the prisma statement. *International journal of surgery*, 8(5), 336–341.

Montero, F., López-Jaquero, V., Navarro, E., & Sánchez, E. (2011). Computer-aided relearning activity patterns for people with acquired brain injury. *Computers & Education*, 57(1), 1149–1159.

Moore, M. G. & Kearsley, G. (2011). *Distance education : A systems view of online learning*. Cengage Learning.

Morales-Villaverde, L. M., Caro, K., Gotfrid, T., & Kurniawan, S. (2016). Online learning system to help people with developmental disabilities reinforce basic skills. In *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 43–51). : ACM.

Moreno, L., Gonzalez, M., Martínez, P., & Iglesias, A. (2011). A study of accessibility requirements for media players on the web. In *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction* (pp. 249–257). : Springer.

Morrow, D. G. & Rogers, W. A. (2008). Environmental support : An integrative framework. *Human Factors*, 50(4), 589–613.

Mortimore, T. & Crozier, W. R. (2006). Dyslexia and difficulties with study skills in higher education. *Studies in Higher Education*, 31(2), 235–251.

Newell, A. F., Gregor, P., Morgan, M., Pullin, G., & Macaulay, C. (2011). User-sensitive inclusive design. *Universal Access in the Information Society*, 10(3), 235–243.

Newell, C. & Debenham, M. (2009). Disability, chronic illness, and distance education. In *Encyclopedia of Distance Learning, Second Edition* (pp. 646–655). IGI Global.

Newson, R. (2002). Parameters behind "nonparametric" statistics : Kendall's tau, somers' d and median differences. *The Stata Journal*, 2(1), 45–64.

Nielsen, J. (1986). A virtual protocol model for computer-human interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(3), 301–312.

Nielsen, J. & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 249–256). : ACM.

Nilholm, C. (2006). Special education, inclusion and democracy. *European Journal of Special Needs Education*, 21(4), 431–445.

Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. *User centered system design*, 31, 61.

Organisation Mondiale de la Santé (1988). *Classification internationale des handicaps : déficiences, incapacités et désavantages : un manuel de classification des conséquences des maladies*. Technical report.

Organisation Mondiale de la Santé (2001). *Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé - CIF*. Organisation Mondiale de la Santé.

Organisation Mondiale de la Santé (2007). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé Version pour enfants et adolescents, CIF-EA*. Organisation Mondiale de la Santé.

Organisation Mondiale de la Santé (2011). *Rapport mondial sur le handicap*. Technical report, Genf, Schweiz.

Oswald, T. M., Beck, J. S., Iosif, A.-M., McCauley, J. B., Gilhooly, L. J., Matter, J. C., & Solomon, M. (2016). Clinical and cognitive characteristics associated with mathematics problem solving in adolescents with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 9(4), 480–490.

Oxman, A. D., Sackett, D. L., Guyatt, G. H., Browman, G., Cook, D., Gerstein, H., Haynes, B., Hayward, R., Levine, M., Nishikawa, J., et al. (1993). Users' guides to the medical literature : I. how to get started. *Jama*, 270(17), 2093–2095.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design : Recent developments. *Educational psychologist*, 38(1), 1–4.

Paivio, A. (1990). *Mental representations : A dual coding approach*, volume 9. Oxford University Press.

Park, H.-J. & Kim, S.-B. (2013). Guidelines of serious game accessibility for the disabled. In *2013 International Conference on Information Science and Applications (ICISA)* (pp. 1–3). : IEEE.

Parsons, T. (1951). The social system.

Pauvert, J.-C. (1960). Facteurs sociologiques de la planification de l'éducation. *Revue Tiers Monde*, (pp. 135–144).

Pearson, E. (2003). Designing a staff development course in inclusive design for online learning. *International Journal on E-learning*, 2(4), 52–59.

Perelmutter, B., McGregor, K. K., & Gordon, K. R. (2017). Assistive technology interventions for adolescents and adults with learning disabilities : An evidence-based systematic review and meta-analysis. *Computers & education*, 114, 139–163.

Perry, W. (1977). *The open university*. Jossey-Bass Incorporated Pub.

Peters, O. (2013). *Learning and teaching in distance education : Analyses and interpretations from an international perspective*. Routledge.

Peterson-Karlan, G. R. (2011). Technology to support writing by students with learning and academic disabilities : Recent research trends and findings. *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, 7(1), 39–62.

Petrie, H. & Kheir, O. (2007). The relationship between accessibility and usability of websites. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 397–406). : ACM.

Petz, A. & Miesenberger, K. (2006). Ecdl bf : equal opportunities through equal access to an ecdl e-learning solution. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 560–567). : Springer.

Phillips, B. & Zhao, H. (1993). Predictors of assistive technology abandonment. *Assistive technology*, 5(1), 36–45.

Pirani, Z. & Sasikumar, M. (2015). Assistive e-learning system for the learning disabled. *Procedia Computer Science*, 45, 718–727.

Power, C., Freire, A., Petrie, H., & Swallow, D. (2012). Guidelines are only half of the story : accessibility problems encountered by blind users on the web. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 433–442). : ACM.

Power, M. (2007). Générations d'enseignement à distance, technologies éducatives et médiatisation de l'enseignement supérieur. *International Journal of E-Learning & Distance Education/Revue internationale du e-learning et la formation à distance*, 17(2), 57–69.

Puma, S. & Tricot, A. (2019). Cognitive load theory and working memory models. *Advances in Cognitive Load Theory : Rethinking Teaching*, (pp.41).

Qu, H. & Chen, Q. (2015). Visual analytics for mooc data. *IEEE computer graphics and applications*, 35(6), 69–75.

Ramesh, A., Goldwasser, D., Huang, B., Daumé III, H., & Getoor, L. (2013). Modeling learner engagement in moocs using probabilistic soft logic. In *NIPS Workshop on Data Driven Education*, volume 21 (pp.62).

Rao, K., Edelen-Smith, P., & Wailehua, C.-U. (2015). Universal design for online courses : applying principles to pedagogy. *Open Learning : The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 30(1), 35–52.

Reich, J. (2014). Mooc completion and retention in the context of student intent. *EDUCAUSE Review Online*.

Reigeluth, C. M., Merrill, M. D., Wilson, B. G., & Spiller, R. T. (1980). The elaboration theory of instruction : A model for sequencing and synthesizing instruction. *Instructional science*, 9(3), 195–219.

Rello, L., Subirats, S., & Bigham, J. P. (2016). An online chess game designed for people with dyslexia. In *Proceedings of the 13th Web for All Conference* (pp.28). : ACM.

Rettig, M. (1994). Prototyping for tiny fingers. *Communications of the ACM*, 37(4), 21–28.

Revheim, N., Corcoran, C. M., Dias, E., Hellmann, E., Martinez, A., Butler, P. D., Lehrfeld, J. M., DiCostanzo, J., Albert, J., & Javitt, D. C. (2014). Reading deficits in schizophrenia and individuals at high clinical risk : relationship to sensory function, course of illness, and psychosocial outcome. *American Journal of Psychiatry*, 171(9), 949–959.

Richardson, J. T. (2009). The attainment and experiences of disabled students in distance education. *Distance Education*, 30(1), 87–102.

Riddell, S., Tinklin, T., & Wilson, A. (2005). *Disabled students in higher education : perspectives on widening access and changing policy*. Routledge.

Roca, J. C. & Gagné, M. (2008). Understanding e-learning continuance intention in the workplace : A self-determination theory perspective. *Computers in human behavior*, 24(4), 1585–1604.

Rocque, S., Langevin, J., Chalghoumi, H., & Ghorayeb, A. (2011). Accessibilité universelle et designs contributifs dans un processus évolutif. *Développement humain, handicap et changement social*, 19(3), 7–24.

Rogers, Y. (2011). Interaction design gone wild : striving for wild theory. *interactions*, 18(4), 58–62.

Rose, D. H. & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age : Universal design for learning*. ERIC.

Rose, D. H. & Meyer, A. (2006). *A practical reader in universal design for learning*. ERIC.

Rossman, G. B. & Rallis, S. F. (2003). *Learning in the field : An introduction to qualitative research*. Sage.

Rougeaux, M., Rekik, M., Kechadi, L., Candau, C., Tijus, C., & Lot, N. (2015). Livrable4. 1 : Livre blanc sur l'état de l'art des solutions d'accessibilité dans les players.

Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.

Saldaña, J. (2015). *The coding manual for qualitative researchers*. Sage.

Sánchez-Gordón, S. & Luján-Mora, S. (2013). Web accessibility of moocs for elderly students. In *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)* (pp. 1–6). : IEEE.

Sánchez Gordón, S. & Luján-Mora, S. (2016). Design, implementation and evaluation of moocs to improve inclusion of diverse learners. *User-centered design strategies for massive open online courses (MOOCs)*, (pp. 115–141).

Sánchez Gordón, S. & Luján-Mora, S. (2017). Research challenges in accessible moocs : a systematic literature review 2008–2016. *Universal Access in the Information Society*, (pp. 1–15).

Sánchez Gordón, S., Luján-Mora, S., et al. (2015). Adaptive content presentation extension for open edx. enhancing moocs accessibility for users with disabilities. In *The Eighth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2015)* (pp. 181–183). : International Academy, Research, and Industry Association (IARIA).

Sanders, E. B.-N. (2003). From user-centered to participatory design approaches. In *Design and the social sciences* (pp. 18–25). CRC Press.

Scapin, D. L. & Bastien, J. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & information technology*, 16(4-5), 220–231.

Schelly, C. L., Davies, P. L., & Spooner, C. L. (2011). Student perceptions of faculty implementation of universal design for learning. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 24(1), 17–30.

Scherer, M. J. (2005). Assessing the benefits of using assistive technologies and other supports for thinking, remembering and learning. *Disability and rehabilitation*, 27(13), 731–739.

Schumacher, C. & Ifenthaler, D. (2018). Features students really expect from learning analytics. *Computers in Human Behavior*, 78, 397–407.

Scott, S. S., McGuire, J. M., & Foley, T. E. (2003). Universal design for instruction : A framework for anticipating and responding to disability and other diverse learning needs in the college classroom. *Equity &Excellence in Education*, 36(1), 40–49.

Seaborn, K. & Fels, D. I. (2015). Gamification in theory and action : A survey. *International Journal of human-computer studies*, 74, 14–31.

Seale, J. (2006). A contextualised model of accessible e-learning practice in higher education institutions. *Australasian Journal of Educational Technology*, 22(2), 268–288.

Seale, J. K. (2013). *E-learning and disability in higher education : accessibility research and practice*. Routledge.

Seidel, N. (2017). Analytics on video-based learning. a literature review. In *DeLFI/GMW Workshops*.

Shah, D. (2018). By the numbers : Moocs in 2018.

Shannon, C. E. & Weaver, W. (1998). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois press.

Shneiderman, B. (2000). Universal usability. *Communications of the ACM*, 43(5), 85–85.

Shogren, K. A., Wehmeyer, M. L., & Palmer, S. B. (2017). Causal agency theory. In *Development of self-determination through the life-course* (pp. 55–67). Springer.

Siemens, G. & Long, P. (2011). Penetrating the fog : Analytics in learning and education. *EDUCAUSE review*, 46(5), 30.

Simeonsson, R. J., Leonardi, M., Lollar, D., Bjorck-Akesson, E., Hollenweger, J., & Martinuzzi, A. (2003). Applying the international classification of functioning, disability and health (icf) to measure childhood disability. *Disability and rehabilitation*, 25(11-12), 602–610.

Sindhu, F. & Dickson, R. (1997). The complexity of searching the literature. *International Journal of Nursing Practice*, 3(4), 211–217.

Sinha, T., Jermann, P., Li, N., & Dillenbourg, P. (2014). Your click decides your fate : Inferring information processing and attrition behavior from mooc video clickstream interactions. *arXiv preprint arXiv :1407.7131*.

Sitra, O., Katsigiannakis, V., Karagiannidis, C., & Mavropoulou, S. (2017). The effect of badges on the engagement of students with special educational needs : A case study. *Education and Information Technologies*, 22(6), 3037–3046.

Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science*, 128(3330), 969–977.

Smith, S. J. & Harvey, E. E. (2014). K-12 online lesson alignment to the principles of universal design for learning : the khan academy. *Open Learning : The Journal of Open, Distance and E-Learning*, 29(3), 222–242.

Spellman, J. F., Allan, J., Lowney, G., & Patch, K. (2015). *User Agent Accessibility Guidelines (UAAG) 2.0*. W3C note, W3C. http ://www.w3.org/TR/2015/NOTE-UAAG20-20151215/.

Spinuzzi, C. (2005). The methodology of participatory design. *Technical communication*, 52(2), 163–174.

Stephanidis, C. & Salvendy, G. (1998). Toward an information society for all : An international research and development agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10(2), 107–134.

Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve ? theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448–460.

Stiker, H.-J. (2013). *Corps infirmes et sociétés-3e éd. : Essais d'anthropologie historique*. Dunod.

Stipek, D. J. (1993). *Motivation to learn : From theory to practice*. Allyn and Bacon.

Sung, K.-M. & Puskar, K. R. (2006). Schizophrenia in college students in korea : A qualitative perspective. *Perspectives in Psychiatric Care*, 42(1), 21–32.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295–312.

Tandy, C. & Meacham, M. (2009). Removing the barriers for students with disabilities : Accessible online and web-enhanced courses. *Journal of Teaching in Social Work*, 29(3), 313–328.

Thornicroft, G., Rose, D., & Mehta, N. (2010). Discrimination against people with mental illness : what can psychiatrists do ? *Advances in psychiatric treatment*, 16(1), 53–59.

Tinto, V. (1998). Colleges as communities : Taking research on student persistence seriously. *The review of higher education*, 21(2), 167–177.

Tricot, A. & Plégat-Soutjis, F. (2003). Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les tic. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 10, 27–pages.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des eiah. In *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003* (pp. 391–402). : ATIEF ; INRP.

Tsiopela, D. & Jimoyiannis, A. (2014). Pre-vocational skills laboratory : Development and investigation of a web-based environment for students with autism. *Procedia Computer Science*, 27, 207–217.

Tun, P. A., McCoy, S., & Wingfield, A. (2009). Aging, hearing acuity, and the attentional costs of effortful listening. *Psychology and aging*, 24(3), 761.

Tyler, R. W. (1949). *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. University of CHicago Press.

UN General Assembly (2007). Convention on the rights of persons with disabilities : resolution/adopted by the general assembly, 24 january 2007. *A/Res/61/106 available at www. refworld/org. docid/45f97362html*.

Vallerand, R. J. (1997). Toward a hierarchical model of intrinsic and extrinsic motivation. In *Advances in experimental social psychology*, volume 29 (pp. 271–360). Elsevier.

Van Selm, M. & Jankowski, N. W. (2006). Conducting online surveys. *Quality and quantity*, 40(3), 435–456.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a unified view. *MIS quarterly*, (pp. 425–478).

Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology : extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 36(1), 157–178.

Verdinelli, S. & Scagnoli, N. I. (2013). Data display in qualitative research. *International Journal of Qualitative Methods*, 12(1), 359–381.

Verdonschot, M. M., De Witte, L. P., Reichrath, E., Buntinx, W., & Curfs, L. M. (2009). Community participation of people with an intellectual disability : A review of empirical findings. *Journal of Intellectual Disability Research*, 53(4), 303–318.

Viberg, O., Hatakka, M., Bälter, O., & Mavroudi, A. (2018). The current landscape of learning analytics in higher education. *Computers in Human Behavior*.

Vrillon, É. (2017). Une typologie de mooc de france université numérique (fun) : méthode et enjeux. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 24(2), 87–111.

Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society : The development of higher mental process.

Web Accessibility Initiative (2018). *Web Accessibility Guidelines 2.1*. Technical report.

Wehmeyer, M. L. (1995). The arc's self-determination scale : Procedural guidelines.

Wehmeyer, M. L. & Patton, J. R. (2017). *The Praeger International Handbook of Special Education [3 volumes]*. ABC-CLIO.

Wehmeyer, M. L. & Schalock, R. L. (2001). Self-determination and quality of life : Implications for special education services and supports.

Wehmeyer, M. L. & Shogren, K. A. (2016). Self-determination and choice. In *Handbook of evidence-based practices in intellectual and developmental disabilities* (pp. 561–584). Springer.

Wehmeyer, M. L., Shogren, K. A., Little, T. D., & Lopez, S. J. (2017). *Development of self-determination through the life-course*. Springer.

Whyte, E. M., Smyth, J. M., & Scherf, K. S. (2015). Designing serious game interventions for individuals with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(12), 3820–3831.

Wild, G. (2018). The inaccessibility of video players. In *International Conference on Computers Helping People with Special Needs* (pp. 47–51). : Springer.

Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational psychologist*, 24(4), 345–376.

Wittrock, M. C. (1992). Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist*, 27(4), 531–541.

Wobbrock, J. O., Kane, S. K., Gajos, K. Z., Harada, S., & Froehlich, J. (2011). Ability-based design : Concept, principles and examples. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 3(3), 9.

World Health Organization (2001). *International Classification of Functioning, Disability and Health : ICF*. World Health Organization.

World Health Organization (2007). *International Classification of Functioning, Disability and Health, Version for Children and Youth, ICF-CY*. World Health Organization.

World Health Organization (2011). *World Report on Disability*. Technical report, Genf, Schweiz.

Xu, D., Huang, W. W., Wang, H., & Heales, J. (2014). Enhancing e-learning effectiveness using an intelligent agent-supported personalized virtual learning environment : An empirical investigation. *Information & Management*, 51(4), 430–440.

Yesilada, Y., Brajnik, G., Vigo, M., & Harper, S. (2015). Exploring perceptions of web accessibility : a survey approach. *Behaviour & Information Technology*, 34(2), 119–134.

Yuan, B., Folmer, E., & Harris, F. C. (2011). Game accessibility : a survey. *Universal Access in the Information Society*, 10(1), 81–100.

Yuan, L. & Powell, S. (2013). Moocs and open education : Implications for higher education : A white paper. *JISC CETIS*.

Zahed-Babelan, A. & Moenikia, M. (2010). The role of emotional intelligence in predicting students' academic achievement in distance education system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 1158–1163.

Zhu, M., Sari, A., & Bonk, C. (2018). A systematic review of mooc research methods and topics : Comparing 2014-2016 and 2016-2017. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 1673–1682). : Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

Zimmerman, B. J. (2013). Theories of self-regulated learning and academic achievement : An overview and analysis. In *Self-regulated learning and academic achievement* (pp. 10–45). Routledge.

Annexes

A Participatory Design Verbatim examples

[1] Time-related constraints : Students with disabilities are more prone to have chaotic and frequently disrupted university schooling due to potential unpredictable absences because of their hospitalization or medical appointments. Because of the fatigue induced by their medical treatment, some of them are unable to study in the evening and therefore cannot prepare the next class.

P1[1] *: "I work a lot, yes, I work a lot. I work a lot, maybe because I'm not very efficient, just… no, no, no, I can say I'm not very efficient. I spend a lot of time working."*

[2] Difficulty in taking notes : Note-taking is a rather difficult, if not impossible, task according to the students. Most of them choose to only focus on the teacher's discourse, and ignore other material (*i.e.*, slides, handbook, *etc.*) to ensure a better understanding of the course.

P2 : "I have a lot of trouble taking notes, a lot of trouble. Taking note is very complicated… well, now… oh yes, I can't do it, either I focus on what I am writing or I focus on what I'm told but I can't do both."

P6 : "Somebody takes notes for me. I realized that I was more effective when I just focus on the lecture rather than trying to take notes. When I do, when I read my notes, well… I feel like I have never seen the course before."

[3] Difficulty to produce written content : Most students expressed difficulties when it comes to writing expression. As it is the most common form of expression used for student evaluation, interviewees report that it increases the complexity of their exams and home assignments.

P6 : ""I have the ideas but I can't get them in shape, like… find the right words or whatever… I understand all the vocabulary that we are taught, but I don't have the ability to use it properly at the right time. In the end, my essays seem to be written by a third grader."

[4] Difficulty to maintain focused : Students expressed difficulties in staying focused during learning activities. This is especially the case when there is little interaction with the

1. The quotes proposed as examples are translated from the original interviews transcription

teacher, or when there are too many distractions in the room (*e.g.*, noise, talking, clutter, *etc.*). This lack of attention control leads them to engage discontinuously, and increases the risk of missing important information.

P1 : "I quickly drop out of courses because I'm easily bored, and when I'm reading something I've already done, well… my concentration is a little low."

P3 : "I try to sit in the front row but as I always get late uh… I'm never in the front row and, the problem is that, as I can't help but chat with people because of my attention problems… in the end, like uh… very often I get lost at the beginning of the school year and then I just try to catch up afterwards."

[5] Social component : Social interactions with teachers and other students affect in different and varied ways how students engage in learning activities. Group work is seen as more difficult than individual work, as they need to adapt to collective strategies that might interfere with their own work habits. However, they appreciate when an activity entails a clear division of labour, as long as someone decide what they should do.

P3 : "It's really difficult to work with other students, because they quickly exclude me from the group because I'm not focused, because I don't get the task done… In fact, it's mostly because I have a lot of trouble organizing what I have to do, so either it's… either I delegate the tasks to others or I absolutely need someone to say everything I have to do."

[6] Need of structured content : Courses content structure and representation have a significant impact on students' understanding. During the interviews, they expressed their difficulties in developing an adequate representation of the learning content throughout the course and find it really useful when a teacher provides a clear and consistent course outline.

P1 : "Last year in one of the lectures, they gave a paper version of the lecture in advance, or on Internet I can't remember, so students could read it before the lecture and ask questions if they wanted. I think it's a great idea."

[7] Knowledge consolidation and study skills : Students pointed out the difficulties in engaging in personal homework and reported that they spend a large amount of time when it comes to preparing an exam. *P6 : "When I manage to write revision cards out of lecture notes that I think are well done, when I want to use them to study, well… I don't understand anything and I finally go back reading the original lecture notes."*

[8] Difficulty memorizing information : Students also find it difficult to remember new information, especially when instruction is based on rote learning.

P3 : "I can't memorize… for example, I can't memorize terms definitions and all of that. It's either I remember them as soon as I see them in class or I… I just can't remember them."

[9] Work organisation : Two students pointed out several difficulties in organising their learning activities, especially when an activity has to be divided into several tasks and requires careful planning. As these strategies are cognitively demanding, they do not have sufficient resources when it comes to carry out their tasks effectively.

P5 : "I can't organize anything at all, so it's a little constraining and uh… well, I'm very quickly disrupted, at first it's well-structured but it doesn't even last 5 minutes, and then it's a bit tedious."

[10] Synthetizing information : Identifying the essential elements and presenting them in an organized fashion is seen as an almost impossible task for some students. As a consequence, they are unable to make courses or reading summary to help them during exam preparation or written assignments.

P4 : "I try to write summaries sometimes but I realized that sometimes it is totally impossible, or at the beginning it is fine but uh… I end up rewriting all the original notes, and I am totally lost in it."

[11] Oral examination preference : Two students clearly stated their preference for oral examination rather than written ones. They motivate this preference by the fact that this type of assessment allows them to adjust their speech if teachers ask for clarification.

P2 : "Oh yeah, I really like oral exams… it's like you're in your bubble. It's not a social interaction, or at least it's…. you're in a theatrical performance. [Interviewer : so actually there's no problem at all with… talking to the teachers, even if they make negative comments ?] Not at all ! I carry on, I defend my stuff !"

B Theoretical Framework Description

Cognitive Load Theory

Cognitive Load Theory (Sweller, 1994) is based on the classical cognitive architecture of human memory, especially on the limitation in working memory capacity (Baddeley 1997, Cowan 2001). The main assertion is that learning is hampered when the working memory capacity is exceeded in a learning task. Sweller distinguishes three types of cognitive load :

- **Intrinsic cognitive load** refers to the difficulty of the concept to be learned, and depends on its inherent characteristics ;
- **Extraneous cognitive load** is generated by the manner in which information is presented to learners and is particularly induced when learners have to deal with unnecessary information ;
- **Germane cognitive load** refers to the cognitive process of schemas acquisition.

For learners to be able to retain information effectively, instructional material should be presented in a way that optimizes the use of working memory capacity and avoids cognitive overload. To do so, the Instructional Design field (Paas et al., 2003) has produced a diverse set of principles such as taking into account the prior knowledge of the learner to reduce intrinsic load, avoiding non-essential information to prevent unnecessary extraneous load and stimulating processes that lead to conceptually rich and deep knowledge (*i.e.*, germane load).

Cognitive Theory of Multimedia Learning

This theory has been applied to multimedia learning by Mayer & Moreno (2003). The Cognitive Theory of Multimedia Learning they proposed provides a model that underlies the cognitive processes involved in multimedia learning. Directly inspired by the SOI (Selection-Organization-Integration) model (Mayer, 1996), they propose several methods to design efficient multimedia content for learning, based on three main assumptions on the human cognitive system : The dual-coding theory (*i.e.*, information is processed through two separate auditory and visual (Paivio, 1990)), and the generative Learning Theory (*i.e.*, active control of the learning process to generate a meaningful learning experience (Wittrock 1989, 1992). Similar to the cognitive load theory, the first goal is to reduce the extrinsic load that may be induced by the way the information is presented.

The different principles presented here are useful to design and evaluate solutions aiming to help people with cognitive impairment as they mainly focus on cognitive processing optimization. However, during the meetings, some experts have raised concerns about their transferability to our context. Indeed, most experimental validations in Instructional Design research are based on experiment with people without cognitive impairments, and may not apply to people with cognitive impairments. To overcome this issue, they proposed to explore special education guidelines.

Universal Design for Learning

Universal Design for Learning (UDL, Rose & Meyer 2006) is a research based framework aiming to improve teaching and learning activities. Despite the use of Universal in its name, UDL promotes the development of lesson plans and assessments that can be adjusted to meet the diverse and variable needs of all students. This framework is based on three main principles :

- **Offer multiple representations of information :** Students differ in how they perceive and understand educational content. In this respect, different options to approach instructional material and learning activities should be provided.
- **Provide multiple ways of expression :** Preferred modes of communication vary among students. As they may be more or less comfortable with some way of expressing what they know, diversified communication tools should be provided.
- **Support engagement in learning :** There are many factors behind student engagement in learning activities. To optimise individual choices and autonomy, self-regulated tools offering different options that reflect learners' interests, strategies and expectations should be provided.

These principles are mainly based on Vygotsky's work on the Zone of Proximal Development (Vygotsky, 1978) and neuroscience research. Considering learning as the result of a dynamic interaction between an individual and the environment, UDL is in line with the inclusive approach of Ability-based design.

Environmental Support

The compensation framework (Bäckman & Dixon, 1992) has emerged from studies investigating aging process. According to it, a task is optimally realized when there is a

perfect balance between 1) the environmental demand of the task, 2) its expected outcomes and 3) individual skills. This implies that it is possible to compensate a mismatch caused by an intra-individual decline in skills (*e.g.*, a cognitive impairment) by leveraging on the other two parts. Bearing this in mind, Morrow & Rogers (2008) proposed a framework hinged on the concept of environmental support (Craik et al., 1986) that articulate cognitive resources and environmental demand. They showed two ways to increase individual performance : reduce environmental demand in terms of cognitive resources and enable a more efficient use of these resources. In this line, they provide a set of scientifically proven methods and tools to design more accessible Human-Computer Interaction solutions.

C Liste des publications

Publications dans le cadre de la thèse

- **Pierre-Antoine Cinquin**, Pascal Guitton, Hélène Sauzéon. Towards Truly Accessible MOOCs for Persons with Cognitive Disabilities : Design and Field Assessment. *ICCHP 2018 - 16th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, Jul 2018, Linz, Austria. ⟨hal-01761462⟩

- **Pierre-Antoine Cinquin**, Pascal Guitton, Hélène Sauzéon. Online e-learning and cognitive disabilities : A systematic review, *Computers & Education*, Elsevier, 2019, 130, pp.152-167. ⟨hal-01954983⟩

- Pascal Guitton, Hélène Sauzéon, **Pierre-Antoine Cinquin**. Accessibility of Immersive Serious Games for Persons with Cognitive Disabilities. *ISMAR 2019 Workshop Mixed Reality and Accessibility*, Oct 2019, Pékin, China. ⟨hal-02284836⟩

Autres publications

- Joan Sol Roo, Jean Basset, **Pierre-Antoine Cinquin**, Martin Hachet. Understanding Users' Capability to Transfer Information between Mixed and Virtual Reality : Position Estimation across Modalities and Perspectives. *CHI '18 - Conference on Human Factors in Computing System*, Apr 2018, Montreal, Canada. ⟨hal-01718590⟩

- **Pierre-Antoine Cinquin**, Philippe Giraudeau, Thibault Lainé, Leo Cousin. Erlen : Une interface tangible pour la réduction de la consommation énergétique sur le poste de travail. *30ème conférence francophone sur l'interaction homme-machine*, Oct 2018, Brest, France. 2p. ⟨hal-01900054⟩