N°d'ordre NNT : 2020LYSEI089

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
INSA Lyon

Ecole Doctorale N° ED512
INFORMATIQUE ET MATHEMATIQUES DE LYON

Spécialité de doctorat : Informatique

Soutenue publiquement le 06/11/2020, par :
Valentin Lachand-Pascal

Approche centrée activité pour la conception et l'orchestration d'activités numériques en classe

---

Devant le jury composé de :

Mme. Laforest Frédérique, Professeure à INSA-LYON	Présidente
M. Tchounikine Pierre, Professeur à Université Grenoble Alpes	Rapporteur
Mme. Mackay Wendy, Directrice de recherche à Inria Saclay	Rapporteure
M. Kubicki Sébastien, Maître de conférences à ENIB	Examinateur
M. Dessus Philippe, Professeur à Université Grenoble Alpes	Examinateur
Mme. Michel Christine, Professeure à Université de Poitiers	Directrice de thèse
M. Tabard Aurélien, Maître de conférences à Université Lyon 1	Co-directeur de thèse

Département FEDORA – INSA Lyon - Ecoles Doctorales – Quinquennal 2016-2020

SIGLE	ECOLE DOCTORALE	NOM ET COORDONNEES DU RESPONSABLE
CHIMIE	**CHIMIE DE LYON** http://www.edchimie-lyon.fr Sec. : Renée EL MELHEM Bât. Blaise PASCAL, 3e étage secretariat@edchimie-lyon.fr INSA : R. GOURDON	**M. Stéphane DANIELE** Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon IRCELYON-UMR 5256 Équipe CDFA 2 Avenue Albert EINSTEIN 69 626 Villeurbanne CEDEX directeur@edchimie-
E.E.A.	**ÉLECTRONIQUE, ÉLECTROTECHNIQUE, AUTOMATIQUE** http://edeea.ec-lyon.fr Sec. : M.C. HAVGOUDOUKIAN ecole-doctorale.eea@ec-lyon.fr	**M. Gérard SCORLETTI** École Centrale de Lyon 36 Avenue Guy DE COLLONGUE 69 134 Écully Tél : 04.72.18.60.97 Fax 04.78.43.37.17 gerard.scorletti@ec-lyon.fr
E2M2	**ÉVOLUTION, ÉCOSYSTÈME, MICROBIOLOGIE, MODÉLISATION** http://e2m2.universite-lyon.fr Sec. : Sylvie ROBERJOT Bât. Atrium, UCB Lyon 1 Tél : 04.72.44.83.62 INSA : H. CHARLES	**M. Philippe NORMAND** UMR 5557 Lab. d'Ecologie Microbienne Université Claude Bernard Lyon 1 Bâtiment Mendel 43, boulevard du 11 Novembre 1918 69 622 Villeurbanne CEDEX philippe.normand@univ-lyon1.fr
EDISS	**INTERDISCIPLINAIRE SCIENCES-SANTÉ** http://www.ediss-lyon.fr Sec. : Sylvie ROBERJOT Bât. Atrium, UCB Lyon 1 Tél : 04.72.44.83.62 INSA : M. LAGARDE secretariat.ediss@univ-lyon1.fr	**Mme Sylvie RICARD-BLUM** Institut de Chimie et Biochimie Moléculaires et Supramoléculaires (ICBMS) - UMR 5246 CNRS - Université Lyon 1 Bâtiment Curien - 3ème étage Nord 43 Boulevard du 11 novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex Tel : +33(0)4 72 44 82 32 sylvie.ricard-blum@univ-lyon1.fr
INFOMATHS	**INFORMATIQUE ET MATHÉMATIQUES** http://edinfomaths.universite-lyon.fr Sec. : Renée EL MELHEM Bât. Blaise PASCAL, 3e étage Tél : 04.72.43.80.46 infomaths@univ-lyon1.fr	**M. Hamamache KHEDDOUCI** Bât. Nautibus 43, Boulevard du 11 novembre 1918 69 622 Villeurbanne Cedex France Tel : 04.72.44.83.69 hamamache.kheddouci@univ-lyon1.fr
Matériaux	**MATÉRIAUX DE LYON** http://ed34.universite-lyon.fr Sec. : Stéphanie CAUVIN Tél : 04.72.43.71.70 Bât. Direction ed.materiaux@insa-lyon.fr	**M. Jean-Yves BUFFIÈRE** INSA de Lyon MATEIS - Bât. Saint-Exupéry 7 Avenue Jean CAPELLE 69 621 Villeurbanne CEDEX Tél : 04.72.43.71.70 Fax : 04.72.43.85.28 jean-yves.buffiere@insa-lyon.fr
MEGA	**MÉCANIQUE, ÉNERGÉTIQUE, GÉNIE CIVIL, ACOUSTIQUE** http://edmega.universite-lyon.fr Sec. : Stéphanie CAUVIN Tél : 04.72.43.71.70 Bât. Direction mega@insa-lyon.fr	**M. Jocelyn BONJOUR** INSA de Lyon Laboratoire CETHIL Bâtiment Sadi-Carnot 9, rue de la Physique 69 621 Villeurbanne CEDEX jocelyn.bonjour@insa-lyon.fr
ScSo	**ScSo*** http://ed483.univ-lyon2.fr Sec. : Véronique GUICHARD INSA : J.Y. TOUSSAINT Tél : 04.78.69.72.76 veronique.cervantes@univ-lyon2.fr	**M. Christian MONTES** Université Lyon 2 86 Rue Pasteur 69 365 Lyon CEDEX 07 christian.montes@univ-lyon2.fr iii

*ScSo : Histoire, Géographie, Aménagement, Urbanisme, Archéologie, Science politique, Sociologie, Anthropologie

Pour Aurore.

Nous n'héritons pas de la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants.

— Proverbe traditionnel

REMERCIEMENTS

Voici venu le temps de remercier toutes les personnes m'ayant accompagné et soutenu durant les quatre années qu'aura duré cette thèse.

Christine et Aurélien, vous qui m'avez guidé et accompagné tout au long de cette thèse par votre encadrement et vos suggestions, je ne pourrais vous remercier suffisamment. Vous m'avez fait constamment progresser, de par votre exigence bienveillante, dans mon travail de recherche. Merci aussi pour la confiance que vous avez placée en moi, tant pour la conduite de la thèse que pour les différents articles que nous avons écrits ensemble.

Merci à Pierre Tchounikine et Wendy Mackay d'avoir accepté de relire et d'évaluer cette thèse. Merci pour vos remarques pertinentes quant aux travaux que j'ai réalisés. Je remercie aussi sincèrement les autres membres du jury, à savoir Sébastien Kubicki, Philippe Dessus et Frédérique Laforest, pour l'intérêt qu'ils portent à mes travaux.

Merci infiniment à Jean-Charles, sans qui je n'aurais sûrement pas mis un pied dans la recherche. Qui aurait pu imaginer, un soir de concert de Karpatt, une discussion changeant sept ans de vie, en passant par une réorientation suivie d'une première expérience de recherche.

Une thèse n'est pas un travail que l'on réalise seul, et je tiens particulièrement à remercier tous ceux qui ont pu m'aider pendant ce projet. Merci à Ghita, pour ta contribution et ton aide précieuse pour comprendre les pratiques des enseignants et pour m'avoir permis de découvrir de nouvelles méthodes de recherche. Merci aussi à Audrey, qui a su apporter un regard neuf et pertinent sur la gestion des dispositifs. Merci aussi à tous ceux qui, au détour d'un café ou d'un repas, m'ont aidé, plus ou moins consciemment, dans mes travaux de recherche.

Je tiens tout particulièrement à remercier toute l'équipe des "doctorants et autres" : Stuart, Alix D et Alix G, Mohamed, Théo, Lily, Ghita, Alice, Anaëlle, Célia, bien plus que des moments de recherche, ce sont aussi des moments de vie que nous avons partagés tout au long de ces années. Tant de souvenirs vécus avec ceux qui, de passages plus ou moins longs, ont été autant de soutiens bienvenus, m'ayant permis de m'épanouir, tant scientifiquement que personnellement. Des moments mémorables, il y en eut de nombreux, je ne peux pas tous les

mettre, mais voici quelques "tranches de vie" que nous avons partagées ensemble : deux collocs temporaires à Montréal, d'innombrables parties de mots fléchés, quelques litres de bière, un peu de BMX à Lyon (et son lot de bleus), quelques batailles de fléchettes en mousse, la victoire du challenge IHM avec une voiture ne manquant pas de charme, quelques (?) parties de surviv. Aux nouveaux "doctorants et autres" que je n'ai pas eu le temps de connaître mieux, vous êtes entre de bonnes mains, tant avec les autres doctorants de l'équipe qu'avec les permanents. Mention spéciale à Stuart, qui a accepté, en plus d'être mon co-bureau et co-représentant des doctorants, d'être un de mes témoins de mariage.

Je tiens aussi à remercier tous les permanents de l'équipe SICAL, pour votre bienveillance et les conseils que vous avez pu m'apporter. Grâce à vous, l'ambiance d'équipe était sereine et propice au travail dans d'excellentes conditions.

Un grand merci à Saïd pour tout ce que tu as fait pour les doctorants du laboratoire.

Une thèse n'est pas seulement l'aboutissement d'années de travail, c'est aussi des hauts (souvent) et des bas (de temps en temps). Je tiens à remercier toute l'équipe des CIJE, qui m'a permis de trouver une forme d'équilibre. Merci donc aux membres du CA, et aussi à la fine équipe que nous composons avec Marie, Lucie, Florence et Jordan. Merci Marie, d'avoir accepté de nous accompagner tout là-haut là-haut là-haut ; merci aussi pour la musique (et la vaisselle ;)). Merci Lucie, pour ton optimisme constant. Félicitations à Florence pour avoir vécu, en même temps que moi, la montagne russe émotionnelle que représente une thèse. Merci camarade Jordan pour ta présence, ton amitié, mais aussi d'avoir pu tester Toccata.

Finalement, cette thèse n'aurait pas été possible sans la présence et le soutien de ma famille. Merci Papa et Maman, d'avoir su très tôt éveiller ma curiosité. Merci pour l'éducation que vous m'avez apportée et votre soutien constant. Merci Mathieu, pour ton écoute et ta présence discrète, mais néanmoins importante. Merci Armand, d'avoir ouvert la voie de la recherche dans la famille, et pour ton soutien lors de mes moments de doute. Merci Same pour ta joie et ta bonne humeur.

Mille mercis à Maëlle pour ta présence chaque jour à mes côtés. Merci d'avoir vécu avec moi ces moments de joie, mais aussi de doutes. Merci de m'avoir soutenu (et supporté) depuis maintenant dix ans. Sans toi, je n'aurais sûrement pas pu en arriver où je suis actuellement. Merci d'avoir accepté de vivre de nombreuses aventures, toutes riches en émotions. Encore un immense merci d'avoir accepté de relire et corriger mon manuscrit.

RÉSUMÉ

La quantité et la variété des dispositifs numériques disponibles dans les établissements scolaires ne cessent d'augmenter. Cependant, les usages pédagogiques n'ont pas suivi cette évolution. La faible utilisation du numérique peut s'expliquer par la difficulté à créer des activités pédagogiques numériques.

Pour répondre à ces difficultés techniques et pédagogiques (conception d'activités pédagogiques), nous proposons de combiner des concepts issus de travaux de recherche liés à la création d'activités pédagogiques (scripting) et à leur conduite en classe (orchestration), ainsi que des travaux liés à la conduite d'activités numériques d'une manière plus générale, via les principes de l'Activity Based Computing (ABC). Nous présentons les apports et les limites de ces deux cadres conceptuels pour la gestion d'activités pédagogiques s'appuyant sur des outils numériques. Nous discutons aussi du design d'interaction permettant la gestion de nombreux dispositifs numériques en classe.

Nous avons mené des entretiens avec des enseignants afin de comprendre comment ils créent leurs activités numériques et comment ils les mettent en œuvre. Les entretiens nous ont permis d'identifier que les enseignants préparent le plus souvent leurs plans de classe à l'avance sur des outils numériques, avant d'utiliser des versions non numérisées de leurs plans en classe. Lorsqu'ils mettent en œuvre leurs activités en classe, les enseignants rencontrent principalement des problèmes techniques (réseau instable, limitations matérielles) et doivent adapter leurs plans pour faire face à ces problèmes.

Nous proposons une architecture adaptable afin de résoudre les problèmes techniques. Notre architecture permet la mise en œuvre d'activités numériques en prenant en compte les différentes contraintes : les activités fonctionnent avec ou sans connexion, sur les différents dispositifs présents en classe, et l'architecture s'adapte aux infrastructures des établissements.

Cette architecture se matérialise dans Toccata, un système d'orchestration permettant la création et la mise en œuvre d'activités numériques en classe. Toccata implémente les recommandations de conception identifiées à partir de l'état de l'art et des entretiens avec les enseignants (fonctionnement sur les dispositifs présents en classe, gestion de la mobilité, résilience aux problèmes techniques, planification d'activité, distribution et changements en temps réel, continuité entre séances, gestion des rôles, réutilisation de l'activité, prise de notes et réflexivité). Nous avons déployé Toccata dans trois classes sur des activités variées. Ces déploiements ont permis de valider la majorité de nos recommandations de conception.

Enfin, nous avons cherché à identifier les stratégies d'interaction permettant aux enseignants de gérer au mieux les dispositifs numériques en classe. Au moyen d'observations de classes de collège, nous avons trouvé deux classes de tâches principales quant à la gestion des dispositifs numériques en classe : le partage de contenu et le contrôle à distance des dispositifs. Au moyen d'une étude d'élicitation, nous avons trouvé que les interactions permettant les tâches de contrôle sont plus faciles à réaliser que celles de partage de contenus, notamment en s'appuyant sur un dispositif porté comme une montre connectée. Nous avons constaté que la sélection des dispositifs de partage de contenu restait particulièrement complexe en termes d'interaction.

Nos résultats ouvrent de nouvelles pistes pour la gestion de dispositifs numériques en classe. Cependant, des travaux sont encore nécessaires quant au partage, à la réutilisation, et à la reconception d'activités numériques.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 1
1.1 Contexte . . . 1
1.1.1 Diversité des outils numériques disponibles en classe . . . 2
1.1.2 Utilisation des outils numériques . . . 3
1.1.3 Défis pour la conduite d'activités pédagogiques 4
1.2 Objectifs de recherche . . . 5
1.3 Approche de recherche . . . 6
1.3.1 Cadre théorique . . . 7
1.3.2 Déroulé de notre approche de recherche . . . 8
1.4 Contributions . . . 9
1.5 Vue d'ensemble . . . 10
2 ÉTAT DE L'ART 13
2.1 Planification et conduite d'activités pédagogiques . . . 13
2.1.1 Plans dans les sciences sociales . . . 14
2.1.2 Plans dans des situations pédagogiques . . . 14
2.1.3 Utilisations de scripts en conditions réelles . . . 15
2.1.4 Conduite d'activité pédagogique et orchestration 16
2.1.5 Systèmes d'orchestration . . . 18
2.1.6 Gestion d'outils numérique en classe . . . 22
2.1.7 Limites de l'orchestration et des outils associés 22
2.2 Conduite d'activités numériques . . . 24
2.2.1 Informatique centrée activité (*Activity centric computing*) . . . 24
2.2.2 Activity Based Computing (ABC) . . . 27
2.3 Synthèse de l'ABC et de l'orchestration . . . 30
2.3.1 Un support partiel pour les activités éducatives 30
2.3.2 Vers une combinaison de l'ABC et l'orchestration 31
2.4 Interactions multi-dispositif et gestion de classe . . . 33
2.5 Synthèse . . . 34
3 CONCEPTION ET CONDUITE D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES 37
3.1 Aperçu général et objectifs . . . 37
3.2 Étude . . . 39
3.2.1 Participants et procédure . . . 39
3.2.2 Collecte de données et analyse . . . 40
3.3 Résultats . . . 41
3.3.1 Scripting des activités pédagogiques . . . 41
3.3.2 Conduite des activités pédagogiques . . . 43
3.3.3 Outils utilisés pour le scripting et la conduite d'activité . . . 44
3.3.4 Frictions et points forts lors de la mise en œuvre d'activités . . . 45

3.4 Discussion 49
3.4.1 Concevoir, ajuster, réutiliser 49
3.4.2 Implications de l'étude pour la conception d'outils pédagogiques 51
3.5 Implications globales pour la conception d'outils pédagogiques 52
3.5.1 Bilan global 52
3.6 Conclusions et perspectives 54
3.7 Synthèse 55
4 TOCCATA : ORCHESTRATION D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES ET ACTIVITY BASED COMPUTING 57
4.1 Aperçu général et objectifs 57
4.2 Recommandations de conception 58
4.2.1 Moyens de mise en œuvre des recommandations 60
4.3 Fonctionnalités nécessaires pour supporter les activités numériques 61
4.3.1 Conception/Primo-scripting 61
4.3.2 Mise en œuvre/Run-time scripting/Ajustement 62
4.3.3 Réutilisation de l'activité 62
4.4 Toccata 63
4.4.1 Primo-scripting : définition de la structure des activités 63
4.4.2 Partage et distribution d'activité 65
4.4.3 Réutilisation et partage de modèles d'activité . 66
4.4.4 Conduite d'activité et scripting en temps réel . 66
4.4.5 Réflexion et reconception d'activité 68
4.5 Architecture et implémentation de Toccata 68
4.5.1 Résilience aux problèmes de réseaux 69
4.5.2 Mobilité 70
4.5.3 Architecture 70
4.5.4 Implémentation 71
4.5.5 Modèle d'activité 72
4.6 Déploiement en conditions réelles 73
4.6.1 Scripting des activités 75
4.6.2 Conduite d'activité 78
4.6.3 Bilan 79
4.7 Discussion 81
4.7.1 Une structure linéaire pour la conception et la gestion d'activité 81
4.7.2 Interventions orales et directes pour le run-time scripting 82
4.7.3 Micro-orchestration et principes de partage . . 82
4.7.4 Suivi de l'activité des apprenants 83
4.7.5 Conscience du contexte et dispositifs de contrôle portables 84

4.7.6 Prise de notes et processus réflexif de conception d'activités 85
4.8 Conclusion et perspectives 85
4.9 Synthèse 87
5 GESTION DES CLASSES MULTI-DISPOSITIF 89
5.1 Aperçu général et objectifs 89
5.2 Compréhension de la gestion de dispositifs numérique en classe 90
5.2.1 Description de l'activité 90
5.2.2 Configuration de la classe et dispositifs utilisés 91
5.2.3 Collecte de données et analyse 91
5.2.4 Résultats 92
5.3 Design space centré enseignant pour les tâches de gestion des dispositifs en classe 95
5.3.1 Position des travaux existants dans notre design space 96
5.4 Discussion 98
5.5 Conclusion 99
5.6 Synthèse 99
6 STRATÉGIES D'INTERACTION POUR LA GESTION DE DISPOSITIFS NUMÉRIQUES EN CLASSE 101
6.1 Aperçu général et objectifs 101
6.2 Travaux existants sur les études d'élicitations 102
6.3 Participants 103
6.4 Tâches de gestion de dispositifs 104
6.4.1 Tâches de partage de contenu 105
6.4.2 Contrôle à distance 106
6.5 Vocabulaire d'interaction 107
6.5.1 Gestes sur la montre connectée 107
6.5.2 Gestes sur les tablettes 107
6.5.3 Gestes liés à la vidéoprojection 108
6.5.4 Modifieurs et combinaisons 108
6.6 Méthodologie 109
6.7 Apparatus 110
6.8 Méthode d'analyse 111
6.8.1 Objectifs d'analyse 111
6.8.2 Intentions et gestes 112
6.9 Résultats 113
6.9.1 Pertinence des tâches proposées 113
6.9.2 Aperçu des propositions des participants 113
6.9.3 Analyse par catégorie de tâches 115
6.10 Discussion 120
6.10.1 Utilisation de montre connectée pour les tâches de contrôle à distance simples 120
6.10.2 Combinaison de dispositifs pour les tâches de partage de contenu 121

6.10.3 Interactions implicites pour la sélection 122
6.10.4 Viser pour sélectionner des dispositifs 122
6.10.5 Gestes collaboratifs et délégation d'interactions 123
6.10.6 Gestion des rôles et authentification 123
6.10.7 Méthodologie 124
6.11 Conclusion 125
6.12 Synthèse 126
7 CONCLUSION 127
7.1 Contributions 127
7.1.1 Identification de stratégies de mise en œuvre d'activités 127
7.1.2 Recommandations pour la conception d'outils d'orchestration 127
7.1.3 Proposition d'un modèle d'activité pédagogique 128
7.1.4 Architecture résiliente aux contraintes des contextes scolaires 129
7.1.5 Toccata : une plateforme pour la conception et la conduite d'activités pédagogiques numériques 129
7.1.6 Identification des besoins des enseignants en termes de gestion de dispositifs 130
7.1.7 Méthodologie d'étude et d'analyse pour l'identification de stratégies d'interactions pour de la gestion de dispositifs 130
7.2 Limites et perspectives 131
7.2.1 Reconception et réutilisation d'activités pédagogiques 131
7.2.2 Réutilisation de Toccata comme une plateforme d'expérimentation de nouveaux usages 132
7.2.3 Adaptation des activités au contexte 134
7.2.4 Continuité pédagogique 135
7.3 Vers des outils numériques conviviaux à l'école 136
A ANNEXES 137
A.1 Grilles d'entretiens 138
A.1.1 Entretien semi-structuré sur les pratiques de conception et de mise en œuvre d'activités pédagogiques 138
A.2 Histoires 139
A.2.1 Histoires participant 1 139
A.2.2 Histoires participant 2 147
A.2.3 Histoires participant 3 153
A.2.4 Histoires participant 4 158
A.2.5 Histoires participant 5 161
A.2.6 Histoires participant 6 173
A.2.7 Histoires participant 7 178
A.2.8 Histoires participant 8 185

BIBLIOGRAPHIE 195

TABLE DES FIGURES

Figure 1 Débit global des établissements en Mbits/s . . 3
Figure 2 Représentation des trois composantes de notre approche de recherche 7
Figure 3 Représentation temporelle de notre approche de recherche 9
Figure 4 Déroulement d'une activité pédagogique pour un enseignant 16
Figure 5 Exemple de classe utilisant GroupScribble [72] 19
Figure 6 Vue apprenant et enseignant de GroupScribble [72] 19
Figure 7 FROG [42] : un outil permettant la création et la conduite de graphes d'orchestration 20
Figure 8 Lantern [3] : un outil permettant de gérer la présence de l'enseignant vers les apprenants . 21
Figure 9 Tinkerlamp [96] : un outil utilisé pour orchestrer des activités mixtes (numérique et papier) 21
Figure 10 Liens entre les éléments de la théorie de l'activité 24
Figure 11 Exemple de deux systèmes d'Activity Centric Computing (ACC) 26
Figure 12 ReticularSpace [11] : exemple d'adaptation aux dispositifs et de partage d'activité 28
Figure 13 ReticularSpace [11] : exemple d'activité collaborative en pause (gauche) et en cours d'exécution (droite) 29
Figure 14 Clinical Surface [9] : utilisation d'un système d'ABC dans un contexte médical 29
Figure 15 Les enseignants ont montré comment ils créent leurs plans et les utilisent pour mettre en œuvre leurs activités en classe 40
Figure 16 Exemples de plans réalisés par les enseignants. a. plan partagé avec les apprenants, b. plan sur dispositif physique, c. plan sur dispositif numérique 45
Figure 17 Cycle de vie d'une activité pédagogique et les connaissances présentes dans les différentes étapes 49
Figure 18 Une activité et ses différents composants dans Toccata (point de vue enseignant) 64
Figure 19 Les enseignants peuvent ajouter, éditer et modifier l'ordre des étapes dans la structure de l'activité 64

Figure 20 Quatre applications spécifiques sont proposées dans Toccata (gauche). Édition d'un quizz depuis l'application questionnaire (droite) 65
Figure 21 Vue apprenant dans Toccata : (a) Structure de l'activité ; (b) Application questionnaire ; (c) panneau gauche ouvert avec les instructions, les listes des applications, ressources et participants 67
Figure 22 Les enseignants peuvent suivre la progression des groupes : (arrière-plan) Chaque groupe est représenté par une tuile (arrière-plan) et les informations sur le groupe sont affichées sur la tuile. (a) Nom du groupe. (b) Étape actuelle. (c) Informations sur l'application ouverte. Les couleurs du chronomètre changent en fonction du temps restant. 68
Figure 23 (gauche) Exemple de serveur local sur un Raspberry Pi 3 connecté à un réseau Ethernet. (droite) Fonctionnement simplifié d'un serveur local . 70
Figure 24 Architecture de Toccata 71
Figure 25 Modèle d'activité utilisé dans Toccata 73
Figure 26 Script de l'activité de gestion de ventes 76
Figure 27 Script de l'atelier agile 76
Figure 28 Script de l'activité de vérification de faits . . . 77
Figure 30 Dispositions spatiales des classes 91
Figure 29 Résumé de l'activité et durée moyenne de chaque étape. 91
Figure 31 Capture d'un enregistrement en classe (gauche) et application utilisée lors de l'activité (droite) 92
Figure 32 Gestes proposés aux participants sur la montre connectée 107
Figure 33 Gestes proposés aux participants sur les tablettes 108
Figure 34 Gestes proposés aux participants sur la vidéoprojection 108
Figure 35 Modificateurs de gestes 108
Figure 36 Méthodologie mise en œuvre dans notre étude 109
Figure 37 Feuille réponse d'un participant 110
Figure 38 L'enseignant (rouge) et l'observateur (bleu) pendant la présentation de la tâche 9. De gauche à droite : état initial ; état final. Installation spatiale : tablettes des élèves sur la table des élèves, tablette de l'enseignant près de l'ordinateur, vidéoprojection, table de l'observateur à gauche de l'observateur. 111
Figure 39 Pertinence perçue des tâches en classe 113
Figure 40 Nombre de propositions en fonction de la taille des propositions 113

Figure 41 Dispositifs utilisés pour chaque tâche 114
Figure 42 Nombre de propositions en fonction du nombre de dispositifs utilisés 114
Figure 43 Stratégies les plus populaires pour chaque tâche. Par souci de clarté, nous avons supprimé 83 stratégies qui n'ont été proposées qu'une ou deux fois. 115
Figure 44 Stratégies proposées par les participants pour les tâches de partage de contenu. La taille des nœuds représente le nombre de participants qui utilisent l'intention ; la taille et la couleur des transitions représentent le nombre de participants qui utilisent la transition 118

LISTE DES TABLEAUX

Table 1 Synthèse des caractéristiques couvertes par différents systèmes issus de l'ABC et de l'orchestration 32
Table 2 Stratégies décrivant la planification et la conduite d'activités pédagogiques 41
Table 3 Types d'outils utilisés par les enseignants pour réaliser les activités pédagogiques en classe (pourcentages arrondis) 44
Table 4 Types d'outils utilisés par les apprenants pour réaliser les activités pédagogiques en classe (pourcentages arrondis) 44
Table 5 Satisfaction des enseignants quant à leurs stratégies de mise en œuvre par type de scripts (Pourcentages arrondis) 46
Table 6 Points forts et points faibles en fonction du type d'outil (pourcentages arrondis) 47
Table 7 Nombre d'histoires et participants par types de points de rupture 48
Table 8 Vue d'ensemble des trois déploiements réalisés 74
Table 9 Résumé des recommandations de conception. En gris, les déploiements dans lesquels les recommandations sont implémentées, et si elles ont étés utilisées correctement (✓) ou partiellement (≈). 81
Table 10 Observations par enseignants 92
Table 11 Présentation de notre design space et mise en correspondance avec les systèmes issus de la recherche et de l'industrie 98
Table 12 Tâches issues de notre design space (nous nous sommes concentrés sur l'orchestration par le professeur). 106
Table 13 Résumé des recommandations pour la conception d'outils d'orchestration 128

ACRONYMES

ABC Activity Based Computing

ACC Activity Centric Computing

CSCL Computer Supported Collaborative Learning

CSCW Computer Supported Collaborative Work

ETIC Enquête sur les Technologies de l'Information et de la Communication

IHM Interaction Homme-Machine

PROFETIC PROFesseurs et Technologies de l'Information et de la Communication

1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente le contexte français de l'usage du numérique en classe, ainsi que les défis liés à la conduite d'activités pédagogiques dans ce contexte (gestion de la disparité d'équipements, résilience aux contraintes des réseaux, simplifier la création et la mise en œuvre d'activités numériques). Pour répondre à ces défis, nous proposons de répondre à quatre objectifs de recherche, avec une approche de recherche basée sur la triangulation (technique, théorique, empirique). Ce chapitre présente les différentes contributions sur ces trois angles de la triangulation, ainsi que la structuration des chapitres nous ayant amenés à ces contributions.

1.1 CONTEXTE

Depuis la fin des années 90, le nombre et la variété des dispositifs numériques disponibles dans les établissements ne cessent d'augmenter [48]. Cependant, les activités pédagogiques s'appuyant sur ces outils numériques ne se sont pas développées à la même vitesse.

La faible utilisation du numérique en classe peut être vue comme résultante de deux problèmes : la difficulté à créer des usages pédagogiques, mais aussi la difficulté à avoir des systèmes fiables et performants dans les environnements existants.

La principale utilisation des outils numériques dans les établissements scolaires reste l'apprentissage en présentiel [52], avec l'enseignant et les apprenants présents dans une même salle de classe.

Pour faire face à ces outils numériques, les enseignants développent et partagent des stratégies et des contenus de formation. Ces échanges se font de manière plus ou moins formelle, selon les personnes, les établissements, les académies, et les outils à disposition et permettent de combler partiellement le manque de ressources associées à ces changements. On distingue souvent des stratégies de butinage, braconnage, ou bricolage, c'est-à-dire des reproductions ou adaptations faites sur des ressources de formation partagées par des collègues ou disponibles sur le Web [88].

Les discours sur la numérisation de la salle de classe promettent des outils pour réaliser des activités plus «riches», c'est-à-dire des activités impliquant plusieurs dispositifs numériques, des ressources et applications hybrides et variées, et se déroulant dans de multiples contextes. L'aspect « riche » de ces activités suppose qu'elles puissent être distribuées et fragmentées ; c'est à dire amorcées dans un contexte (technique, physique ou social) et continuées dans un autre. Connais-

sant les difficultés de mise en place d'activités utilisant des dispositifs simples, on comprend les réticences des enseignants pour développer des activités pour des contextes plus riches.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la manière de concevoir et réaliser des activités pédagogiques numériques en présentiel, tout en prenant en compte les possibilités et contraintes techniques des établissements, ainsi que des habitudes des enseignants en termes d'utilisation d'outils numériques.

1.1.1 *Diversité des outils numériques disponibles en classe*

Amorcées il y a plus de trente ans en France, la mise en place et l'intégration d'outils numériques dans les salles de classe se sont effectuées par vagues successives. En premier lieu, ce sont les postes fixes qui sont entrés dans les salles de classe, suivis quelques années après par des vidéoprojecteurs.

Depuis 2015 et le plan tablettes, qui visait à fournir d'ici à 2018, une tablette à chaque apprenant de 5ème, le taux d'équipement dans les établissements a fortement augmenté. La dernière enquête sur les technologies de l'information et de la communication (ETIC 2019) [85] permet d'avoir une vue d'ensemble sur les taux d'équipements dans le secondaire. Les 6216 établissements recensés (représentant un total de 3710620 apprenants et 305538 enseignants) possèdent trois types d'équipements différents : les dispositifs partagés (vidéoprojecteurs, tableaux blancs interactifs) où un seul dispositif par classe est suffisant, les dispositifs personnels (ordinateurs, tablettes, tablettes pc) où un dispositif par apprenant/groupe est nécessaire, et les équipements réseaux.

Dans le cas des dispositifs partagés, le taux d'équipement des établissements est élevé, avec en moyenne un vidéoprojecteur pour 27 apprenants (soit un par classe) et un tableau blanc interactif pour 62 apprenants. Nous pouvons donc considérer que, hors cas exceptionnels, un dispositif partagé (vidéoprojecteur ou tableau blanc interactif) est présent par classe.

Dans le cas des dispositifs individuels, le rapport n'indique pas les taux d'équipement en ordinateurs. Dans ces établissements, chaque tablette est partagée avec 9 apprenants en moyenne. Même si les enseignants ne les utilisent pas tout le temps, mais nous sommes loin de pouvoir considérer ces équipements comme totalement individuels.

Au-delà de ces taux d'équipement, le principal point de blocage au niveau des établissements reste la connectivité. En effet, seulement 56,7% des établissements possèdent un réseau wifi, permanent ou mobile. Plus alarmant, 34% des établissements mettant à disposition des tablettes aux apprenants ne disposent pas de réseau wifi. Lorsqu'on regarde le débit des établissements (fig.1), nous pouvons remarquer qu'uniquement 21% des établissements ont un accès global

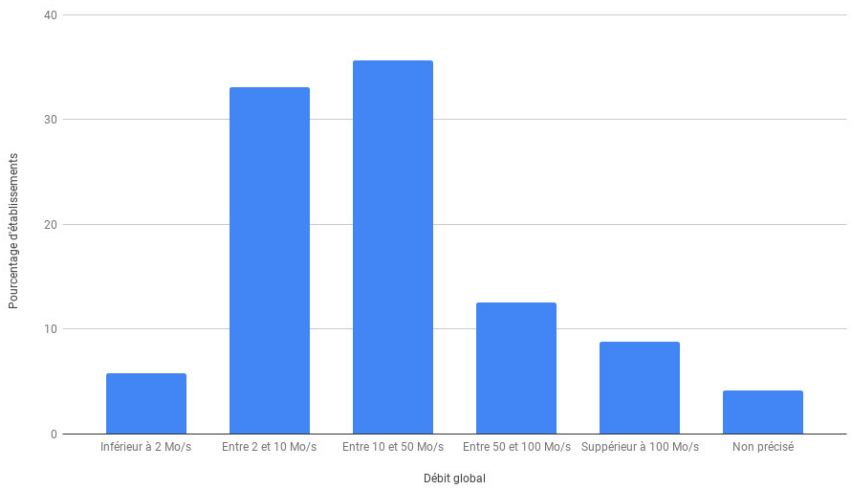


FIGURE 1 – Débit global des établissements en Mbits/s

(à partager entre tous les dispositifs) à du très haut débit (plus de 50 Mbits/s).

1.1.2 *Utilisation des outils numériques*

La deuxième facette du numérique pour l'éducation en France concerne l'utilisation des outils numériques par les enseignants et les apprenants, en classe et en dehors. Menée tous les deux ans, l'enquête PROFETIC (PROFesseurs et Technologies de l'Information et de la Communication) [52] agrège les pratiques de 2633 enseignants, et permet de compléter l'enquête ETIC concernant les usages du numérique par les enseignants, ainsi que des ressources pédagogiques mises à disposition.

La grande majorité (98%) des enseignants utilise le numérique pour les activités pédagogiques, que ce soit pour préparer des séquences de cours (92%), pour conduire leurs séquences en classe sans que les apprenants n'utilisent d'outil numérique (84%), ou pour que les apprenants utilisent des outils numériques pendant les séances (57%). Dans une moindre mesure, les enseignants utilisent le numérique en classe à des fins d'évaluation, sommative (33%) ou formative (42%). La fréquence des usages des outils numériques pour préparer les cours et les conduire en classe est hétérogène. 54% des enseignants préparent leurs séances avec des outils numériques tous les jours. 41% utilisent des outils numériques en classe pour conduire leurs activités, mais seulement 7% des enseignants laissent les apprenants utiliser des outils numériques en classe tous les jours. L'usage du numérique par les apprenants pendant les séances de cours est donc loin d'être massif.

À cette utilisation des outils numériques se combine la mise à disposition de ressources numériques pour des activités en classe. La principale problématique vis-à-vis de ces ressources n'est pas le nombre de ressources existantes, mais leur éparpillement et la difficulté à trouver facilement des ressources adaptées. Ainsi, le rapport PROFETIC [52] recense les sites institutionnels mettant à disposition des ressources pour les enseignants. À ces sites institutionnels s'ajoutent toutes les ressources disponibles en ligne (blogs d'enseignants, groupes de partages de ressources, forums, site commerciaux, etc.). La recherche et la réutilisation de ressources numériques deviennent alors chronophages pour les enseignants : ils doivent identifier et évaluer ressources disponibles, les récupérer et les adapter à leurs usages.

Bien que la majorité des enseignants trouvent suffisants l'accès aux ressources (58%), la quantité de ressources disponibles (62%), et la qualité des ressources proposées (58%) ; 26% d'entre eux estiment qu'elles manquent de pertinence et ne facilitent pas l'utilisation des outils numériques.

Les ressources manquent d'uniformisation sur l'exploitation des outils ; tant lors de la conception des activités que de leurs réalisations en classe ou à la maison. En effet, seuls 11% des enseignants ont intégré totalement le numérique pour la conception et la conduite d'activités.

1.1.3 *Défis pour la conduite d'activités pédagogiques*

De cette diversité des outils numériques disponibles en classe, associée à l'utilisation qu'en font les enseignants, nous pouvons identifier trois principaux défis pour la création et la conduite d'activités numériques en classe.

Le premier défi est lié à la grande disparité d'équipements entre établissements et au sein même des établissements. En effet, les établissements sont caractérisés par une forte disparité en termes de dispositifs (tablettes, ordinateurs fixes, ordinateurs portables, etc.), de logiciels (système d'exploitation, version de logiciel, etc.), et de composants (mémoire, taille d'écran, etc.). Un frein à l'adoption plus large du numérique est la difficulté à réaliser les activités pédagogiques sur les différents équipements disponibles, afin que les enseignants puissent être certains de pouvoir utiliser les outils numériques dans les différentes configurations auxquelles ils feront face.

Le second défi est lié aux caractéristiques des réseaux des établissements. Il est actuellement difficilement envisageable pour des enseignants d'utiliser des systèmes uniquement en ligne, car ils ne peuvent pas être certains que le réseau sera présent et suffisant pendant toute la séance de cours. D'un autre côté, l'utilisation de systèmes entièrement hors ligne contraint les enseignants quant aux ressources dis-

ponibles, ou encore quant à la variété des applications installées. Il serait donc intéressant, pour une utilisation plus large et fluide des outils numériques en classe, de concevoir des systèmes hybrides fonctionnant sur de nombreux dispositifs avec ou sans réseau, le tout en s'adaptant aux performances des réseaux sur lesquels ils sont déployés. Ainsi, les enseignants n'auraient plus à s'inquiéter des différents problèmes techniques auxquels ils font actuellement face (réseau instable, problème de compatibilité entre les logiciels, mémoire disponible sur les dispositifs).

Enfin, alors que les deux premiers défis sont techniques, le dernier est pédagogique. En effet, la création d'activités numériques est chronophage, et la réutilisation de celles-ci dans de futures classes n'est pas toujours évidente. Il est donc nécessaire de pouvoir aider les enseignants que ce soit lors de la création d'activités numériques, leur conduite en classe, ou encore leur amélioration.

1.2 OBJECTIFS DE RECHERCHE

Afin de répondre à ces trois défis, nous proposons de travailler sur trois principaux objectifs de recherche associés à un objectif transversal.

Le premier objectif est relatif au soutien des enseignants pour la création, la conduite, et la reconception d'activités pédagogiques. Il est en effet nécessaire de proposer un cadre conceptuel permettant de concevoir ces étapes de manière fluide. Pour construire ce cadre conceptuel, nous proposons de travailler sur un modèle d'activités pédagogiques numériques. Le modèle doit être suffisamment exhaustif pour prendre en compte la variété des activités pédagogiques, tout en restant simple et accessible aux enseignants, c'est-à-dire en évitant la surspécification. Il doit s'intégrer aux outils de travail existants des enseignants. Il doit pouvoir être utilisé tout au long du cycle de vie d'une activité. Afin de construire ce modèle, nous proposons d'utiliser les cadres théoriques proposés en ABC et en Orchestration, via l'identification dans ces cadres théoriques de concepts, prérequis, et contraintes à respecter afin de mettre en œuvre les trois phases du cycle de vie d'une activité numérique.

Le second objectif de recherche est lié aux enjeux techniques et d'infrastructure (disparité des équipements et caractéristiques des réseaux), et plus particulièrement aux outils et interactions permettant de créer et conduire des activités pédagogiques numériques. Les principaux problèmes sont liés à la réalisation des activités numériques en classe, notamment à cause des infrastructures des établissements. Nous souhaitons répondre à cet objectif de recherche par un travail technique en proposant une architecture et un outil permettant de répondre aux problèmes de connexion et de disparité des équipements dans les établissements. En effet, les travaux de recherche en éduca-

tion s'intéressent peu à l'infrastructure, problème identifié en Interactions Homme-Machine (IHM) [32], qui permettrait au numérique de fonctionner correctement dans les établissements. L'architecture et l'outil que nous allons développer doivent permettre l'adaptation des activités en fonction de la connexion réseau et des outils disponibles dans les établissements.

En complément à ce travail sur l'architecture, il est nécessaire de proposer de nouvelles modalités d'interactions pour gérer des dispositifs numériques en classe. En effet, avec la multiplication des dispositifs présents, les enseignants ont de plus en plus de mal à gérer de manière efficace les dispositifs numériques en classe (perte d'attention des apprenants, pas de contrôle unifié). Les systèmes proposés aux enseignants ne doivent pas rajouter de couche de complexité, et permettre aux enseignants de gérer plus efficacement les différents dispositifs présents en classe.

Dans ce manuscrit, nous étudierons ces objectifs de recherche en répondant à des questions de recherche plus spécifiques développées dans les différents chapitres : (1) Quels sont les pratiques actuelles et les besoins des enseignants en termes de création et de conduite d'activités ? (2) Comment concevoir des outils génériques pour gérer des activités pédagogiques numériques ? (3) Quels cadres conceptuels utiliser pour la conception et la conduite d'activités fluides ? (4) Quelles sont les pratiques enseignantes en termes de gestion de dispositifs et les interactions qu'il faut mettre en œuvre afin de faciliter cette gestion de dispositifs en classe ?

1.3 APPROCHE DE RECHERCHE

Notre approche de recherche s'appuie sur des méthodologies utilisées en IHM, ainsi que sur un cadre théorique mêlant travaux en éducation et en IHM.

D'un point de vue méthodologique, nous avons choisi d'adopter une approche basée sur la triangulation proposée par Mackay et Fayard [76], pour qui la recherche en IHM se fait sur trois niveaux : la théorie, le design d'artefacts et le travail empirique. Dans cette approche, le travail théorique doit permettre la conception de modèles, qui associés aux observations de terrains sur les pratiques des utilisateurs, permettent la conception de systèmes. Ces systèmes seront à leur tour réutilisés pour un travail théorique (modèle révisé) et un travail d'observation (évaluation). Ce changement de focus entre théorique, observation et design d'artefact, peut être répété.

Il existe des approches plus récentes, comme le modèle proposé par Zimmerman [116]. Cette approche, très proche de la triangulation [76], prend en compte les interactions et les livrables entre les différents acteurs de recherche en IHM. On retrouve dans ce modèle les trois niveaux de la triangulation : les ingénieurs développent des

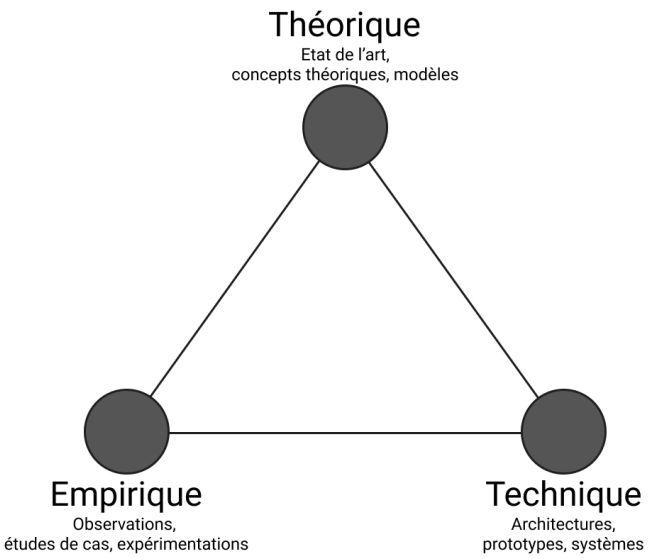


FIGURE 2 – Représentation des trois composantes de notre approche de recherche

technologies (artefacts), les chercheurs en sciences comportementales travaillent sur des modèles théoriques, tandis que les anthropologues effectuent un travail empirique. Dans ce modèle, les designers d'interactions servent d'interface entre les acteurs.

Bien que l'approche de Zimmerman explicite plus les interactions et objets créés par les différents acteurs, nous choisissons d'utiliser la représentation de Mackay pour notre approche de recherche. En effet, cette représentation permet d'illustrer la temporalité entre les différents niveaux. Notre approche de recherche se base donc sur une partie théorique, une partie empirique, correspondant à l'observation, et une partie technique, correspondant au design d'artefacts (fig.2).

1.3.1 *Cadre théorique*

D'un point de vue théorique, nous nous basons sur des travaux issus de la recherche en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) et en IHM.

De la recherche en EIAH, nous nous appuyons sur les travaux autour du scripting d'activité pédagogique et de l'orchestration. Le scripting consiste en la création en amont, d'un scénario correspondant à tout ou partie d'une séance de cours. Ces scénarios sont ensuite conduits en classe par les enseignants. Pour une approche englobant à la fois la conception (scripting) d'activité et sa conduite en classe, nous nous appuyons sur l'orchestration [29]. Celle-ci s'intéresse à la façon dont les enseignants prennent en compte les différentes contraintes afin de préparer des plans et les mettre en œuvre dans la classe.

Des recherches en IHM, nous utilisons l'Activity Based Computing (ABC) [8]. L'ABC est un framework, inspiré de la théorie de l'activité, proposant un modèle d'activité permettant la conduite d'activités collaboratives et multi-dispositif dans de nombreux contextes. Nous nous appuyons sur ce modèle afin de créer un méta-modèle d'activités pédagogiques. De plus, nous nous inspirons des architectures déployées en ABC afin de répondre aux contraintes des établissements scolaires (réseaux, multiplicité des dispositifs, etc.). Finalement, nous nous appuyons sur les différents principes identifiés en ABC afin de permettre une préparation et une mise en œuvre fluide des activités numériques en classe, tout en s'adaptant aux différentes contraintes.

1.3.2 *Déroulé de notre approche de recherche*

En suivant le cadre méthodologique et le cadre théorique précédents, nous avons mené notre recherche de la manière suivante (fig.3) : (1) L'étude de l'état de l'art (théorique) nous a permis d'identifier des concepts issus de l'orchestration et de l'ABC permettant de répondre aux problématiques de création, conduite et réutilisation d'activités. (2) À partir de ces éléments, nous avons mené des observations (phase empirique) plus spécifiques sur la manière dont les enseignants créent leurs activités et les conduisent en classe, ainsi que sur les outils utilisés. (3) À partir de ces observations, nous avons défini des prérequis pour permettre une création et une conduite d'activités numériques (phase théorique). (4) À partir de ces prérequis et en nous inspirant de modèles et concepts existants, nous avons mis en place une architecture et développé un prototype permettant la création et la conduite d'activités numériques en classe (phase technique). (5) Nous avons ensuite validé ce prototype via des études de terrain (phase empirique). (6) Cette validation a mis en évidence la difficulté des enseignants pour gérer les différents dispositifs numériques présents en classe. Nous avons donc mené des observations en classe afin de comprendre quelles actions les enseignants effectuent afin de gérer les dispositifs numériques en classe (phase empirique). (7) Nous avons enfin conduit une étude d'élicitation afin de proposer des stratégies pour gérer les dispositifs numériques (phase empirique et théorique).

D'un point de vue méthodologique, nous avons privilégié une approche centrée activité et située, ceci en effectuant nos observations et la validation du prototype en conditions réelles, dans les lieux où les enseignants préparent et donnent leurs cours, chez eux ou dans des établissements scolaires. Pour le développement du prototype technique, nous avons utilisé une approche de co-conception avec les enseignants, ceci afin d'être au plus proche des besoins réels des en-

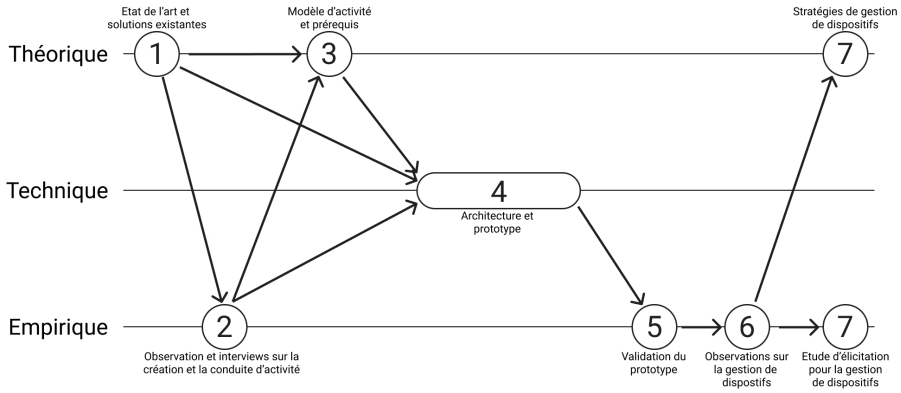


FIGURE 3 – Représentation temporelle de notre approche de recherche

seignants et pour faire face aux problématiques qui sont les leurs en classe.

1.4 CONTRIBUTIONS

Nos contributions concernent les trois aspects de la triangulation (théorique, technique et empirique).

D'un point de vue théorique, nous proposons un modèle d'activités orchestrables, dérivé du modèle d'activités proposé en ABC [8], permettant la création et la conduite d'activités dans des contextes éducatifs. Ce modèle intègre des éléments de l'orchestration afin de prendre en compte les différentes contraintes liées à l'éducation (différences d'objectifs et d'actions entre enseignants et apprenants, contraintes des établissements, etc.). En plus de ce modèle d'activités, nous détaillons comment l'ABC et l'orchestration s'enrichissent mutuellement, c'est-à-dire comment des concepts initialement prévus pour des contextes éducatifs peuvent améliorer la gestion d'activité de manière générale, et comment des concepts issus de la conduite d'activité en travail collaboratif répondent aux problématiques rencontrées dans des établissements scolaires et pour la conduite d'activités pédagogiques.

D'un point de vue technique, nous proposons deux contributions principales. La première est une architecture trois tiers décentralisée, s'adaptant aux différentes configurations de réseau des établissements, et permettant une conduite d'activité résiliente aux coupures et à l'absence de réseau. Ceci afin que les enseignants puissent être certains de pouvoir utiliser les outils numériques dans les différentes configurations auxquelles ils feront face. La seconde contribution technique est le développement de Toccata, un prototype de système permettant la création d'activités pédagogiques par les enseignants et leur réalisation en classe. Toccata est un système orienté tant pour les enseignants (création et conduite d'activité), que pour les apprenants (réalisation d'activités). Toccata s'adapte aux différents

dispositifs numériques utilisés et permet aux enseignants de suivre les apprenants et d'adapter en temps réel l'activité proposée.

D'un point de vue empirique, nous proposons quatre contributions. La première contribution est la collecte, l'analyse explicative, et la synthèse de corpus d'observation sur les pratiques enseignantes lors de la création et la conduite d'activités. Ces résultats sont basés sur des observations de terrain, tant pour la préparation (dans le bureau des enseignants, en salle des profs, à la maison) que pour la conduite d'activité (dans les classes). La seconde contribution est la proposition de recommandations de conception pour des outils de gestion d'activités pédagogiques numériques en classe. La troisième contribution est l'identification d'actions de gestion de dispositifs numériques en classe, associée à un design space permettant de les décrire. La quatrième contribution est la proposition d'une méthodologie pour la conduite d'étude d'élicitation s'intéressant aux stratégies proposées par les enseignants pour réaliser des tâches de gestion de dispositifs.

1.5 VUE D'ENSEMBLE

Le manuscrit est structuré de la manière suivante :

Le Chapitre 2 présente l'état de l'art. Il synthétise les travaux liés à l'EIAH, et plus particulièrement à la création (scripting) d'activités pédagogiques et à leur conduite en classe (orchestration), tout en prenant en compte les différentes contraintes scolaires. Il présente les travaux plus techniques liés à la conduite d'activités de manière générale, via les principes de l'ABC. En plus de ces deux domaines de recherches, ce chapitre présente des travaux méthodologiques que nous avons réutilisés et adaptés pour nos différentes études.

Le Chapitre 3 présente les entretiens d'enseignants afin de comprendre comment ils créent des activités pédagogiques et les mettent en œuvre en classe. Ce chapitre présente les différentes pratiques et outils utilisés, ainsi que des recommandations de design pour des systèmes permettant la création et la conduite d'activités pédagogiques.

Le Chapitre 4 présente Toccata et l'architecture sur laquelle cet outil se base. Ce chapitre présente aussi les trois études de cas menées dans différents contextes (collège, lycée, et université) afin de valider notre architecture ainsi que Toccata. Ce chapitre propose aussi des pistes de réflexion pour la réutilisation et l'adaptation d'activités existantes.

Le Chapitre 5 présente les observations menées afin de comprendre la façon dont les enseignants gèrent les dispositifs numériques en classe. À partir de ces observations, nous identifions un design space afin de définir des tâches de gestion de dispositif.

Le Chapitre 6 présente une étude d'élicitation menée afin d'identifier des stratégies pour réaliser des tâches de gestion de dispositifs. La discussion de ce chapitre porte sur les stratégies proposées et la

méthodologie que nous avons mise en œuvre afin de proposer ces stratégies.

Le Chapitre 7 fait un bilan de la thèse par rapport aux objectifs de recherche. Ce chapitre résume aussi les différentes contributions et comment elles permettent de répondre aux objectifs de recherche, ainsi que les perspectives de recherches ouvertes par nos résultats.

2 ÉTAT DE L'ART

Dans ce chapitre, nous présentons les travaux issus de la recherche en EIAH et en IHM.
Nous présentons en premier lieu les travaux liés à la planification et à la conduite d'activités pédagogiques. Nous présentons différentes façons d'appréhender la notion d'activité pour les enseignants. Nous nous intéressons ensuite aux travaux liés à l'orchestration d'activités pédagogiques.
Nous présentons ensuite les travaux en IHM liés à la conduite d'activités numériques. Nous définissons le sens que nous donnons au terme "activité" à partir des travaux liés à la théorie de l'activité. Nous présentons ensuite l'évolution des systèmes permettant la gestion d'activités numériques, ainsi que les principes permettant une gestion aisée de celles-ci.

Nous structurons notre état de l'art en deux parties. Premièrement, nous nous intéressons aux travaux dans le domaine des EIAH, relatifs à la planification et la conduite d'activités numériques pédagogiques en classe. Dans un deuxième temps, nous présentons les travaux en IHM proposant des modèles et systèmes permettant la conduite d'activités numériques de manière générale. Nous proposons ensuite une vue d'ensemble des points forts et points faibles des travaux présentés. Ceci nous permet d'identifier la façon dont ces travaux peuvent être utilisés afin de permettre la création et la conduite fluide d'activités numériques en classe.

2.1 PLANIFICATION ET CONDUITE D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

Nous cherchons à proposer un modèle d'activités pédagogiques ainsi qu'un cadre théorique permettant leur conception et leur conduite. Pour ceci, nous étudions les notions de scripting d'activité [106] et d'orchestration [22], qui fournissent des orientations de conception pour des outils aidant les enseignants à planifier et à mettre en œuvre leurs plans en classe. Nous présentons et analysons la façon dont le scripting et l'orchestration peuvent nous permettre d'identifier un modèle d'activité. Nous présentons enfin les outils d'orchestrations existants, ainsi que leurs limites.

2.1.1 *Plans dans les sciences sociales*

Les plans sont utilisés depuis longtemps en sociologie pour décrire et formaliser la tension entre la façon dont les plans conditionnent et définissent l'action. Akrich [2] compare les plans à des "scripts" ou "scénarios" d'interaction qui attendent que des acteurs les mettent en scène, et les transforment en objets techniques [2]. Les travaux de Suchman sur l'action située ont mis en évidence le fait que les plans ne suffisent pas à décrire une interaction réussie : les plans se déroulent comme des *"réponses ad hoc aux actions des autres et aux imprévus de situations particulières"* [104]. Streibel voit les plans dans l'apprentissage comme un moyen de déterminer un modèle cognitif de l'apprentissage humain, sans pour autant permettre le contrôle de l'apprentissage situé [103].

Ces théories décrivent la façon dont les plans guident les pratiques des utilisateurs et nous permettent d'avoir un cadre pour nos résultats empiriques. Cependant, il est nécessaire de compléter ce cadre par des observations sur la mise en œuvre des plans. Pour cela, nous nous concentrons sur ce que les observations sur le terrain nous apprennent sur la conception de nouveaux outils interactifs pour aider les enseignants à passer des plans à l'action.

2.1.2 *Plans dans des situations pédagogiques*

Dans le domaine de l'éducation, Dore décrit les plans et les stratégies pédagogiques des enseignants comme des *"techniques et moyens utilisés pour atteindre un objectif éducatif"*. Plusieurs modèles décrivent les plans pédagogiques. Le modèle narratif [31, 87] structure les plans pédagogiques sur trois niveaux : les cours, les activités et les étapes. Un scénario d'apprentissage décrit les différents éléments du cours. Ces éléments sont : les connaissances liées au domaine, le programme à étudier, l'âge des apprenants, le niveau scolaire et les objectifs d'apprentissage. Un scénario d'apprentissage décrit également des éléments plus spécifiques à chaque activité. Il s'agit notamment des compétences requises, des outils de l'enseignant et de l'apprenant, ainsi que de différentes phases de l'activité et son évaluation.

Une transition est nécessaire afin de passer de plans pédagogiques prévus dans un contexte général à des plans prévus pour des plateformes pédagogiques numériques. Il existe des modèles basés sur ces principes effectuant cette transition [87]. Historiquement, plusieurs modèles ont été conçus simultanément tels que LOM (Learning Object Metadata), et IMS-LD (Instructional Management Systems-Learning Design). Afin de permettre une compatibilité entre ces modèles, le modèle SCORM (Sharable Content Object Reference Model) a été conçu, afin de regrouper les spécifications et modèles existants. Ces modèles décrivent les objectifs pédagogiques et les activités d'ap-

prentissage individuelles. Cependant, ils deviennent rapidement complexes lorsqu'il s'agit de décrire des activités collaboratives dans lesquelles les rôles des étudiants et des enseignants sont dynamiques. Bien que ces structures soient utilisables pour concevoir des plans a priori, ces plans ne sont plus modifiés lors du déroulement de l'activité. Ils ne permettent donc pas d'accompagner les enseignants dans leur mise en œuvre sur le terrain.

La définition de plans pour des activités collaborative peut s'effectuer via le scripting d'activité. Le scripting se concentre sur la manière dont les apprenants collaborent [26]. Les scripts en Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) définissent plus précisément la manière dont les membres du groupe interagissent pour résoudre un problème. Dillenbourg *et al.* proposent deux niveaux de scripts : les micro-scripts et les macro-scripts [24]. Les micro-scripts sont des modèles que les étudiants doivent intérioriser (perspective locale), tels que des modèles d'argumentation ou de dialogue, tandis que les macro-scripts sont des modèles pédagogiques (perspective globale).

Kobbe [62] identifie les éléments de script suivants : les participants aux activités, les groupes et les rôles attribués aux membres du groupe (les rôles sont *"associés aux privilèges, obligations et attentes"*), et les activités. Dans ce modèle, les scripts structurent les activités pédagogiques et les ressources des apprenants. Une autre représentation des scripts, proposée par Dillenbourg et Hong [24], identifie les composantes suivantes pour un script : le type d'activité, l'enchaînement dans le temps, les rôles des participants, la distribution et la représentation des activités.

Les scripts décrivent donc les plans que les enseignants conçoivent pour organiser la dynamique des activités de collaboration en classe.

Dans le reste de ce manuscrit, nous privilégions le terme **scripts** afin de parler des artefacts créés par les enseignants afin de préparer leurs cours. En effet, les différents composants des scripts nous semblent particulièrement adaptés à la création et à la conduite d'activité dans des systèmes numériques. De plus, si l'on considère la structuration proposée par Dillenbourg et Hong, la notion de script permet de penser la conception, mais aussi la mise en œuvre de ceux-ci en classe.

2.1.3 *Utilisations de scripts en conditions réelles*

Peu d'études empiriques se concentrent sur la façon dont les enseignants utilisent ces modèles théoriques pour scénariser de véritables activités pédagogiques.

En 2015, Rodríguez-Triana *et al.* [93] ont mené deux études sur la mise en œuvre d'un modèle combinant le scripting d'activité d'apprentissage et la mise en œuvre de ces scripts. Dans leurs études, ils ont combinés scripting d'activité et dashboard présentant des infor-

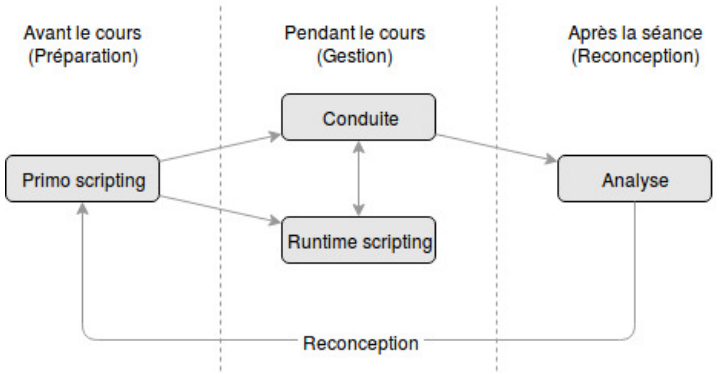


FIGURE 4 – Déroulement d'une activité pédagogique pour un enseignant

mations de suivi des apprenants pour les enseignants. Ils ont ainsi constaté que cette combinaison aide l'enseignant à anticiper ce qui peut se passer en classe lors de la création du script. Ainsi, la conduite du script en classe est facilitée en ajoutant des informations de suivi.

2.1.4 *Conduite d'activité pédagogique et orchestration*

Objectifs de l'orchestration

Proposée en 2006, la notion d'orchestration [35] est apparue à un moment où les recherches en CSCL se sont intéressées à l'intégration des activités collaborative dans des activités pédagogiques complètes [25]. L'orchestration permet de soutenir l'ensemble de l'activité de l'enseignant (figure 4).

La métaphore de l'orchestration décrit la manière dont *"l'enseignant gère, en temps réel, plusieurs couches d'activités, dans un contexte à plusieurs contraintes"* [29], telles que les contraintes de durée de séance, d'espace en classe ou encore de contenu de programme. Cette métaphore voit l'enseignant comme un chef d'orchestre, devant gérer les différents outils pour réaliser son cours.

L'orchestration permet de prendre en compte le processus de préparation d'une séance d'apprentissage, ce qui permet donc de lier l'activité de préparation et l'activité de conduite de séances d'apprentissage. Cette phase de création de la "partition" [63] qui sera ensuite jouée en classe est en fait une phase de *primo-scripting* [106], qui permet d'identifier les contraintes en fonction des objectifs pédagogiques, d'élaborer un scénario en fonction des ressources disponibles, et de définir comment il doit être implémenté dans le système.

Les travaux sur l'orchestration se sont dans un premier temps attachés à faciliter la conduite d'activités éducatives par l'enseignant, en guidant la conception d'outils à destination des enseignants, avec comme objectif d'éviter de rajouter une nouvelle couche de complexité [23].

Structuration de l'orchestration

Afin de structurer l'orchestration, Dillenbourg et Jermann [22, 27] identifient et proposent six dimensions à prendre en compte lors de la conception d'outils d'orchestration :

- **Physicalité** : l'outil doit être adapté à la structure concrète de l'espace physique de la classe, et aux mouvements physiques des participants.
- **Awareness** : l'outil doit aider l'enseignant à connaître, à tout moment, l'état de l'activité.
- **Conception pour tous** : l'outil doit s'adapter à la majorité des enseignants, et pas uniquement aux enseignants les plus formés au numérique.
- **Contrôle** : l'outil doit permettre à l'enseignant de contrôler ce qui se passe en classe.
- **Visibilité** : les éléments importants doivent être visibles
- **Flexibilité** : l'enseignant doit pouvoir changer facilement ces décisions antérieures.

En tant que telles, ces dimensions, qui sont des recommandations de conception, ne permettent pas de concevoir des outils d'orchestration. La notion de séquentialité permet de réfléchir à la façon d'améliorer la création et la conduite d'activités pédagogiques grâce à deux principes structurants [22]. (1) Le déroulement temporel d'une formation (**workflow**) doit prendre en compte les contraintes qui sont celles des enseignants lorsqu'ils gèrent leurs séances (durée, programme, nombre d'apprenants, etc.) [22, 29]. (2) La modification de facteurs, comme la **continuité**, l'**awareness**, la pertinence du contenu, permet d'améliorer la conduite d'activités pédagogiques en classe.

Fonctionnalités

La possibilité de faire des modifications en temps réel des scripts préparés a ensuite été considérée pour pouvoir gérer les contraintes et l'avancement des apprenants in-situ. Une phase de *runtime scripting* permet de reconsidérer la structure, l'implémentation, les objectifs et principes d'enseignements associés à l'activité [106] en temps réel.

Le fait que l'apprentissage se déroule aussi en dehors des établissements scolaires [30], par du travail à la maison par exemple, a été intégré sous la forme d'une orchestration partagée [100]. Enseignants et apprenants se partagent la tâche d'orchestration ; l'apprenant orchestrant sa propre activité ou son activité en groupe réalisée hors de la classe. La recevabilité du principe a été testée dans des activités de résolution d'enquête permettant l'assimilation de connaissances [36, 99]. Ce partage de la tâche d'orchestration permet de réduire la charge cognitive de l'enseignant [36].

Pour résumer, l'orchestration est un concept riche permettant de structurer l'activité et de prendre en compte l'entièreté du cycle de vie d'une activité pédagogique : la création de scripts, l'adaptation aux contraintes de la classe et l'exécution des scripts (primo-scripting ↔ run-time scripting ↔ conducting [106].

Cependant, il existe des limites à l'orchestration :

- L'augmentation du nombre de dispositifs en classe avec l'utilisation de l'informatique modeste.
- L'orchestration s'intéresse peu à la façon dont les enseignants vont réadapter leurs activités pour les réutiliser dans le futur ou les partager avec des collègues.
- L'orchestration apporte des guides pour la conception d'outils permettant aux enseignants de préparer et réaliser leurs cours, mais le faible usage du numérique en classe est aussi dû à des problèmes techniques. Il faut donc proposer des solutions pour résoudre les contraintes techniques auxquelles font face les enseignants.

2.1.5 *Systèmes d'orchestration*

Technologies pour l'orchestration

Pour qualifier la technologie à utiliser, Tchounikine [106] distingue les technologies d'orchestration et les technologies orchestrables. Les technologies d'orchestration permettent aux enseignants de gérer la configuration de leur activité et de leur classe tandis que les technologies orchestrables permettent la création d'évènements pédagogiquement riches intervenant comme ressource pour les activités.

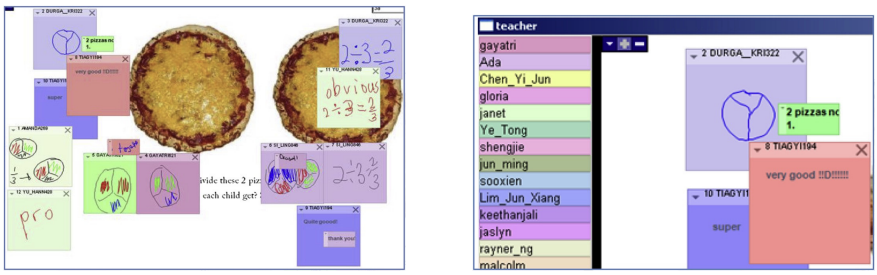
Concernant le type de supports à utiliser pour réaliser effectivement l'orchestration, Dillenbourg [29], Dimitriadis [30], Looi [72] et Roschelle [95] plaident pour de l'informatique "modeste", permettant d'effectuer de l'awareness ambiant. Cependant, ces approches modestes de l'orchestration impliquent d'augmenter le nombre de dispositifs présents en classe pour réaliser l'orchestration, comme par exemple l'ajout de lanternes dans l'étude de Dillenbourg [29].

Cet ajout de technologie d'orchestration devant initialement aider les enseignants dans leur gestion des apprenants et des technologies disponibles a en fait complexifié la tâche des enseignants, qui ont dû intégrer ces nouveaux outils dans leurs pratiques [100]. Il serait donc intéressant d'intégrer l'avis des enseignants et leur écosystème de travail lors de la conception des technologies d'orchestration.

Systèmes basés sur des technologies existantes

Plusieurs systèmes ont été développés en suivant les concepts de l'orchestration. Par exemple, GroupScribble [72], un outil de prise

FIGURE 5 – Exemple de classe utilisant GroupScribble [72]



(a) Interface étudiant (b) Interface enseignant

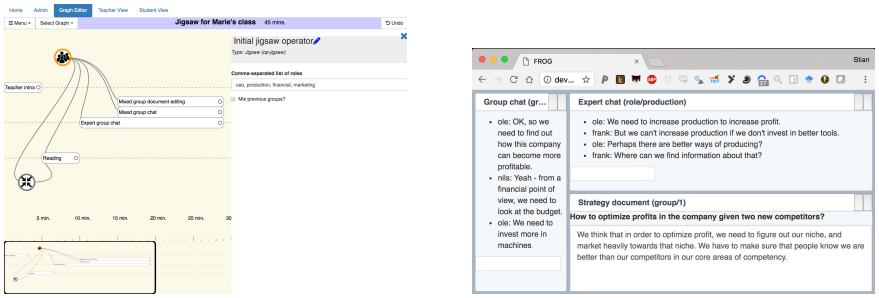
FIGURE 6 – Vue apprenant et enseignant de GroupScribble [72]

de notes en groupe sous forme de post-its, permet à l'enseignant de gérer une activité au niveau des individus, des groupes, et de la classe entière (fig.5).

GroupScribble est pensé à la fois pour les enseignants et les étudiants. L'interface pour les étudiants est composée d'une partie privée, permettant d'écrire du texte ou de dessiner. Une partie de l'interface étudiante est publique et commune à tous les membres du groupe. Les enseignants peuvent accéder aux travaux des groupes en temps réel, mais aussi visualiser la progression des individus (fig.6).

Bien que GroupScribble permette la création et la conduite d'activité en classe, le système se base sur la possibilité de créer et partager des post-its entre utilisateurs et groupes d'utilisateurs. La variété des activités utilisables dans GroupScribble est donc limitée à cette seule application.

Un autre système proposant la création et la conduite de script est FROG [42]. Cet outil se concentre sur un type bien particulier de scripts nommés Graphes d'orchestration [43]. Les graphes d'orchestration permettent d'identifier en amont les tâches des différents participants à une activité. La structure en graphe permet de définir un flux de travail, ainsi que les relations entre les tâches et les participants.



(a) Vue enseignant lors de la création d'un graphe d'orchestration

(b) Vue apprenant lors de la conduite d'une activité

FIGURE 7 – FROG [42] : un outil permettant la création et la conduite de graphes d'orchestration

FROG permet la création de tels graphes à l'aide d'un éditeur visuel (l'enseignant sélectionne et déplace des "briques" de graphes, et rajoute les liens entre les différentes briques (fig.7). Les apprenants peuvent ensuite réaliser l'activité en suivant le graphe préparé par l'enseignant (fig. 7). L'enseignant peut alors adapter en temps réel le graphe afin de répondre aux différents imprévus survenant en classe.

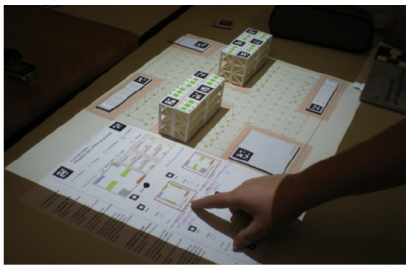
Cependant, la structure de script implémentée dans FROG (les graphes d'orchestration) nous semble inadaptée pour la création et la conduite facile d'activités pédagogiques. En effet, le choix d'une structure en graphe, quoique proche des pratiques des enseignants, entraîne une complexité dans l'interface de création de scripts, alors qu'un point crucial de tels outils réside justement dans la simplicité à créer des activités et à les dérouler en classe. Avec une approche utilisant modèles complexes et une sur-spécification de l'activité (l'enseignant prépare le maximum de son activité en avance), l'appropriation de tels outils par des enseignants non experts est plus compliquée.

Les outils tels que GroupScribble et FROG s'intéressent particulièrement à la façon dont on peut aider les enseignants avec une approche orientée pédagogie. De tels systèmes ont étés validés dans des conditions semi-contrôlées (un seul établissement, des dispositifs semblables pour une même activité). Nous pensons qu'une approche technique permet de répondre aux problématiques auxquels les enseignants font face de manière quotidienne. Une réponse technique permettrait ainsi une adoption plus large d'outils numériques pour la conception et la conduite d'activités numériques.

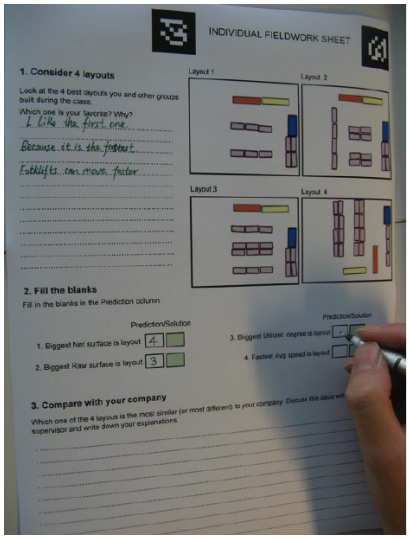
Système ajoutant de nouvelles technologies

Tandis que GroupScribble et FROG sont des outils utilisant des dispositifs existants et à disposition dans les classes, d'autres outils, tels que Lantern [4] et TinkerLamp [96], ajoutent de nouvelles technologies afin d'orchestrer la classe.

FIGURE 8 – Lantern [3] : un outil permettant de gérer la présence de l'enseignant vers les apprenants



(a) Utilisation de Tinkerlamp dans une activité de simulation



(b) Papier (tinkersheet) utilisé pour une orchestration d'activité mixte

FIGURE 9 – Tinkerlamp [96] : un outil utilisé pour orchestrer des activités mixtes (numérique et papier)

La lampe Lantern (fig.8) permet à chaque groupe d'une classe d'indiquer son avancement dans l'activité. La couleur et le clignotement de la lampe permettent à l'enseignant d'identifier rapidement la progression de chaque groupe, les groupes ayant des questions, ainsi que le temps d'attente des groupes. En apportant de la connaissance sur la progression des groupes de manières publique (tout le monde voit les lampes) et constamment présente, cet outil permet à l'enseignant de mieux organiser ses interventions dans la classe.

Tinkerlamp (fig.9) est un outil mixte associant vidéoprojection et prototypes papier. À l'aide de QRcodes imprimés sur des cartes en papier, l'enseignant peut orchestrer sa classe en réalisant différentes tâches (lancer une simulation, effectuer une correction, etc.).

2.1.6 *Gestion d'outils numérique en classe*

Avec l'ajout de dispositifs dans les classes, les enseignants doivent gérer de plus en plus de dispositifs numériques. Cette gestion s'ajoute à la gestion "classique" de la classe, c'est-à-dire du contenu, du flux d'activité, et des apprenants. Étant donné la disparité des dispositifs présents en classe, cette gestion de dispositifs est compliquée à mettre en œuvre pour les enseignants.

Nous nous intéressons donc aux travaux liés à cette gestion de dispositifs numériques. En fonction des objectifs des enseignants, ces tâches peuvent fortement varier. Elles peuvent être liées au contrôle du contenu sur les dispositifs, mais aussi au contrôle à distance des dispositifs.

Lorsqu'il s'agit de contrôler le flux et les ressources de l'activité, peu de systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS) ou d'orchestration offrent la flexibilité des activités sur papier. Alors que le papier peut être distribué et récupéré facilement de manière transparente d'une personne à l'autre ou réutilisé à volonté, les outils numériques n'offrent pas le même niveau de contrôle. Les LMS sont souvent lourds lorsque les enseignants veulent adapter les activités des apprenants aux contraintes de la situation. Les dossiers partagés sont une alternative largement utilisée dans les salles de classe (en janvier 2019, google revendique 40 millions d'utilisateurs pour la G Suite for Education [1]). Cependant, ils offrent peu de contrôle sur les mécanismes de partage. Sharples [100] et Looi [72] notent que l'ajout de technologie d'orchestration peut apporter plus de complexité que de simplification de la gestion des activités.

2.1.7 *Limites de l'orchestration et des outils associés*

Bien que l'orchestration donne des guides pour la conception d'outils permettant la création et la conduite d'activité pédagogique en classe, il existe plusieurs limites au concept d'orchestration et aux outils associés. Nous pouvons diviser ces limites en quatre principales catégories :

1. La gestion des ressources
2. La gestion des dispositifs numériques
3. L'adaptation de l'activité
4. La généricité des outils

Concernant la gestion des ressources, les enseignants doivent gérer de nombreuses ressources éparpillées, numériques ou physiques. Les systèmes se basant sur l'orchestration ne prennent pas suffisamment

1. https://www.bgr.in/news/google-classroom-program-now-has-40-million-users-30-million-chromebooks-students-765359

en compte la façon dont les enseignants gèrent la variété de leurs ressources. Cependant, l'orchestration ne propose pas de solutions pour aider les enseignants dans la gestion de ses ressources. Il est pourtant nécessaire de proposer des outils permettant aux enseignants de gérer leurs ressources, en les associant à leurs activités. Il nous semble aussi important de prendre en compte les ressources non numériques lors de la conception d'outils numériques et d'activités sur de tels outils.

Les enseignants ayant à disposition des dispositifs numériques variés dans leur classe, il est nécessaire de proposer des outils permettant une interopérabilité entre ces dispositifs. Cependant, l'orchestration ne propose aucune solution permettant de prendre en compte la variété de ces dispositifs. Les dispositifs doivent non seulement communiquer entre eux, mais les outils proposés et l'activité doivent être adaptés aux différents dispositifs à disposition. La solution à apporter à cette problématique n'est pas seulement technique (communication entre dispositifs, adaptation des outils). Il est nécessaire d'intégrer dans l'activité les spécificités des dispositifs, et de pouvoir proposer des activités qui correspondent aux potentiels de ceux-ci.

Une forme de continuité d'activité doit aussi être possible entre les dispositifs. Il existe en effet un parallèle entre la continuité de l'activité entre les séances qui est proposée dans l'orchestration, et la continuité de l'activité entre les dispositifs. En effet, la continuité sur plusieurs séances n'implique pas forcément d'être dans la même salle de classe, ni d'utiliser les mêmes dispositifs. Il nous semble donc important de prendre en compte la nécessité de pouvoir commencer une activité sur un dispositif, et la continuer sur un autre afin de permettre une continuité entre séances.

Concernant l'adaptation de l'activité, une autre limite de l'orchestration est le manque de solutions pour l'adaptation au contexte dans lequel se déroule l'activité. Bien que Dillenbourg indique qu'il faut prendre en compte le contexte lors de la conception d'activité, cette adaptation au contexte s'effectue en amont. Cependant, une activité peut être initiée dans un contexte (par exemple une salle de classe) et continuée dans un autre (par exemple en dehors de l'école). Les systèmes se basant sur l'orchestration fonctionnent donc dans des contextes spécifiques. Ces outils ne permettent pas le passage d'un contexte à un autre. Sur une activité se déroulant en classe, le contexte peut varier au cours de la session, par exemple avec une perte de connexion à Internet. Il est donc nécessaire de penser des outils d'orchestration qui peuvent s'adapter pendant la conduite d'activité aux contextes dans lesquels ils sont utilisés.

Finalement, les outils proposés dans les travaux en orchestration sont généralement développés spécifiquement pour un type d'activités, et sont difficilement généralisables. Pour résoudre cette problématique, Wang *et al.* [89] proposent un framework permettant de créer

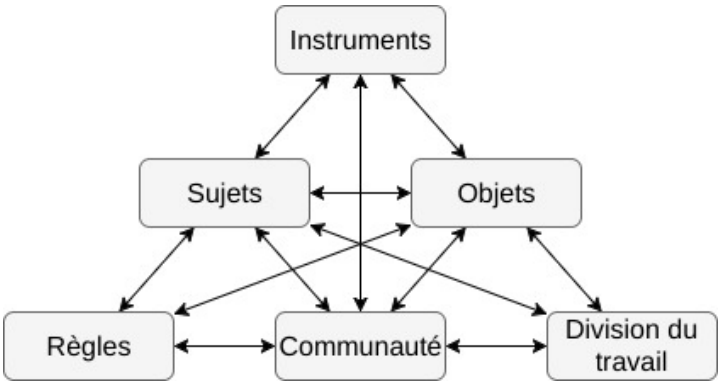


FIGURE 10 – Liens entre les éléments de la théorie de l'activité

des activités variées pour des classes sur tablettes. Ce framework permet l'adaptation de l'activité en classe ainsi que le suivi de celle-ci. Cependant, l'instanciation du framework demander des compétences en informatique (modification du code) et nécessite donc le travail d'informaticiens pour créer de nouveaux types d'activités.

Pour répondre à ces limites, nous nous intéressons aux travaux en IHM sur la gestion des activités numériques dans des contextes variés, et plus particulièrement les travaux autour du concept d'ABC.

2.2 CONDUITE D'ACTIVITÉS NUMÉRIQUES

L'apprentissage scolaire peut être considéré comme une activité effectuée tant par les enseignants que les apprenants. En IHM, de nombreux systèmes se sont inspirés de la théorie de l'activité [70] afin de proposer des outils permettant de gérer des activités numériques.

2.2.1 *Informatique centrée activité (Activity centric computing)*

La théorie de l'activité [70], initiée par Leontiev, a permis de préciser au fil de son évolution la définition de l'activité. Engeström [33] propose une définition maintenant établie, basée sur une triple interaction entre sujets effectuant l'activité et objets de l'activité, entre sujets et communautés de sujets et enfin entre objets et communautés. Il a ensuite étendu cette définition afin de prendre en compte les règles guidant l'activité, la division du travail ainsi que les artefacts utilisés par les sujets dans l'activité. Les différents liens entre les éléments de la théorie de l'activité selon Engeström sont résumés en figure 10.

La théorie de l'activité est très présente en IHM, notamment depuis la "seconde vague" [56] qui s'est intéressée au travail de groupe. Historiquement, après une phase d'appel à la réflexion autour des interfaces utilisateurs [12], la théorie de l'activité a principalement été utilisée pour le design, l'analyse et la validation de systèmes interac-

tifs sous forme de check-lists permettant l'exploration systématique du contexte [58].

Caractéristiques

Les premiers systèmes d'informatique centrée activité ont deux caractéristiques principales. La première est d'associer des ressources à une activité donnée, par exemple l'association de documents [57, 82, 102, 111], d'applications [102], ou encore de tâches [57, 82]. Ces différentes associations peuvent être cumulées afin d'enrichir la notion d'activité. La seconde est de supporter sur le long terme la mise en pause/reprise d'une activité donnée via des mécanismes de sauvegarde.

Les usages initiaux supportaient principalement des activités de bureautique par l'association de documents et d'applications à une activité réalisée par des utilisateurs travaillant seuls [57, 102].

Évolution de l'activity centric computing

Le développement du travail collaboratif assisté par ordinateur (Computer Supported Collaborative Work (CSCW)) a fait évoluer les contraintes, nécessitant de prendre en compte la dimension multi-utilisateur. Les solutions proposées se sont alors attachées à supporter la communication entre utilisateurs, via des systèmes de messageries et de chats [82, 111].

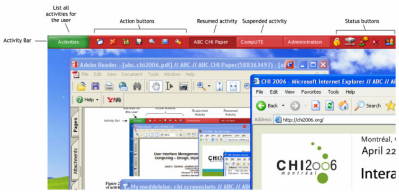
Bien qu'améliorant la collaboration entre utilisateurs, cette proposition s'est heurtée à la troisième vague d'IHM, à savoir l'informatique ubiquitaire (ubicomp). Il est alors devenu nécessaire de gérer la variété des formes d'activités collaboratives (activité synchrone/asynchrone, locale ou distante). De plus, le nomadisme des utilisateurs et leur itinérance sont prépondérants en ubicomp, et il est nécessaire de pouvoir réaliser une activité dans différents lieux/temps, mais aussi de pouvoir effectuer un travail collaboratif directement sur les activités.

Il existe plusieurs notions communes aux systèmes d'informatique centrée activité. Une de ces notions est la possibilité d'associer des ressources à une activité donnée, association pouvant être effectuée de différentes manières comme via l'association de documents [57, 82, 102, 111], d'applications [102], ou encore de tâches [57, 82] à des activités. Ces différentes associations peuvent être cumulées afin d'enrichir la notion d'activité. Une autre notion commune est le soutien à long terme des activités, via la possibilité de mettre en pause/reprendre une activité donnée via des mécanismes de sauvegarde d'activité.

Systèmes d'activity centric computing

Les usages initiaux des systèmes informatiques centrés activités sont génériques et supportent principalement des activités de bu-

(a) Laevo [53] : un système d'ACC individuel pour des tâches classiques de bureautique



(b) ActivityBar [10] : un système d'ACC intégré directement au système d'exploitation

FIGURE 11 – Exemple de deux systèmes d'ACC

reautique d'utilisateurs travaillant seuls [57, 102], en se concentrant sur l'association de documents et d'applications à une activité. Avec l'apparition du travail collaboratif et des problématiques du travail coopératif assisté par ordinateur (CSCW), cette gestion devient alors limitante puisqu'elle ne peut pas supporter des contextes de travail collaboratif. Les usages ont donc évolué afin de prendre en compte la dimension multi-utilisateur via la gestion de la communication entre utilisateurs, via des systèmes de messageries et de chats [82, 111]. Bien qu'améliorant la collaboration entre utilisateurs, cette gestion ne permet pas la réalisation d'activités collaboratives locales alors que les activités collaboratives peuvent prendre plusieurs formes (activité synchrone/asynchrone, locale ou distante). Malgré le nomadisme des utilisateurs, leur itinérance n'est pas possible et il est impossible d'effectuer une activité dans différents lieux/temps avec les systèmes d'informatique centrée activité. De plus, l'impossibilité de partager une activité avec d'autres participants ou d'effectuer un travail collaboratif sur celle-ci nous semble limitante dans la gestion d'activités collaboratives.

Des systèmes aux caractéristiques variées

Il existe de nombreuses différences entre les différents systèmes d'informatique centrée activité que ce soit d'un point de vue des utilisateurs, de la gestion des activités ou encore de l'affichage de celles-ci. D'un point de vue des utilisateurs, certains systèmes se concentrent sur une tâche effectuée par un utilisateur seul, comme dans UMEA [57], GroupBar [102], ou encore e-lab bench [105] tandis que d'autres proposent d'associer plusieurs participants à une activité, chacun travaillant sur un dispositif différent, comme dans Giornata [111] ou dans le système proposé par Muller [82].

Enfin, nous pouvons distinguer plusieurs façons d'afficher des activités. Une des représentations utilise un affichage des activités en liste [57, 82, 102], permettant ainsi l'organisation d'un ensemble d'activités et le travail simultané sur plusieurs activités. Une autre représentation, semblable à l'affichage en liste, est l'affichage des activités

dans une barre de tâches intégrée au système d'exploitation [102], ce qui facilite la prise en main du système en simplifiant le changement d'activité, et en utilisant les mêmes interactions que pour changer d'application dans un système classique. Enfin, d'autres systèmes ont fait le choix de représenter les activités comme des tâches, que l'on peut ensuite lier à un calendrier [53, 57].

Limites de l'activity centric computing

Il existe cependant quelques limites relatives aux premiers systèmes d'informatique centrée activité. L'une de ses limites est le focus effectué sur la gestion d'activités ne possédant qu'un seul utilisateur, sans possibilité ni de partager une activité avec d'autres participants ni d'effectuer un travail collaboratif sur celle-ci. Ce point nous semble particulièrement bloquant du fait de l'augmentation des contextes dans lesquels une activité collaborative est nécessaire. Une autre limite est le déploiement de l'informatique centrée activité majoritairement sur des ordinateurs, sans adaptation possible en fonction des dispositifs utilisés. De plus, malgré le nomadisme des utilisateurs, leur itinérance n'est pas supportée et il est impossible d'effectuer une activité sur différents dispositifs et dans différents lieux/temps dans les systèmes d'informatique centrée activité.

2.2.2 *Activity Based Computing (ABC)*

Au fil des années, les systèmes ont évolué et se sont améliorés, mais les principes de l'informatique centrée activité ont réellement montré leurs limites lorsqu'il s'est agi d'intégrer la multiplicité des dispositifs informatiques et du travail collaboratif.

Principes

Bardram a proposé l'ABC [8], un framework dans la continuité de l'informatique centrée activité. Les principes sur lesquels se base ce framework permettent d'apporter des réponses à notre objectif de recherche lié aux outils et systèmes à proposer aux enseignants, notamment en proposant des solutions techniques pour résoudre les contraintes liées au contexte scolaire. Les principes de l'ABC sont les suivants :

- L'**association de ressources** riches (document, services/applications et tâches) à une activité.
- La mise en **pause et reprise** dans le même état d'une activité.
- L'**itinérance (roaming)** d'activité, c'est à dire l'accès à l'activité depuis un ensemble de lieux et dispositifs grâce à sa distribution via un réseau afin qu'elle soit utilisable d'un espace de travail à un autre.

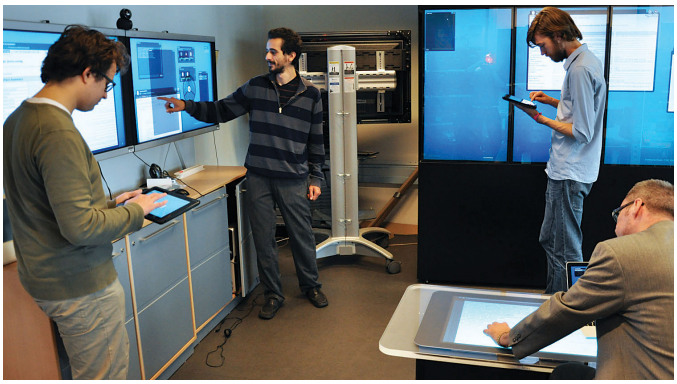


FIGURE 12 – ReticularSpace [11] : exemple d'adaptation aux dispositifs et de partage d'activité

- L'**adaptation** d'activité, qui est réalisée en fonction des ressources disponibles sur le dispositif, comme par exemple la taille de l'écran ou les modalités d'interactions (tactile, clavier/souris, etc.) [9, 11, 105]. Cette adaptation doit permettre d'assurer la continuité d'une activité à travers différents dispositifs (ordinateur, tablettes, table interactive, etc.) et résout la problématique de la multiplication des dispositifs informatiques.
- Le **partage** d'activité, qui rend possible le travail collaboratif autour d'une activité réalisée par différentes personnes successivement ou simultanément. Cette caractéristique s'est matérialisée dans des systèmes de *cscw*, comme par exemple Clinical surfaces [9] ou ReticularSpaces [11].
- L'**awareness du contexte** dans lequel le système opère (context awareness), qui permet de proposer ou modifier des activités en fonction, par exemple des utilisateurs présents dans une salle ou autour d'un dispositif, de différents supports à disposition des participants, etc.

L'association de ressources riches pose la question du lien entre applications et documents. Bardram [7] propose de sortir de la métaphore document/application en rajoutant la notion de service. Un service être vu comme une description des opérations que l'on souhaite réaliser sur un document ou des données, sans a priori sur l'application permettant afin de réaliser ces opérations. L'application utilisée est alors choisie par le système en fonction du contexte, ou encore des ressources disponibles (taille de l'écran, mémoire, etc.).

Mise en œuvre de l'abc

Ces principes ont été mis en oeuvre dans un certain nombre de systèmes [9-11, 53, 105], qui couvrent un large éventail de cas d'usages, travail mobile des travailleurs médicaux, espaces collaboratifs de développement, laboratoires de biologies, etc.

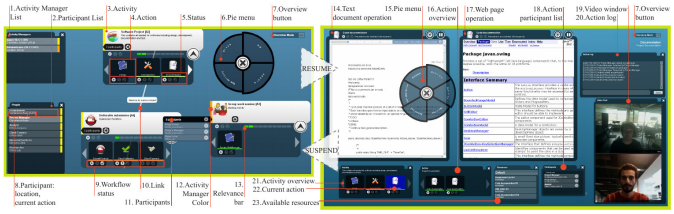


FIGURE 13 – ReticularSpace [11] : exemple d'activité collaborative en pause (gauche) et en cours d'exécution (droite)

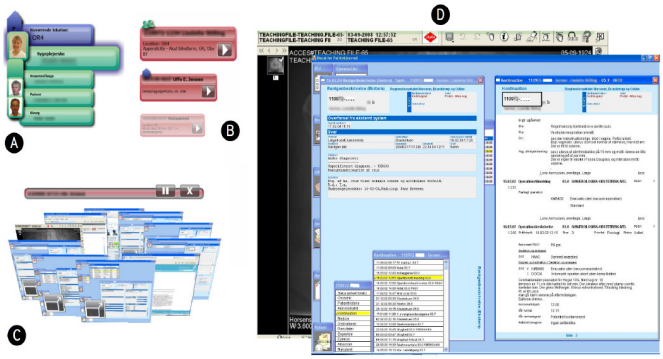


FIGURE 14 – Clinical Surface [9] : utilisation d'un système d'ABC dans un contexte médical

Ces systèmes reposent sur une variété d'architectures, certaines locales, où chaque dispositif dispose de son propre manager d'activité (supprimant de facto les notions de roaming et de partage d'activité) [46, 53] ; des architectures en peer to peer, dans lesquelles chaque dispositif dispose d'un manager d'activité laissant la possibilité d'effectuer du roaming et du partage d'activité [11, 46] ; des architectures client/serveur, où un serveur central dispose d'un manager d'activité auquel les dispositifs se connectent afin de pouvoir accéder à une activité [10, 46, 105] et enfin des architectures hybrides, combinant des serveurs disposant d'un manager d'activité et des dispositifs disposant ou non de manager d'activités [9, 46].

Approche théorique de l'abc et de l'activity centric computing

Nous avons vu que l'ABC apporte de nombreuses solutions techniques afin de permettre la mise en œuvre des activités numériques. D'une manière plus générale et d'un point de vue plus théorique, l'ABC et l'activity centric computing peuvent faciliter l'appropriation des artefacts si l'on considère l'instrumentation et l'instrumentalisation décrite par Rabardel [90]. En effet, l'utilisateur qui prépare une activité partagée avec d'autres participants, traduit une partie de ses schèmes d'usage dans l'artefact. Il formalise et externalise l'instrumentation et l'instrumentalisation construites pour l'activité. Le nouvel artefact peut ainsi être potentiellement repris plus facilement par les autres utilisateurs pour réaliser l'activité selon un principe d'ins-

trumentation, cela n'exclut bien sûr pas qu'ils construisent de leur coté leurs propres schèmes d'usage.

2.3 SYNTHÈSE DE L'ABC ET DE L'ORCHESTRATION

2.3.1 *Un support partiel pour les activités éducatives*

Le tableau 1 synthétise les propriétés des différents systèmes issus de l'ABC et de l'orchestration, en retenant particulièrement les propriétés utiles dans un contexte éducatif. Nous pouvons constater que si quelques propriétés sont abordées par les deux approches, la majorité ne le sont que par un type d'approche, et que certaines ne sont considérées que par peu ou aucun d'entre eux.

Un des principes au cœur de l'orchestration est la structuration des activités éducatives sous forme de séquences/workflows (scripting), cette propriété n'est pourtant implémentée que dans quelques systèmes d'orchestration, et a été implémentée à la marge dans un seul un système ABC (ReticularSpaces).

L'unique propriété permettant le suivi d'une activité implémentée par la majorité des systèmes ABC, est le mécanisme de mise en pause et de reprise restituant l'état dans lequel l'activité se trouvait précédemment. Dans un cadre éducatif, cette propriété est particulièrement utile pour assurer une continuité entre des séances d'apprentissage se déroulant sur plusieurs cours, ou impliquant des disciplines variées comme les EPI. Ces cas d'usage se déroulent généralement dans différents lieux et avec des dispositifs variés. Ils sont facilités dans le cadre de l'ABC par le principe d'**itinérance** et la persistance des données à travers le lieu et les outils utilisés ainsi que l'**adaptation aux différents dispositifs** des participants, et **au contexte** (lieu, participants, autres activités en cours, etc.)

En ABC, les principes d'itinérance et d'adaptations sont fortement liés au **partage d'activité**. Le partage est alors principalement vu comme une façon d'impliquer d'autres utilisateurs dans une activité en cours. Dans un contexte éducatif, le partage prend des formes bien plus riches, mais elles ne sont que très peu supportées par les systèmes existants. La forme la plus triviale consiste à permettre à un enseignant de "distribuer" dynamiquement une activité en classe, comme il le ferait avec des feuilles papier, ou de permettre aux apprenants de se partager des activités entre eux au grès de la constitution de groupes de travail. Ces mécanismes n'existent pas dans les systèmes d'orchestration alors qu'ils sont pourtant très présents dans les activités scolaires.

Le partage peut aussi prendre des formes plus riches, comme l'échange d'activités entre enseignants. Ceci pour permettre aux enseignants de réutiliser des activités produites par d'autres, mais aussi de les adapter ou modifier selon leurs besoins. Ce type de partage assez représen-

tatif des pratiques enseignantes [88] n'est pas du tout pris en charge ni par l'ABC ni par l'orchestration. Nous nous proposons donc d'intégrer des mécanismes de **partage de modèle d'activité (template)** à notre modèle.

Étant principalement développée pour un cadre éducatif, l'orchestration intègre la **multiplicité des acteurs** (enseignants, apprenants, parents, etc.), ce qui est très peu fait par les systèmes d'ABC. Ces derniers structurent finement les activités collaboratives, mais ne distinguent pas les types d'utilisateurs, ni ne permettent de préciser les actions qu'effectuent les autres participants. Ceci est assez limitant pour le développement d'une **awareness** de groupe sur les actions des différents acteurs. Ces propriétés d'awareness sont particulièrement mises en avant et facilitées dans les systèmes d'orchestration dans la mesure où ils permettent un meilleur suivi aux enseignants, et une meilleure auto-régulation des apprenants.

2.3.2 *Vers une combinaison de l'ABC et l'orchestration*

Combiner orchestration et ABC comporte un certain nombre de défis, tant d'un point de vue théorique que technique.

L'orchestration a été pensée pour des contextes éducatifs et intègre les contraintes à prendre en compte lors de la conception et la mise en œuvre d'activités pédagogie. Les travaux sur l'orchestration se sont principalement attachés à décrire et formaliser les principes et contraintes à considérer pour gérer la collaboration, mais la distribution de l'activité est réalisée en amont de la séance. Un enjeu à valider expérimentalement concerne la gestion des activités en termes d'objectifs pédagogiques dans le contexte de l'ABC. Réciproquement, tous les apports de l'orchestration concernant la gestion de la collaboration ne sont pas intégrés dans l'ABC. La difficulté va donc être de les intégrer tout en restant cohérent avec les principes de pause/reprise, d'itinérance et d'adaptation de l'ABC.

L'ABC a été mis en oeuvre dans de nombreux contextes, au moyen d'architectures variées. Les principes proposés sont donc robustes pour être étendus et intégrer des objectifs éducatifs. Néanmoins, ces architectures restent limitées dans leur capacité d'adaptation au contexte, notamment d'un point de vue réseau. Nos entretiens nous ont permis d'identifier un défi majeur issu des expériences des enseignants : la nécessité d'avoir une infrastructure informatique stable. Dans ce contexte, il est nécessaire de pouvoir basculer rapidement d'un mode connecté à un mode non connecté en fonction des contraintes liées aux lieux : l'absence d'un réseau wifi dans une salle par exemple impose de travailler avec un serveur local pour gérer la collaboration à l'intérieur de la salle, mais empêche de solliciter un serveur externe. Un défi important est la mise en place d'une architecture permet-

		Système	Workflow	Continuité (Pause/ reprise)	Itinérance	Adaptation au dispositif	Adaptation contexte	Partage d'activité	Partage de template	Différents rôles	Awareness utilisateurs
Activity Centric Computing	ABC	**ReticularSpaces**[11]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
		Clinical surfaces[9]	✗	✓	✓	✓	±	✓	✗	✗	±
		Bardram *et al.*[10]	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
		e-lab bench[105]	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
		Muller *et al.*[82]	✗	✓	✓	✗	✗	±	±	✗	✓
		Giornata[111]	✗	✓	✗	✗	✗	±	✗	✗	✗
		Laevo[53]	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
		UMEA[57]	✗	±	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
		Group Bar[102]	✗	±	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	Orchestration	**Lantern**[4]	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
		Shelf[4]	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
		Tinker Lamp[29]	✓	✗	✗	✗	✗	±	✗	✓	✓
		nQuire[99]	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
		GroupScribbles[72]	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓

TABLE 1 – Synthèse des caractéristiques couvertes par différents systèmes issus de l'ABC et de l'orchestration

tant de basculer rapidement d'un mode à l'autre pour s'adapter aux contraintes.

De plus, l'ABC a été pensé pour le partage d'activité dans leur globalité. Cependant un enseignant peut vouloir partager une structure d'activité (template) avec d'autres enseignants, afin qu'ils puissent l'adapter pour la réutiliser dans leurs contextes d'enseignement. Des mécanismes de partage de template d'activité permettraient aux enseignants de réaliser ce genre de partage dans leurs communautés.

2.4 INTERACTIONS MULTI-DISPOSITIF ET GESTION DE CLASSE

L'orchestration de classes comprenant de nombreux dispositifs entraîne de nouveaux défis pour les enseignants : les enseignants doivent gérer en temps réels tous les dispositifs présents en classes, que ce soit pour le partage de contenu, que pour le contrôle des dispositifs afin de garder la concentration des apprenants sur l'activité.

En IHM, les travaux en informatique multi-dispositif (cross-devices computing) [15] se sont intéressés à la gestion de dispositifs numériques dans de nombreux contextes. Brudy *et al.* ont récemment réalisé un article donnant une vue d'ensemble sur l'interaction multi-dispositif [15]. Dans cette étude, ils identifient entre autres des articles relatifs aux environnements d'apprentissage. La plupart de ces projets se sont concentrés sur l'interaction entre dispositifs du côté des apprenants [13, 40, 64, 74, 110, 114].

Sur tous les articles identifiés relatifs aux environnements d'apprentissage, nous avons remarqué que quatre d'entre eux impliquent des activités collaboratives où les étudiants [13, 74, 114] ou un groupe d'étudiants [64] utilisent un dispositif personnel (tel qu'une tablette ou un smartphone) connecté à un dispositif partagé (tel qu'un vidéo-projecteur ou une tablette). Dans ces articles, le dispositif personnel est connecté au dispositif partagé avant le début de la session, et aucune interaction n'est requise pour apparier les dispositifs ensemble, ni pour choisir sur quel dispositif déplacer le contenu.

Deux articles identifiés dans l'article sur les interactions multi-dispositif sont particulièrement intéressants : le premier [54], bien qu'il ne soit pas spécialement conçu pour la salle de classe, propose un pointeur partagé sur des écrans, permettant aux utilisateurs d'utiliser un ensemble d'écrans comme un environnement unique. Toutefois, dans ce cas, la disposition des écrans est connue avant l'expérience, ce qui n'est pas le cas en classe avec des dispositifs individuels tels que les tablettes. Le deuxième article [110] propose de partager des composants web par le biais de différents dispositifs. Pouvoir partager des composants d'application entre les dispositifs est une première étape vers la gestion des dispositifs dans la salle de classe. Cependant, l'approche basée sur les menus semble difficile à mettre en œuvre dans les classes mobiles (nécessité de retourner à l'ordinateur de l'ensei-

gnant, difficulté d'effectuer rapidement des interactions par le biais des menus).

Certaines tâches de gestion des dispositifs sont plus simples et relèvent davantage du contrôle à distance que de l'orchestration. Par exemple, en ce qui concerne la gestion de l'attention et des distractions, Apple Classroom permet aux enseignants de verrouiller les écrans et de couper le son des tablettes des apprenants. Alors que Apple Classroom propose un simple bouton pour ce faire, Sharples plaide pour donner plus d'autonomie aux apprenants en leur demandant de fermer le couvercle de leur ordinateur portable [100] plutôt que de laisser les enseignants prendre le contrôle.

Pour des tâches de contrôle à distance, les smartphones peuvent agir comme une télécommande universelle [6]. L'utilisation de technologies mobiles ou portables peut permettre aux enseignants de gérer et de contrôler des dispositifs depuis n'importe où.

En IHM, le concept de télécommande a été particulièrement étudié dans le contexte des téléviseurs intelligents [6] et du contrôle de centres multimédias complexes (contrôlant les dispositifs de musique, la télévision et les haut-parleurs distribués dans les maisons). Récemment, avec la disponibilité accrue des montres intelligentes, des études s'intéressent à la façon dont on peut les utiliser comme télécommandes [45, 73].

Nous voyons donc qu'il existe une tension entre ajout d'outils numériques et gestion de ceux-ci en classe. Bien que de nombreuses études se soient intéressées à la gestion de dispositifs numériques dans des contextes variés, nous identifions un manque de telles études dans un contexte éducatif. Il existe pourtant des spécificités au contexte éducatif : les utilisateurs ont des rôles et objectifs différents (enseignant, apprenant) ; les dispositifs utilisés peuvent être personnels ou communs à l'établissement ; de fortes contraintes existent sur les dispositifs et les réseaux existants. Pour ces raisons, il nous semble important de réfléchir à la façon dont nous pouvons permettre une gestion simple et efficace de dispositifs multiples et variés lorsque nous concevons des systèmes déployés dans des salles de classe.

2.5 SYNTHÈSE

De nombreux travaux en EIAH se sont intéressés à la planification d'activités pédagogiques numériques par les enseignants. L'orchestration donne un cadre conceptuel permettant la conception d'activités pédagogiques, ainsi que leur mise en œuvre en classe, en structurant les activités autour de principes et contraintes à prendre en compte. Nous proposons d'aller plus loin que les systèmes d'orchestration classiques en implémentant les concepts d'orchestrations dans les différents contextes des établissements (dispositifs présents, limitations physiques, réseaux, etc.). Les travaux en IHM, et plus particulière-

ment en ABC, proposent un cadre conceptuel et technique pour la gestion d'activité numérique. Ils offrent des principes structurants afin de permettre une gestion aisée d'activités numériques. Afin de proposer des systèmes permettant la création et la conduite d'activités pédagogiques dans des contextes variés et sur de nombreux dispositifs, nous présentons les défis et opportunités de combiner orchestration et ABC. Enfin, l'ajout de technologie complexifie la tâche de gestion de classe pour les enseignants. Les travaux relatifs à l'informatique multi-dispositif s'intéressant à la gestion de dispositifs numériques, que ce soit dans des contextes généraux ou éducatifs, fournissent une base solide pour créer des outils permettant aux enseignants d'orchestrer leurs classes en temps réel, même si de nombreux dispositifs sont présents.

3

CONCEPTION ET CONDUITE D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES

Articles liés : *How Teachers Prepare for the Unexpected Bright Spots and Breakdowns in Enacting Pedagogical Plans in Class [51]; Design, Adjust and Reuse – How Teachers plan Pedagogical Activities [50]*
Collaboratrice : *Ghita Jalal*

Nous avons mené des entretiens contextuels avec huit enseignants du secondaire afin de mieux comprendre leurs pratiques en matière de planification et de mise en œuvre d'activités pédagogiques. Nous avons identifié un ensemble de points de rupture dans la conduite de leurs activités, ainsi que les différentes stratégies que les enseignants développent pour y faire face.
Les enseignants utilisent les outils numériques pour concevoir leurs activités, garder une trace de ceux-ci et pour revenir sur leurs stratégies de mise en œuvre. Ils conçoivent des plans que les apprenants peuvent mettre en œuvre directement, en définissant soit le contenu, soit la structure, ou les deux. La plupart des problèmes de mise en œuvre sont liés à des pannes de logiciel et de matériel.
Sur la base de nos résultats, nous proposons trois conséquences pour la conception de nouveaux outils afin d'aider les enseignants à mettre en œuvre leurs plans en classe. Les outils de planification et de mise en œuvre doivent : (1) permettre de formaliser des interactions entre les divers dispositifs tout en prenant en compte les différentes contraintes logicielles et matérielles des établissements ; (2) permettre d'externaliser les plans et de les partager avec les apprenants ; (3) permettre de capturer les traces de l'activité au fur et à mesure qu'elle se déroule.

3.1 APERÇU GÉNÉRAL ET OBJECTIFS

Dans un contexte scolaire, Sharples [100] décrit la complexité de la gestion d'activités pédagogiques de la manière suivante : ils doivent planifier leurs cours, s'adapter aux programmes officiels, mais ils doivent aussi comprendre et gérer de nombreux dispositifs. Les études à propos de la planification de cours ont une approche centrée sur la didactique [38]. Ces études s'intéressent principalement à la structure des plans telle qu'elle est définie a priori (*primo-scripting* dans le langage de l'orchestration) (2.1.4), mais assez peu à la réalité de la mise en œuvre des plans, notamment sur les contingences maté-

rielles lorsque des dispositifs numériques sont utilisés . Ainsi, il y a peu d'informations en IHM et en CSCL sur les modalités de passage de la conception à l'adaptation et à la réutilisation. Les aspects techniques, tout comme les contraintes de *physicalité* et de *conception pour tous* (2.1.4) sont peu pris en compte. L'un de nos objectifs est de proposer des outils permettant la création et la conduite d'activités, nous abordons donc la question de la planification d'un point de vue technique. Lorsqu'ils planifient des activités pédagogiques, les enseignants savent que ce qu'ils ont prévu est susceptible de changer au fur et à mesure que l'activité se déroule. Cependant, ils doivent tout de même préparer la structure et le contenu qu'ils souhaitent utiliser dans la séance. Notre objectif est donc de voir dans quelle mesure il est possible d'introduire une forme de flexibilité dans les activités réalisées en classe.

Lorsqu'ils mettent en œuvre leurs plans en classe, l'activité se précise et les enseignants peuvent ainsi améliorer leurs plans ou les ajuster selon la situation. Ces modifications du plan sont souvent réalisées par les enseignants rapidement, en quelques secondes ou minutes, alors qu'ils doivent diriger la séance en même temps correspondent au *run-time scripting* 2.1.4. Si l'on tient compte des contraintes pédagogiques et techniques que les enseignants doivent gérer simultanément, effectuer ces modifications est une tâche difficile.

Il existe donc une tension entre la planification et la mise en œuvre des activités pédagogiques [23]. Les enseignants doivent improviser pendant leurs activités contrôlées et routinières. Les routines sont des pratiques qu'ils ont développées au fil des ans tandis que les improvisations sont des modifications rapides de l'activité qu'ils mettent en place, pendant la séance, pour répondre à des événements qu'ils n'avaient pas prévus dans leurs plans [72]. Le *contrôle* de la classe et l'*adaptation* s'effectuent en temps réel en fonction de la perception qu'ont les enseignants du déroulement de l'activité.

Une fois le cours terminé, les enseignants ont plus de temps pour revoir leurs séquences, les modifier, évaluer et repenser leurs routines. Cependant, ils n'ont plus forcément accès aux différents éléments de contexte de la séance. Les enseignants doivent compter sur leur mémoire et les travaux réalisés par les apprenants pour avoir de l'*awareness* sur leur activité.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la façon dont les enseignants créent et adaptent leurs plans en classe. Notre objectif est de proposer des outils d'orchestration utilisables à toutes les étapes du processus (conception, adaptation, réutilisation) et respectant les contraintes identifiées pour l'orchestration [23].

Pour ceci, nous avons mené des entretiens contextuels avec des enseignants de collège et lycée. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux outils utilisés par les enseignants (numériques ou non) et aux étapes de conception et de mise en œuvre des activités.

Nous nous sommes concentrés sur les lacunes et les points forts de ces outils. Analyser les outils effectivement choisis par les enseignants permet de faire de la *conception pour tous* [28], concept qui est peu considéré dans la conception d'outils d'orchestration. Analyser l'ensemble des étapes d'une activité permet de prioriser les propositions sur les étapes qui sont les plus utiles et les plus critiques pour les enseignants tout en identifiant les moyens les plus compatibles avec leurs pratiques pour réaliser ces étapes. L'observation plus précise des modalités de réalisation des étapes permet de plus de vérifier que les modèles de l'orchestration [29, 106] et de l'ABC [10] sont complets et suffisants pour la conception, la conduite, et la réutilisation d'activités pédagogiques.

Nous proposons des recommandations de conception cohérentes avec les contextes d'activités des enseignants. Réaliser une transition fluide entre l'ensemble des étapes permettrait une adoption plus large d'outils gérant la totalité de l'orchestration (scripting, run-time scripting, adaptation/réutilisation). Nous verrons à la fin de ce chapitre et dans le chapitre 3 que certaines recommandations sont résolues par les principes de l'ABC.

3.2 ÉTUDE

Xhakaj et al. ont mené des entretiens contextuels avec des enseignants pour étudier la manière dont ils collectent les données sur les apprenants [115]. Nous souhaitons compléter cette étude en nous concentrant sur la manière dont l'utilisation des outils par les enseignants affecte leurs pratiques de planification et de mise en œuvre au fil du temps.

Nous avons mené des entretiens contextuels (grille d'entretien en annexe A.1) afin de mieux comprendre les relations entre les outils numériques et les pratiques des enseignants dans la planification et la mise en œuvre d'activités pédagogiques. Nous nous sommes concentrés sur la façon dont les enseignants préparent leurs cours en amont et réutilisent leurs ressources. Nous avons identifié les différents moments où les outils et artefacts préparés ne fonctionnent pas comme prévu. Nous avons identifié les façons dont les enseignants gèrent ces situations.

3.2.1 *Participants et procédure*

Nous avons interviewé huit enseignants français du secondaire (3 femmes, 5 hommes ; entre 26-50 ans ; 5 enseignants de lycée et 3 de collège). Les matières enseignées par les participants sont le français, la physique, la chimie, l'histoire, l'anglais, l'allemand, la biologie et l'informatique.

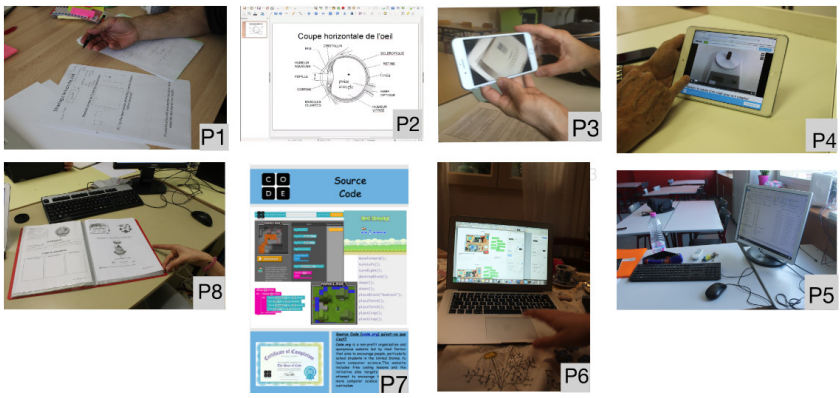


FIGURE 15 – Les enseignants ont montré comment ils créent leurs plans et les utilisent pour mettre en œuvre leurs activités en classe

Nous avons mené des entretiens semi-structurés pendant environ une heure. Nous avons mené ces entretiens dans leur salle de classe ou dans leur bureau. Nous avons pu ainsi identifier la configuration de l'espace ainsi que les outils, numériques ou non, présents lorsque les enseignants préparent leurs cours (fig.15, P1, P2, P6, P8) et les réalisent (fig.15, P3, P4, P5 P7). Nous avons demandé aux enseignants de décrire et expliquer les étapes de planification et de mise en œuvre d'une séance de cours déjà réalisée en classe. Nous leur avons également demandé de nous montrer les documents qu'ils avaient créés avant, pendant et après la séance. Nous avons principalement recherché les situations où la planification ou la mise en œuvre étaient particulièrement efficaces, ainsi que celles où elles étaient particulièrement difficiles.

3.2.2 *Collecte de données et analyse*

Nous avons enregistré l'audio de chaque entretien et avons des notes. Nous avons également enregistré des vidéos des interactions des participants avec les ressources qu'ils avaient créés, et photographié les éléments pertinents de leur environnement de classe (position des tables des apprenants, présence ou non d'ordinateurs et de tableau interactif, tablettes, etc.).

Nous avons adapté la méthodologie de Jalal [49] afin de retranscrire les huit entretiens et extrait des exemples de moments pédagogiques - que nous nommons **histoires** (annexes A.2.1 à A.2.8) - où les enseignants ont mis en œuvre ou adapté les plans qu'ils ont créés avant la séance. Nous avons effectué une analyse thématique [14] afin d'extraire des caractéristiques principales des stratégies mises en œuvre dans les histoires. Nous avons observé s'ils utilisaient des outils numériques ou non, quels étaient les outils utilisés, comment se caractérisaient les plans en termes de contenu et structure, et comment l'adaptation s'effectuait en contexte. Nous avons également identifié

Stratégies	Histoires	Participants
Définir les contraintes avant le cours	18	5
Éditer le plan en fonction de l'avancée des apprenants	12	6
Concevoir des plans interactifs pour les apprenants	10	6
Utiliser des dispositifs numériques et non numériques	10	4
Préparer plusieurs plans et en choisir un pendant le cours	8	4
Éditer le plan en fonction des évènements non prévus pendant le cours	7	5
Ne pas partir de zéro	6	5
Suivre un plan fixé	6	5
Travailler autour d'outils existants	5	5

TABLE 2 – Stratégies décrivant la planification et la conduite d'activités pédagogiques

les principaux problèmes que les enseignants ont signalés lorsqu'ils ont tenté de mettre en œuvre leurs plans en classe, ainsi que les outils (numériques ou physiques) qu'ils ont utilisés pour planifier et exécuter l'activité.

3.3 RÉSULTATS

Nous avons extrait un total de 83 histoires (entre 2 et 14 histoires par enseignant) et avons identifié 9 stratégies (tab.2). Elles représentent les pratiques les plus récurrentes, c'est-à-dire apparaissant dans les histoires d'au moins la moitié des participants.

3.3.1 *Scripting des activités pédagogiques*

Certaines stratégies identifiées lors des entretiens sont relatives à la préparation de scripts, telle que présentée dans le chapitre 2 avant leur mise en œuvre en classe. Tous les participants ont planifié leurs séances avant le cours. Lors de nos entretiens, les enseignants ont utilisé différents noms pour décrire les plans pédagogiques qu'ils ont créés. Par exemple, P2, un enseignant de physique, appelle le plan : "un fil conducteur", et un "contrat" entre lui et les apprenants tandis que P3, un enseignant d'histoire, parle d'un "plan de travail", en référence à la technique utilisée pour construire des activités pédagogiques [20].

Plus de la moitié des participants (5/8) **évitent de partir de zéro** et créent leurs scripts à partir de plans de cours, et morceaux de cours, trouvés en ligne, dans des manuels officiels ou à partir de scripts créés les années précédentes. P6, une enseignante d'allemand, nous a montré un plan qu'elle réutilisera : *"Cette année, j'utiliserai le même, mais je pourrais changer les choses en fonction des apprenants"*. P2, un enseignant de physique, nous a montré un dossier où il conserve des exemples de scripts de deux collègues en qui il a confiance. P7, un enseignant d'informatique, nous a montré *Pysequence*, un outil basé sur python qu'il a créé, avec d'autres enseignants d'informatique, pour créer des scripts basés sur du contenu existant. Ces pratiques nous montrent que les enseignants essaient, dans la mesure du possible, de commencer sur des bases existantes, afin de gagner du temps lors du scripting d'activités pédagogiques, mais aussi dans le but de s'inspirer de scripts qu'ils savent ou pensent fonctionnels.

Presque tous les participants ont donné des exemples dans lesquels ils **intègrent et anticipent des contraintes avant la séance**, et dans lesquels ils précisent les autres éléments du scénario (activités, ressources, participants, rôles) en classe. Par exemple, P1, un enseignant de français, a conçu une activité où les apprenants devaient écrire ensemble un scénario de film. Il a tout d'abord défini une contrainte : toutes les activités du scénario doivent se réaliser au sein de l'école. Il a ensuite décidé, avec les apprenants de la classe, des outils, des ressources et de l'organisation de cette activité de groupe. Le fait de définir les contraintes avant le cours confirme l'importance de prendre en compte les contraintes telles que définies par Dillenbourg [29].

Lorsque les enseignants créent un script, ils peuvent le créer pour eux-mêmes, ou bien le créer pour les apprenants (6 enseignants sur 8). Dans le premier cas, les scripts sont utilisés pour guider l'activité et avoir une trame à suivre pendant le cours. Dans le second cas, les enseignants créent des **scripts interactifs** que les apprenants peuvent utiliser pendant le cours. Ces scripts fournissent un contenu interactif à l'étudiant, qui peut y accéder pendant la séance ou à son domicile et interagir de manière autonome avec le script. P5, une enseignante d'anglais, a expliqué que la création de ces scripts prenait plus de temps. Par exemple, elle a montré une vidéo qu'elle a découpée en plusieurs sections avec *EdPuzzle*, un outil numérique d'enseignement. Puis elle a ajouté des questions a chaque section : *"La vidéo s'arrête et pose des questions"*(P5). Les apprenants peuvent lire chaque section aussi souvent qu'ils le souhaitent. Grâce à son compte d'enseignante, elle a pu voir les sections de la vidéo les plus jouées et identifier les concepts sur lesquels les apprenants ont eu le plus de difficultés (vidéos les plus jouées).

3.3.2 *Conduite des activités pédagogiques*

Nos entretiens nous ont permis d'identifier deux pratiques autour de la conduite d'activités pédagogiques : (1) elle ne respecte pas entièrement la structure des scripts prévus en amont, (2) les adaptations sont réalisées en début ou en cours de séances en fonction des éléments de contexte.

Lorsqu'ils mettent en œuvre des scripts, les enseignants peuvent les donner aux apprenants ou non. Dans 1/4 des histoires (fig.16.a), les apprenants ont suivi directement le plan préparé par l'enseignant de façon autonome. Dans ces cas, les enseignants ont laissé les apprenants exécuter le plan et leur ont fourni des commentaires afin de les aider si besoin. Certains enseignants (1/3) ont également créé des scripts numériques et les ont imprimés afin que les apprenants puissent en avoir une version papier pour les mettre en œuvre en classe.

La moitié des enseignants ont déjà **créé plusieurs scripts pour une séance**, et ont choisi en début de séance quel plan ils allaient utiliser. Le fait de préparer plusieurs scripts permet de choisir celui qui correspond le plus aux contraintes pouvant survenir en début de cours, comme par exemple l'impossibilité d'allumer les ordinateurs d'une salle informatique. Les enseignants créent donc un plan nominal et un ensemble de scripts de secours, utilisables dans les cas où le déroulement du plan nominal ne peut pas s'effectuer.

Dans certains cours (1/4), les enseignants n'ont pas créé de représentations de leurs activités avant la séance (tableau 3). Dans ces cas, les enseignants construisent mentalement le plan qu'ils vont suivre, en s'adaptant à la progression des apprenants. Lorsqu'ils construisent en temps réel leur activité, les enseignants se basent sur des routines. Ainsi, bien qu'il n'y ait pas de plan représentant la séance, les apprenants et les enseignants ont une idée de ce qui va se passer durant celle-ci.

Ces routines sont partagées entre les séances. Tant les enseignants que les apprenants sont conscients de ces routines. Par exemple, P4, un enseignant de physique, commence toujours le cours par des questions, puis poursuit avec une courte expérience et une autre série de questions. Dans ce cas, la structure des séances est implicite. P4 ne crée pas une représentation explicite du plan avant la classe, mais il nous a indiqué que lui et ses apprenants savent comment la séance va se dérouler.

Enfin, les enseignants **adaptent leurs scénarios pendant la séance** selon la réaction, et les événements qu'ils n'ont pas anticipés lors de la préparation de l'activité. Les enseignants peuvent être vus comme des praticiens réflexifs [97]. En effet, ils adaptent leurs activités en fonction de leurs pratiques et expériences précédentes pour résoudre les problèmes survenant en classe. Au cours de la séance, l'action

TABLE 3 – Types d'outils utilisés par les enseignants pour réaliser les activités pédagogiques en classe (pourcentages arrondis)

Type de plan	Outil enseignant			
	Pas d'outil (%)	Numérique (%)	Physique (%)	**Total (%)**
Pas de plan	2	1	9	**23**
Digital	26	36	11	**74**
Physique	2	0	2	**4**

et la réflexion se complètent. Les enseignants évaluent le contexte et adaptent le scénario en conséquence. C'est pourquoi presque tous les participants (6 sur 8) ont édité le plan pendant la séance.

3.3.3 *Outils utilisés pour le scripting et la conduite d'activité*

Lorsqu'ils scriptent et mènent leurs activités pédagogiques, les enseignants peuvent utiliser des outils numériques ou des outils physiques.

Nous remarquons que les enseignants ont utilisé des outils numériques (fig.16.c) pour planifier leurs séances dans près de 3/4 des situations décrites, qu'ils aient utilisé les outils numériques pour réaliser l'activité en classe (36 %) ou non (26 % + 12 %). Ils ont également créé des plans numériques dans des séances où ils n'ont pas demandé aux apprenants d'utiliser des outils numériques (32 %).

Dans plus d'un tiers des histoires (36%), les enseignants ont créé un plan directement avec un outil numérique, et ont ensuite utilisé le même outil pour mener leur séance. Par exemple, P5, un enseignant d'anglais, a planifié une séance dans h5p [1], un outil d'enseignement en ligne pour la création de contenu interactif. P5 et ses apprenants ont utilisé le même outil pour mener l'activité en classe.

Dans certains cas, lorsqu'ils ont utilisé un outil numérique pour créer le plan et qu'il était accessible pendant la séance, les enseignants ont édité leur plan directement avec l'outil, afin de se garder une trace de la progression. Par exemple, P4, un enseignant de physique a dé-

1. www.h5p.org

TABLE 4 – Types d'outils utilisés par les apprenants pour réaliser les activités pédagogiques en classe (pourcentages arrondis)

Type de plan	Outil apprenant			
	Pas d'outil	Numérique	Physique	**Total**
Pas de plan	0	13,2	9,4	**23**
Digital	0	42	32	**74**
Physique	0	0	4	**4**

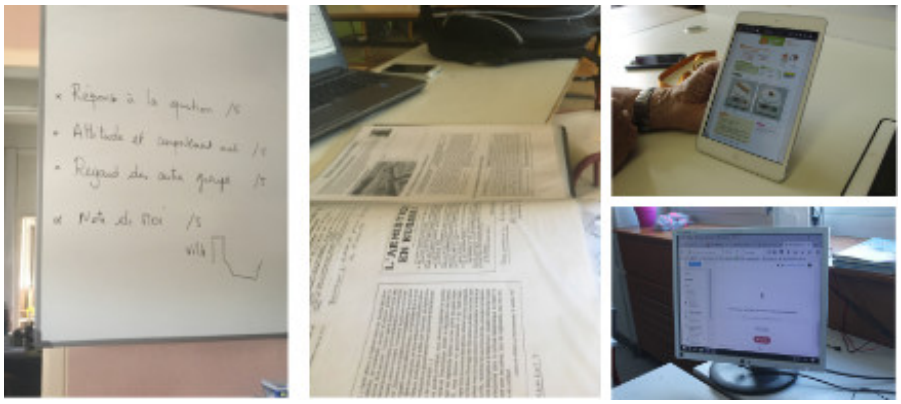


FIGURE 16 – Exemples de plans réalisés par les enseignants. a. plan partagé avec les apprenants, b. plan sur dispositif physique, c. plan sur dispositif numérique

claré : *"Je fais des modifications pendant la séance, directement sur le système. Nous avons terminé l'expérience, les questions et les exercices. Dans le plan original, je m'attendais à ce que nous nous arrêtions aux questions"* (P4). Dans d'autres cas, les participants ont fait preuve d'une pratique réflexive et ont ajusté le plan après la séance pour une utilisation ultérieure. Ensuite, ils ont intégré les modifications apportées sur papier à la version numérique du plan après la séance. Par exemple, P3, un enseignant d'histoire, a expliqué comment il prenait des notes sur son "plan de travail" imprimé en classe. Puis, le soir, il a revu ses notes et a modifié le plan en ligne.

3.3.4 *Frictions et points forts lors de la mise en œuvre d'activités*

Pour comprendre si la planification aide les enseignants à conduire leurs activités, nous avons extrait des histoires des participants les phrases relatives à la satisfaction qu'ils avaient à propos de séance qu'ils ont décrite et avons mis en correspondance ces phrases avec les outils qu'ils ont utilisés pour planifier cette séance spécifique (tableau 5). Les points frictions dans les histoires des participants sont liés au temps, à l'espace, et aux ressources :

- Les problèmes de **temps** se définissent par la différence entre le temps prévu et le temps nécessaire qu'il a fallu à l'enseignant pour diriger la séance (manque de temps).
- Les problèmes de **physicalité** [22] (configuration spatiale) concernent les situations où les enseignants doivent être mobiles en classe.
- Les problèmes de **ressources** sont relatifs au transfert et à la distribution de contenu. Par exemple, l'accès aux plans que les enseignants ont créés à la maison sur l'ordinateur de l'école, la gestion des versions de logiciels et la distribution de contenus sur plusieurs dispositifs.

TABLE 5 – Satisfaction des enseignants quant à leurs stratégies de mise en œuvre par type de scripts (Pourcentages arrondis)

Type de script	Ressources		Temps		Espace	
	(–)	(+)	(–)	(+)	(–)	(+)
Pas de plan	4	19	6	17	2	21
Numérique	19	55	21	53	4	70
Papier	0	4	0	4	0	4
Total	**23**	**77**	**26,4**	**74**	**6**	**94**

Afin d'identifier si les enseignants ont réussi à conduire leur séance avec les outils qu'ils avaient prévu d'utiliser, nous avons identifié les histoires où des césures dans l'activité se sont produites et les avons mises en correspondance avec les outils que les enseignants et les étudiants ont utilisés pendant la séance(table 6).

3.3.4.1 *Points forts de la mise en œuvre*

Dans la majorité des cas (plus de 70 %), les enseignants étaient satisfaits de leurs stratégies de mise en œuvre. Ils étaient satisfaits de leurs stratégies de gestion des ressources (77 %), du temps (74 %) et de l'espace (94 %) (tableau 5).

Dans de nombreux cas (plus de 50 %), les personnes interrogées ont choisi de planifier leurs séances avec des outils numériques (tableau 5).

L'utilisation de routines et de structures communes de scripts réutilisées sur différentes activités est efficace pour les enseignants, car elles permettent de réutiliser des éléments qui ont déjà fonctionné. Dans nos entretiens, les enseignants ont donné divers exemples de routines et structures qu'ils ont réutilisés pour mener plusieurs activités pédagogiques.

La modification du plan en temps réel, à l'oral, et la co-construction de celui-ci avec les apprenants est aussi un point fort de la mise en œuvre des activités. Les enseignants donnent des instructions en direct et recréent le contenu avec les apprenants en classe. Le but est de maintenir l'interaction et l'implication des apprenants pendant la séance. Par exemple, P8, un enseignant de biologie, fournit aux apprenants un "plan de séance", avec la structure des activités qu'ils mènent en classe. Les apprenants remplissent et complètent le plan avec les réponses aux questions de P8 pendant la séance.

La mise en œuvre de scripts en classe exige que les enseignants tiennent compte des éventuels points de blocage. Ils doivent être capables d'ajuster leurs scripts en direct, d'utiliser des outils alternatifs et de modifier les instructions et le contenu en fonction des événements inattendus au cours de la séance.

3.3.4.2 *Frictions dans la mise en œuvre de scripts :*

Les entretiens avec les enseignants nous permettent d'identifier différents types de points de rupture dans l'exécution des scripts qu'ils ont créés avant la classe (tableau 7). La plupart des ruptures dans la mise en œuvre de la séance sont liées au temps (26,4% des histoires) et aux ressources (22,6%) (tableau 5). Dans plus de la moitié des cas (54,7%), les enseignants n'ont pas réussi à mener leurs séances comme prévu (tableau 6). Les ruptures sont plus fréquentes (35,8%) lorsque les enseignants planifient et conduisent la séance avec des outils numériques (tableau 6).

Les ruptures relatives au contenu et aux instructions surviennent lorsque les enseignants ne peuvent pas résoudre directement des événements inattendus en classe. Par exemple, P3, un enseignant d'histoire, a chargé un groupe de travailler à la rédaction d'une biographie mais il s'est rendu compte que les apprenants écrivaient une biographie textuelle complète. Il a alors ajusté les instructions pour demander les dates de naissance et de décès, ainsi que les événements majeurs de la vie du personnage. De même, P5, un enseignant d'anglais, a créé une activité autour d'une vidéo de Martin Luther King. Bien qu'elle ait conçu l'activité de manière à ce que les apprenants puissent la contrôler eux-mêmes, elle a dû s'arrêter en classe après chaque section de la vidéo : *"Ce contenu vidéo est trop difficile, je veux expliquer les mots au fur et à mesure. (P5)"*.

Plus de la moitié des participants ont donné des exemples de problèmes matériels. Dans ces cas-là, les scripts des enseignants n'étaient plus utilisables lorsqu'ils ont utilisé d'autres dispositifs. Ils sont également liés à l'accès au contenu à partir de différents endroits et de différents dispositifs. Par exemple, P2, un enseignant de physique, a reproduit ses plans sur un drive et sur une clé USB, afin d'éviter de les perdre lorsqu'il les déplaçait sur un autre dispositif que l'ordi-

TABLE 6 – Points forts et points faibles en fonction du type d'outil (pourcentages arrondis)

		Outil apprenant		
	Outil enseignant	Numérique	Physique	**Total**
Points faibles	Pas d'outils	4	4	7
	Numérique	36	2	38
	Physique	0	9	9
	Sous-total	**40**	**15**	**55**
Points forts	Pas d'outils	6	17	23
	Numérique	9	0	9
	Physique	0	13	13
	Sous-total	**15**	**30**	**45**

TABLE 7 – Nombre d'histoires et participants par types de points de rupture

Point de rupture	Histoires	Participants
Logiciel	16	7
Matériel et réseau	10	6
Contenu et instructions	3	2

nateur de la classe. Plusieurs enseignants ont également signalé des pannes de matériel liées au partage de dispositifs entre apprenants ou groupes d'apprenants. Par exemple, P1, un enseignant de français, a utilisé une tablette personnelle pour une activité où des groupes d'étudiants ont créé un film. En classe, P1 devait s'assurer que tous les groupes avaient accès à la tablette lorsqu'ils voulaient commencer à filmer, ce qui pose des questions d'organisation pour l'accès à une ressource partagée.

Les problèmes logiciels sont les problèmes les plus fréquents dans les histoires des participants. Presque tous les participants ont donné des exemples de moments précis de la séance où ils n'ont pas réussi à mettre en œuvre leurs plans en raison de problèmes logiciels. Par exemple, P8, un enseignant de biologie, n'a pas pu accéder à ses scripts ni les modifier en classe, car une version obsolète du logiciel de traitement de texte était installée sur l'ordinateur de la salle de classe.

Tous les enseignants, y compris les enseignants qui utilisent moins souvent les outils logiciels, font face à des problèmes logiciels.

Pour résoudre les problèmes logiciels, P5, un enseignant d'anglais, nous a présenté quatre alternatives différentes pour planifier une même activité avec des vidéos interactives. Dans une activité, elle a utilisé Edpuzzle [2], un logiciel éducatif qui permet d'annoter les vidéos, de couper des sections de vidéo et d'ajouter des questions. *"Le problème avec Edpuzzle : Les étudiants doivent ouvrir une nouvelle fenêtre, ils doivent quitter moodle [3] (la plate-forme éducative utilisée dans son établissement)"* (P5). Dans une activité similaire, P5 a utilisé h5p, un autre outil interactif pour les enseignants. Bien que h5p soit un plugin de moodle, elle avait besoin de passer du temps en classe pour expliquer aux apprenants comment accéder aux différentes parties de la vidéo et comment ils pouvaient utiliser les codes qu'elle avait générés à l'avance. Une troisième option qu'elle a utilisée pour ce type d'activités consistait à couper la vidéo avec MovieMaker, et à ajouter les questions sur un document MS Word. Elle lisait la partie de la vidéo et posait ensuite les questions. La quatrième option qu'elle a présentée consistait à préparer les questions avant la séance, en se basant sur le contenu de la vidéo.

2. https ://edpuzzle.com/
3. https ://moodle.org/

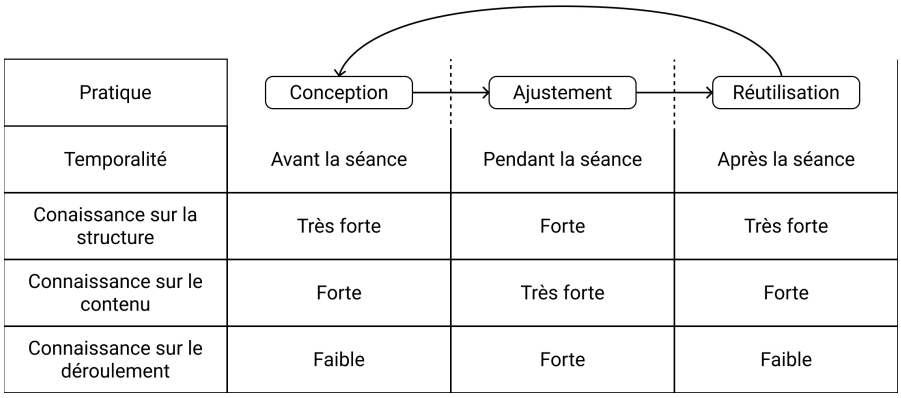


FIGURE 17 – Cycle de vie d'une activité pédagogique et les connaissances présentes dans les différentes étapes

Une telle approche, consistant à une activité avec de nombreux outils, est chronophage pour les enseignants, et montre qu'ils sont souvent obligés d'avancer à l'aveugle quant aux logiciels qu'ils utilisent.

3.4 DISCUSSION

3.4.1 *Concevoir, ajuster, réutiliser*

Pour synthétiser nos résultats, nous proposons de découper le cycle de vie d'une activité pédagogique en trois phases distinctes (fig.17) : la **conception** en amont de la séance, l'**ajustement** pendant la séance, et la **réutilisation** de l'activité pour de futures séances.

Lors de la phase de la **conception**, les enseignants ont a priori une connaissance très forte de la structuration, c'est-à-dire le déroulement prévu de la séance, qu'ils vont utiliser pendant leur cours. En effet, ils sont en train de créer le plan d'activités pédagogiques. La connaissance sur le contenu à utiliser pendant la séance est forte. Les enseignants savent de quoi ils vont parler et disposent d'un ensemble de contenus potentiellement utilisables. Cependant, ils ne spécifient pas forcément quels contenus ils vont utiliser. Ceci leur permet de se laisser une marge de manœuvre en ayant du contenu de secours lors de la conduite d'activité en classe. De plus, dans les cas où le contenu est construit avec les apprenants en classe, par exemple lors de recherche d'information par les apprenants, les enseignants ne savent pas à l'avance quel sera le contenu exact utilisé dans la séance. Enfin, durant la conception de l'activité pédagogique, les enseignants ne disposent d'aucune information sur le déroulement effectif en classe. Ils doivent donc préparer au mieux l'imprévu en prévoyant des plans de secours sur les points inattendus les plus fréquents (par exemple en imprimant une version papier du plan numérique, si les outils utilisés en classe sont souvent en panne).

Une fois que la phase de conception est terminée, les enseignants peuvent mettre en œuvre leur activité en classe. À ce moment, il est souvent nécessaire d'**adapter** le plan par rapport aux imprévus. Lors de cette phase, les enseignants ont moins de connaissances sur la structure à suivre que lors de la conception. En effet, tous les enseignants ne gardent pas leurs scripts d'activités pendant la séance, et même pour les enseignants qui ont accès au plan pendant la séance, par exemple en l'ayant imprimé ou inscrit sur le tableau, l'activité d'enseignement ne leur laisse que peu de temps pour vérifier souvent leur progression par rapport au script. À ce manque possible de connaissances à propos de la structure s'ajoutent des évènements imprévus. Les enseignants ont alors une connaissance forte sur le déroulé de la séance étant donné qu'ils sont en train de réaliser le cours. De la même manière, les enseignants ont, pendant la séance, une très forte connaissance sur les ressources qu'ils sont en train d'utiliser. Cette connaissance sur les ressources, associée à la connaissance sur le déroulement, leur permet de s'adapter en temps réel aux imprévus. Ces adaptations sont des modifications du plan initial. Elles peuvent principalement prendre deux formes : 1. adaptation de la structure du script, par exemple en permutant deux parties de l'activité, 2. adaptation du contenu et/ou de sa présentation, par exemple en utilisant du contenu papier à la place de contenu numérique.

Une fois la séance terminée, les enseignants conservent leurs scripts et les retravaillent afin de les **réutiliser** dans le futur. Cette reconception de l'activité peut être vue comme une continuité au primo et runtime scripting [106], en étant une phase de scripting post-session. Les raisons amenant les enseignants à vouloir adapter leurs scripts d'activités sont nombreuses et similaires à celles identifiées par Mackay [75] à propos de la personnalisation de logiciels : les programmes peuvent changer d'une année sur l'autre (éléments extérieurs), d'autres enseignants ou des apprenants peuvent demander une adaptation (pression sociale), les ENT et outils utilisés par les enseignants peuvent évoluer (changements logiciels) et les enseignants peuvent avoir de nouvelles idées pour améliorer leurs activités (facteurs internes). Lors de cette phase, les enseignants ont à nouveau une très forte connaissance sur la structure (ils ont accès au script) et une connaissance assez forte sur le contenu qu'ils ont utilisé. Cependant, leur connaissance sur le déroulement de l'activité passée est à nouveau faible. En effet, ils doivent retravailler le plan alors qu'ils n'ont plus accès aux informations sur le déroulement de ceux-ci en classe. Lors de la séance, les enseignants ont peu de temps pour prendre des notes sur des éléments de contextes, et doivent se débrouiller par leurs propres moyens pour le faire, par exemple en prenant des notes sur une version imprimée du plan. S'ils n'ont pas pris de notes sur les éléments de contexte, ils doivent alors se servir de leur mémoire pour se rap-

peler du déroulement du cours, ce qui implique de retravailler son cours peu de temps après l'avoir réalisé.

3.4.2 *Implications de l'étude pour la conception d'outils pédagogiques*

Les outils pédagogiques doivent tenir compte des défis auxquels les enseignants font face lorsqu'ils passent des plans à l'action. Pour ceci, nous proposons des lignes de conception d'outils pédagogiques pour appuyer cette transition.

3.4.2.1 *Capturer l'activité pédagogique en classe*

Les enseignants utilisent des outils numériques pour garder des traces de l'activité une fois finie. Bien qu'ils réussissent à garder une trace de la structure et du contenu qu'ils ont suivis, ils ont du mal à garder une trace des changements qu'ils ont apportés au plan et de la façon dont ils ont réagi aux événements imprévus. Pourtant, avoir ces traces pourrait aider les enseignants à mieux s'adapter à un groupe d'apprenants, une classe ou un contenu particulier. Ces traces pourraient également aider les enseignants à réfléchir à leurs pratiques et à améliorer leurs cours pour les années à venir.

Les outils de planification et de mise en œuvre des activités pédagogiques devraient donc permettre de saisir le contenu et les instructions au fur et à mesure qu'ils sont mis en œuvre en classe. En effet, la plupart des enseignants interrogés ont ajouté du contenu et des instructions, et ont modifié leur activité peu après la séance. Par exemple, P3, un enseignant d'histoire, a mentionné : *"Je prends des notes sur une feuille de papier. Ensuite, je modifie mon plan le soir. Je fais ça le jour même."*

Cette capture de traces peut prendre différentes formes. Tout d'abord, les enseignants peuvent prendre des photos, enregistrer du son ou marquer les moments importants pendant la séance. La capture des traces peut aussi se produire de façon implicite, lorsque l'enseignant ou les apprenants changent le plan en classe. Finalement, après la séance, l'enseignant peut comparer la séance planifiée à ce qui s'est réellement passé en classe et ainsi améliorer le plan pour les séances futures.

3.4.2.2 *Externaliser et partager les plans*

Tous les enseignants que nous avons interviewés ont partagé leurs plans (quand ils en avaient) avec les apprenants en début de leurs cours. Tandis que l'enseignant et les apprenants utilisent de nombreuses ressources et activités en classe, ils reviennent régulièrement au plan, afin de suivre leur progression et pour réguler leurs progrès. Les enseignants ont besoin d'une représentation du plan d'où ils peuvent pointer vers d'autres contenus, questions et instructions

pour leurs apprenants. Avec une telle représentation, le plan n'est plus juste une préparation de la séance à dérouler, mais devient un canal partagé de communication entre l'enseignant et les apprenants. Tous deux créent, modifient et complètent le plan au fur et à mesure du déroulement de la séance.

3.4.2.3 *Permettre des interactions multi-dispositif plus riches*

Plusieurs moments bloquants se sont produits lorsque les enseignants ont déplacé des fichiers d'un dispositif à l'autre. Ces blocages entraînent des pertes de contenu ou une perte de temps. La multiplicité des applications et des dispositifs dans les pratiques des enseignants soulève des problèmes d'interopérabilité que les outils de planification et de mise en œuvre d'activités pédagogiques devraient aborder. Ils doivent aider les enseignants à organiser les ressources à l'étape de la planification et relier ces ressources au plan à mesure qu'il est mis en œuvre.

De plus, plusieurs enseignants ont souligné les problèmes liés à l'espace de stockage limité et à la vitesse du réseau. Ces problèmes matériels ne peuvent pas être mis de côté et il nous semble important, plutôt que d'attendre une hypothétique amélioration sur la dotation des établissements et la fiabilité du réseau, de concevoir les outils de planification et de mise en œuvre d'activités pédagogiques en fonction des contraintes matérielles et d'infrastructure.

3.5 IMPLICATIONS GLOBALES POUR LA CONCEPTION D'OUTILS PÉDAGOGIQUES

3.5.1 *Bilan global*

Nous n'avons pas cherché ici à fournir une description globale des pratiques variées des enseignants en matière de planification et de mise en œuvre. Nous avons cherché à identifier un ensemble de points bloquants et des recommandations de conception. Nous avons constaté que, dans la phase de conception, certains enseignants créent des plans que les apprenants peuvent directement mettre en œuvre. Cependant, d'autres enseignants optent pour des approches plus légères et définissent simplement le contenu de l'activité, ou sa structure, et parfois les deux, avec les apprenants en classe. Dans la pratique, peu de plans numériques peuvent être gérés de manière autonome par les apprenants.

Afin de reconcevoir leur activité, la plupart des enseignants ont utilisé des outils numériques pour garder une trace de leurs plans et améliorer leurs stratégies de mise en œuvre.

Une première catégorie de problèmes que nous avons identifiés est liée à des questions de temps, avec de grands écarts entre le temps prévu dans le plan et le temps réel pour mettre en œuvre les diffé-

rentes étapes de la séance. Les activités numériques sont moins malléables et plus difficiles à ajuster à la volée que des activités "classiques".

Les problèmes liés aux logiciels sont les points de rupture les plus récurrents dans les récits des participants. La plupart (7 sur 8) des enseignants de l'étude ont rencontré des problèmes logiciel qui les ont empêchés de mener à bien leurs plans initiaux dans les séances qu'ils ont décrites. Les problèmes de réseau et de matériel sont également récurrents, et ont souvent créé des problèmes de transfert de documents entre différents dispositifs. Les problèmes de partage comprennent l'accès aux plans que les enseignants ont créés à la maison ou sur l'ordinateur de l'école, la gestion des versions logicielles, et la distribution de contenu sur plusieurs dispositifs.

Nous constatons que les enseignants créent des stratégies pour contourner ces problèmes. Par exemple, ils incluent des versions allégées du contenu qu'ils souhaitent utiliser dans les plans qu'ils distribuent aux apprenants, au cas où ces derniers n'auraient pas accès à la version complète en ligne. Ils s'assurent également que le contenu est accessible en classe, tout en essayant de le rendre accessible uniquement au moment approprié.

D'un point de vue technologique, nous observons une grande diversité dans les équipements mis à la disposition des enseignants et des apprenants. Certaines écoles disposent d'une ou deux salles/laboratoires informatiques, d'autres de chariots de tablettes, tandis que d'autres possèdent une tablette par apprenant ; les tableaux blancs numériques sont soit mobiles, soit reliés à des ordinateurs statiques. Dans les écoles où l'accès aux ordinateurs ou aux tablettes est limité, c'est-à-dire où il n'y a pas un ordinateur par apprenant, la réalisation d'activités numériques implique des efforts logistiques supplémentaires : réserver des salles ou des dispositifs, s'assurer que des logiciels sont installés ou que des sites web soient accessibles depuis l'école. Ces disparités peuvent s'expliquer par les politiques locales et par le fait que les acteurs éducatifs (personnel enseignant ou administratif) se portent volontaires pour gérer les aspects techniques et administratifs des infrastructures et des dispositifs.

Toutefois, le constat le plus frappant concerne la connectivité. Si le réseau câblé est fiable, il peut être lent lorsque plusieurs classes sont connectées. De plus, la couverture du réseau sans fil n'était pas fiable dans toutes les écoles observées, ce qui empêchait l'utilisation des tablettes en classe, même dans les écoles bien financées.

Sur la base des entretiens et des observations techniques en classe, nous pouvons dégager deux axes de travail lors de la conception d'outils numériques pour les classes. Le premier axe est lié aux aspects techniques des outils. Le second axe de travail est lié à la manière dont les activités sont préparées et conduites en classe.

3.6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans ce chapitre, nous avons examiné les moyens que les enseignants mettent en œuvre afin de gérer la transition entre les plans qu'ils préparent avant la classe et l'activité qui se déroule en classe avec les apprenants. Nous nous sommes principalement concentrés sur l'utilisation des outils existants et sur la manière dont ces pratiques peuvent inspirer la conception de nouveaux outils pour aider les enseignants à passer des plans à l'action.

Nous avons mené des entretiens contextuels avec des enseignants de collège et de lycée, et nous avons constaté que la plupart des plans sont créés à l'aide d'outils numériques. Nous avons identifié les éléments bloquants et favorisant les pratiques actuelles des enseignants avant et pendant la séance.

Nous avons constaté que la plupart des points de rupture se produisaient lorsque les enseignants utilisaient des outils numériques pendant la séance. Ce sont les évènements inattendus en classe qui rendent la transition des plans à l'action complexe pour les enseignants. Par exemple, les problèmes de réseau et de matériel étaient récurrents dans les récits des participants, et ont souvent créé des soucis de transfert de documents entre différents dispositifs.

Nous avons constaté que les enseignants créent des stratégies de secours lors de la planification pour contourner ces problèmes. Par exemple, ils incluent dans leurs plans des versions allégées du contenu qu'ils souhaitent utiliser. Ils s'assurent aussi que le contenu est accessible en classe, tout en le positionnant correctement dans la structure de la séance.

Nous avons examiné les points de rupture. Nous avons également analysé les situations dans lesquelles les enseignants ont réussi à mettre en œuvre leurs plans, et comment leurs stratégies dans ces situations peuvent inspirer la conception de nouveaux outils pour les aider dans la transition entre les plans pédagogiques et l'action. Ceci en tenant compte des défis auxquels les enseignants font face lorsqu'ils passent des plans à l'action, afin de leur proposer des systèmes qui correspondent à leurs pratiques et besoins.

Il est nécessaire de prendre en compte les aspects techniques et la façon dont les enseignants préparent et mettent en œuvre leurs activités lors de la conception d'outil de création et conduite d'activités pédagogiques.

3.7 SYNTHÈSE

Les contributions de ce chapitre sont :

- L'analyse des pratiques des enseignants montre que la plupart utilisent des **outils différents** pour la création et la conduite d'activités pédagogiques.
- L'identification de problèmes **logiciels** et **matériels** lors de la conduite d'activités en classe.
- L'identification de stratégies afin de **contourner les problèmes** identifiés.

4

TOCCATA : ORCHESTRATION D'ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES ET ACTIVITY BASED COMPUTING

Articles liés : *Toccata : Supporting Classroom Orchestration with Activity Based Computing [65] ;*
Toccata : an Activity Centric Orchestration System for Education [66]
Collaboratrice : *Ghita Jalal*

Ce chapitre présente Toccata, un système permettant la création et la mise en œuvre d'activités pédagogiques numériques et multi-dispositif. Grâce aux entretiens présentés dans le chapitre précédent et des données montrant les fortes disparités dans les infrastructures présentées dans l'introduction, nous avons identifié un ensemble d'obstacles à la conduite d'activités numériques dans les écoles : temps de mise en place, problèmes de réseau, difficultés à suivre et à modifier les plans au fur et à mesure des activités.
Nous avons conçu et développé Toccata pour permettre la planification des activités pédagogiques (scripting), le partage du contenu et la collaboration entre les participants et les dispositifs, la gestion en direct des activités en classe, le support de l'itinérance pour les situations en dehors des salles de classe, la reprise entre les sessions et la résilience aux réseaux instables.
Nous avons déployé Toccata dans trois classes, sur sept sessions d'enseignement, impliquant un total de 69 apprenants. Ces déploiements montrent que Toccata permet la gestion des activités multi-dispositif dans les établissements scolaires.
Nous apportons aussi une réflexion sur la manière dont les principes de lABC permettent l'orchestration dans Toccata, et discutons des nouvelles possibilités de conception qu'elle créée, comme une meilleure awareness sur l'activité des apprenants, des techniques d'interactions pour permettre aux enseignants de mieux gérer les dispositifs dans les classes, ou encore pour permettre des pratiques réflexives.

4.1 APERÇU GÉNÉRAL ET OBJECTIFS

Nous avons vu que les enseignants ont à disposition un écosystème de dispositifs pour mener leurs activités pédagogiques : tableaux blancs interactifs, ordinateurs, tablettes ou smartphones. Ils peuvent combiner ces dispositifs dans une même activité. Par exemple pour

un cas d'étude dans un lycée professionnel que nous présentons dans ce chapitre, un cours d'horticulture peut commencer en classe par un exposé sur un tableau blanc interactif, se poursuivre dans la serre de l'école, avec un travail individuel sur des tablettes pour inventorier les plantes, et se terminer dans la classe par une présentation du travail de groupe. De plus, les apprenants peuvent effectuer des activités de suivi et des devoirs en dehors de l'école sur leurs dispositifs personnels.

La planification d'activités numériques est lourde, et les enseignants doivent relever de nombreux défis pour intégrer les dispositifs dans une expérience d'enseignement fluide : la préparation d'une séance exige du temps, la distribution du contenu aux apprenants est complexe et il est difficile d'adapter les plans à l'activité au fur et à mesure qu'elle se déroule, en plus des problèmes de gestion du réseau et des dispositifs.

Plusieurs projets d'Ubicomp ont démontré la capacité à mener des activités numériques sur de nombreux dispositifs en classes [16, 59, 78]. Cependant, ces activités sont souvent codées par des experts par avance dans le système. Ce qui laisse peu de place aux enseignants pour créer leurs propres activités et les mener dans la situation de leur choix. Bien que la communauté CSCL ait proposé plusieurs systèmes permettant aux enseignants de planifier, de mener et de suivre des activités pédagogiques [29, 30, 72, 95], ces activités se déroulent souvent dans des environnements contrôlés, en négligeant les problèmes d'infrastructure du monde réel.

Avec Toccata, nous avons développé une approche générique permettant d'offrir une expérience d'enseignement et d'apprentissage fluide dans des environnements multi-dispositifs. Toccata s'appuie sur deux cadres conceptuels : l'Orchestration, un cadre centré sur l'éducation et axé sur la gestion de classe pour les enseignants [29] ; et l'ABC [10], un ensemble de principes techniques fondés sur la théorie de l'activité [83] pour faciliter les activités numériques individuelles et collaboratives.

Nous proposons une approche centrée activité pour les différentes actions de gestion d'activité : le primo-scripting (avant la classe) et le run-time scripting (pendant la classe), la distribution de l'activité, la gestion en direct des activités en classe, l'itinérance pour les activités en dehors des salles de classe, la reprise des activités entre les sessions et la résilience aux conditions instables du réseau.

4.2 RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION

À partir des axes de travail pour la conception d'outils numériques identifiés en conclusion du chapitre 3, nous avons dégagé des recommandations pour la conception de tels outils.

La première série de recommandations porte sur les aspects techniques :

D1 - FONCTIONNER SUR N'IMPORTE QUEL DISPOSITIF. En raison de la disparité des dispositifs disponibles dans les écoles, les enseignants doivent pouvoir réaliser des activités sur des ordinateurs, des tablettes ou d'autres dispositifs, avec des résolutions différentes et des modalités d'interaction variées, c'est-à-dire adaptées à la plupart des écoles. Le temps de mise en place, l'administration technique et la complexité de gestion des outils doivent être aussi limités que possible.

D2 - GÉRER LA MOBILITÉ. Les activités peuvent se dérouler dans des contextes mobiles (par exemple, commencer dans la classe et finir en dehors de la classe). Ainsi, les enseignants et les apprenants doivent pouvoir se déplacer librement si l'activité l'exige et changer de lieu au cours d'une activité.

D3 - ÊTRE RÉSILIENT AUX PROBLÈMES DE RÉSEAUX. En raison de la disparité entre les réseaux scolaires, qui se sont révélés comme peu fiables dans nos observations, il est nécessaire de faire en sorte que les réseaux lents ou peu fiables ne perturbent les activités pédagogiques (par exemple en réduisant la disponibilité des outils en raison de problèmes de réseau).

Le second ensemble de directions est centré autour de la manière dont les activités sont préparées et conduites en classe.

D4 - PERMETTRE LA PLANIFICATION D'ACTIVITÉ. La plupart des enseignants préparent des plans d'activité avant le cours (3.3), que ce soit sur support numérique ou non.

D5 - PERMETTRE UNE DISTRIBUTION FLUIDE DU CONTENU ET DES CHANGEMENTS EN TEMPS RÉEL
Afin de diminuer le temps de mise en place de la classe, qui est un point de rupture dans les séances classiques d'une durée d'une heure, les enseignants doivent pouvoir prévoir la manière dont le contenu doit être partagé avec les apprenants, et être en mesure d'apporter des modifications à l'activité à la volée, en classe.

D6 - CONTINUITÉ ENTRE SÉANCES. Pour les activités se déroulant sur plusieurs séances, afin de réduire le temps de mise en place et simplifier la reprise d'activité, lorsqu'ils reprennent une activité après une pause, les enseignants et les apprenants doivent la retrouver dans l'état où ils l'ont laissée.

D7 - GESTIONS DE RÔLES DIFFÉRENTS. En raison des objectifs différents entre les enseignants et les apprenants au cours d'une activité, il est important de prendre en compte les différences entre leurs rôles : les enseignants doivent pouvoir contrôler l'accès au contenu, tandis que les apprenants doivent pouvoir suivre des instructions.

D8 - PERMETTRE LA RÉUTILISATION D'ACTIVITÉ. Les enseignants doivent pouvoir réutiliser et partager des activités avec eux-mêmes et avec leurs collègues (et utiliser les activités d'autres personnes).

D9 - PERMETTRE LA PRISE DE NOTE ET LA RÉFLEXIVITÉ. Les enseignants doivent pouvoir facilement capturer le déroulement d'une activité au fur et à mesure qu'elle se déroule, et conserver ces informations au sein de l'activité pour les réutiliser par la suite.

4.2.1 *Moyens de mise en œuvre des recommandations*

À partir de ces recommandations de conception, nous nous intéressons à la façon dont deux domaines de recherche, l'informatique ubiquitaire et l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur, peuvent être intégrés pour permettre la mise en œuvre d'activités pédagogiques via l'informatique centrée activité et l'orchestration.

Des systèmes d'ABC, nous retenons les principes de **roaming** et d'**adaptation** : les activités peuvent se dérouler et être transférées de manière transparente sur les dispositifs, tout en conservant leurs propriétés interactives (D1). Les activités doivent aussi être transférées entre les différents lieux et participants (D2). Dans le cas de l'ABC, l'itinérance couvre également les aspects de résilience, qui sont généralement traités par des architectures distribuées, le plus souvent de pair à pair (P2P) (D3). Les principes de **mise en pause et reprise** d'activité sont souvent associés à l'itinérance et à la mobilité : l'activité peut être commencée en classe, et terminée à la maison ou à la bibliothèque. Ce principe est aussi pertinent lorsque les activités se déroulent sur plusieurs séances (D6).

Parmi les principes d'orchestration, le **scripting** peut aider à structurer finement les activités de collaboration (D4). Dans les systèmes d'ABC, les rôles des utilisateurs ne sont pas explicitement gérés, ce que le plan permet d'expliciter. Cette différentiation est particulièrement pertinente pour la création de groupes **awareness**. De telles propriétés d'awareness peuvent favoriser la régulation de la classe par les enseignants et l'autorégulation par les apprenants. La prise en compte de la **diversité des rôles et des parties prenantes**, par exemple les enseignants, les apprenants, les parents, le personnel (D7), est un facteur difficile à gérer dans les systèmes d'ABC existants. L'orchestration peut nous aider à prendre en compte ces distinctions et leurs implications.

Dans un contexte d'apprentissage, le **partage** d'activité peut prendre diverses formes qui vont au-delà de ce que les systèmes d'ABC ont offert jusqu'à présent. Dans sa forme la plus simple, le partage consiste pour les enseignants à proposer des activités aux apprenants, d'une manière quelque peu similaire au partage de documents papier (D5). Des formes plus sophistiquées de partage ont lieu entre les appre-

nants qui travaillent ensemble : partage d'activités ou de ressources, ou encore regroupement de travaux. Sur des temporalités plus longues, les enseignants peuvent également partager des activités avec des collègues ou avec leur "futur moi" pour les réutiliser (D8). Ce type de partage est déjà une pratique répandue parmi les enseignants [88], mais n'est pas mis en œuvre dans l'ABC ou dans les systèmes d'orchestration.

La capacité à porter une réflexion sur les activités d'apprentissage est essentielle pour améliorer les pratiques d'enseignement (D9). Les systèmes d'orchestration reconnaissent l'importance des processus de réflexion. En effet, certaines mises en œuvre de l'orchestration tentent de permettre cette réflexion, par exemple en montrant la différence entre ce qui a été scénarisé et ce qui s'est réellement passé [77], ou en montrant des informations sur les séances précédentes afin de planifier les séances futures [60]. Bien que cette question soit discutée dans le cadre de l'ABC [105], elle n'est pas prise en charge par les systèmes actuels.

4.3 FONCTIONNALITÉS NÉCESSAIRES POUR SUPPORTER LES ACTIVITÉS NUMÉRIQUES

Nous avons identifié des recommandations de conception d'outils d'orchestration (4.2) et la façon dont ces recommandations sont implémentées dans les systèmes existants en ABC et orchestration (4.2.1). À partir de ces recommandations et des travaux identifiés dans le chapitre 2, nous avons identifié une liste de fonctionnalités nécessaires pour développer des plateformes supportant des activités numériques sur la durée. Nous présentons ces fonctionnalités en suivant les trois étapes du cycle de vie des activités.

4.3.1 *Conception/Primo-scripting*

Les plateformes proposées aux enseignants doivent leur permettre de réaliser la phase de primo-scripting (D4), en leur laissant choisir la structure de l'activité, ainsi que les ressources et outils utilisés lors de sa réalisation. Lors de cette phase de conception, il est important que les enseignants puissent créer différents types d'activités (en classe/a la maison, sur une séance/sur plusieurs séances, sur ordinateur/sur tablette, etc.), sans que les plateformes n'aient d'a priori sur la structuration de celles-ci.

Les enseignants n'étant pas tous des experts dans l'utilisation d'outil pour scripter leurs activités, nous pensons que les plateformes doivent permettre de créer des activités avec une structuration à minima, afin d'éviter une sur-spécification de celles-ci et permettre une *conception pour tous*.

4.3.2 *Mise en œuvre/Run-time scripting/Ajustement*

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la transition entre une activité préparée et sa mise en œuvre en classe est un point critique pour les enseignants.

La plupart du temps, ils utilisent des outils différents (3.3.3). Pour plus d'efficacité, nous proposons d'utiliser le même outil pour la conception et la mise œuvre des activités en classe. Pour ceci, les plateformes doivent donc être adaptées pour ces deux étapes. Nous allons encore plus loin, en pensant que celles-ci doivent proposer des interfaces et modalités similaires pour la réalisation de ces étapes. Une fonctionnalité de scripting inline, semblable à l'édition inline. Ainsi, le primo scripting d'une activité, sa mise en œuvre et son ajustement en classe (run-time scripting, D5) peuvent s'effectuer avec la même interface, facilitant l'intégration continue de l'activité.

Les contextes de mise en œuvre des activités étant variés, il est nécessaire que les plateformes proposées fonctionnent dans différents contextes, que ce soit via l'adaptation aux dispositifs (D1), en gérant la mobilité (D2), en fonctionnant sur les différentes configurations de réseaux disponibles (D3), ou encore en permettant de réaliser les activités sur une ou plusieurs séances (D6). L'utilisation de technologies issues du web permet de répondre à ces différentes fonctionnalités. En effet, le stockage en ligne des activités permet de les avoir disponibles sur plusieurs dispositifs, le développement d'outils web permet de les déployer sur de nombreux dispositifs et systèmes d'exploitation. Cependant, un travail important doit être apporté pour que des plateformes basées sur des technologies web fonctionnent encore en cas de coupure du réseau.

4.3.3 *Réutilisation de l'activité*

Les activités préparées par les enseignants n'ont en général pas pour vocation d'être utilisées une unique fois. Elles doivent pouvoir être réutilisées, soit par l'enseignant lui-même, soit par d'autres enseignants.

Les plateformes supportant les activités pédagogiques doivent donc permettre cette réutilisation (D8, que ça soit par le partage d'activité avec d'autres, ou par la reconception d'activités déjà réalisées. Nous avons vu dans le chapitre précédent que les enseignants avaient peu d'information de contexte sur ce qu'il s'est passé en classe lorsqu'ils reconçoivent leurs activités (fig.17). Il est donc nécessaire de mettre en place des mécanismes permettant aux enseignants de garder des informations sur le déroulement de l'activité en classe. Une fonctionnalité similaire à leurs pratiques actuelles serait de leur laisser la possibilité de prendre des notes directement sur l'activité pendant sa mise en œuvre en classe.

4.4 TOCCATA

Nous avons développé une plateforme, nommée Toccata, suivant les recommandations de conception identifiées dans le chapitre précédent avec les fonctionnalités identifiées (4.3). Toccata est construit à partir de technologies web, et fonctionne avec ou sans réseau, pour une expérience fluide. L'utilisation de technologies web permet un fonctionnement sur des dispositifs mobiles (tablettes, smartphone), mais aussi l'utilisation d'applications web pré-existantes.

Cette plateforme permet aux enseignants de définir la structure de leurs activités pédagogiques et de les conduire en classe. Les enseignants peuvent distribuer l'activité, suivre et contrôler la progression des apprenants, et modifier l'activité en temps réel. Dans Toccata, les activités peuvent être réutilisées, soit par l'enseignant lui-même soit par d'autres enseignants. Dans cette optique, les enseignants peuvent prendre des notes sur leurs activités afin de les re-structurer dans le futur. De plus, les enseignants peuvent partager des templates d'activités avec leurs collègues.

Du point de vue des apprenants, Toccata est une application web contenant toutes leurs activités. Les apprenants peuvent les lancer en classe, à la maison, ou dans n'importe quel autre contexte. Toccata est conçu de façon à ce que toute l'activité se déroule dans le système (même les applications externes), afin de minimiser les distractions pour les apprenants.

Toccata se base sur les principes de l'ABC [10] et de l'orchestration [22]. L'ABC donne une structure dans laquelle les activités pédagogiques peuvent se dérouler, le tout dans un contexte collaboratif et distribué, tandis que les principes de scripting d'activité de l'orchestration donnent une ligne directrice pour la création d'activités ainsi que la définition des rôles des utilisateurs.

4.4.1 *Primo-scripting : définition de la structure des activités*

Le cycle de vie d'une activité pédagogique dans Toccata commence par la création par l'enseignant d'une activité et du script associé : cette phase correspond dans l'Orchestration à la notion de primo-scripting. Les enseignants peuvent créer une séquence d'étapes (ou sous-activités) (fig.19). Afin d'aider les apprenants, des **instructions** peuvent être ajoutées à chaque étape (fig.18 a). Les enseignants peuvent ajouter des ressources et des applications à l'activité (fig.20). Les ressources peuvent être n'importe quel type de document lisible par un navigateur web (image, vidéo, audio, pdf, page web). Il existe deux types d'applications dans Toccata : des applications web externes (par exemple un tableur collaboratif), et des applications spécifiques. Nous avons développé quatre applications spécifiques pour Toccata : un éditeur de texte, un chronomètre, un tableau kanban et

FIGURE 18 – Une activité et ses différents composants dans Toccata (point de vue enseignant)

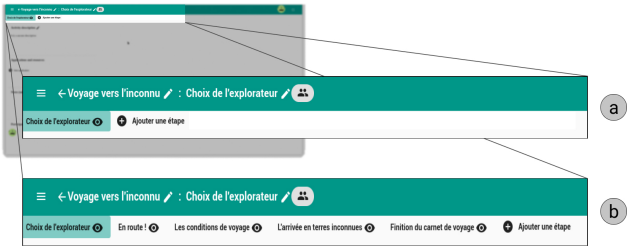


FIGURE 19 – Les enseignants peuvent ajouter, éditer et modifier l'ordre des étapes dans la structure de l'activité

une application de questionnaire. Lorsque les enseignants ajoutent une ressource ou une application, ils peuvent décider de l'ajouter soit à une étape spécifique (auquel cas cette application/ressource ne sera visible que pour cette étape), soit pour la totalité de l'activité.

En comparaison à d'autres systèmes centrés activité, Toccata met l'accent sur la structuration de l'activité en premier lieu, et sur la conduite de celles-ci dans un deuxième temps (D4). Ainsi, les enseignants peuvent créer des étapes, les renommer et changer leur ordre librement, grâce à une représentation du flux de l'activité en haut de la page (fig.19-a et b). De plus, ils peuvent décider de la visibilité de chaque étape pendant l'activité. Cette gestion de la visibilité permet aux enseignants de créer des brouillons, en cachant les étapes jusqu'à ce qu'elles soient prêtes. De plus, la visibilité peut être utilisée afin de préparer des étapes supplémentaires qui seront alors "débloquées" (i.e rendues visibles) si des apprenants progressent plus rapidement que prévu.

La mise en page de l'interface utilisateur est la même pour le scripting d'activités (fig.18) et pour la conduite de celles-ci (fig/21). L'utilisation d'une interface unifiée permet aux enseignants d'avoir une pré-visualisation directe de l'activité telle que vue par les apprenants.

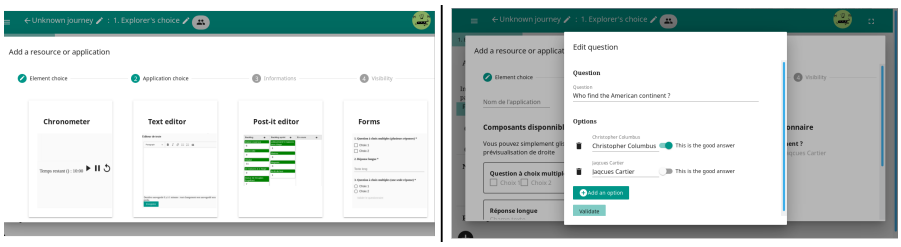


FIGURE 20 – Quatre applications spécifiques sont proposées dans Toccata (gauche). Édition d'un quizz depuis l'application questionnaire (droite)

4.4.2 *Partage et distribution d'activité*

Une fois qu'une activité est créée, elle peut être partagée avec des apprenants. Les systèmes en ABC proposent généralement un partage d'activité via des invitations à participer à cette activité. Avec Toccata, les enseignants peuvent distribuer leurs activités en fonctions de leurs besoins pédagogiques :

- Inviter tous les apprenants pour une activité totalement collaborative (comportement par défaut dans d'autres systèmes d'ABC)
- Inviter des groupes d'apprenants dans différentes instances d'une même activité pour du travail en groupe
- Inviter un apprenant par instance d'une même activité pour du travail individuel

Pour réaliser ces trois types de distribution, nous avons introduit dans Toccata la notion d'activité "mère" et d'"instances" d'activité. Ainsi, la distribution d'une activité consiste à créer des instances d'activité fortement liées à l'activité mère, et à les partager avec un ou des apprenants. Afin de permettre la personnalisation d'une activité tout en laissant la possibilité d'éditer l'activité pour une classe rapidement, deux modes d'éditions coexistent dans Toccata :

1. Lorsque l'enseignant édite l'activité mère, toutes les modifications réalisées sont propagées aux instances de cette activité. Ainsi, l'adaptation d'une activité en temps réel pour une classe entière reste possible.
2. Lorsque l'enseignant édite une instance de l'activité, les modifications ne sont pas propagées aux autres instances de l'activité, ce qui permet l'adaptation d'une activité à un groupe d'apprenants/à un apprenant.

Bien que les enseignants planifient en général la distribution avant que l'activité soit réalisée en classe, nous laissons dans Toccata la possibilité de changer en temps réel les participants à une activité.

Dans la partie suivante, nous allons discuter plus en détail d'un autre type de partage : le partage d'un modèle, qui permet de partager des copies d'une activité mère entre enseignants.

4.4.3 *Réutilisation et partage de modèles d'activité*

Les enseignants peuvent réutiliser et partager leurs activités avec leurs collègues ou avec eux-mêmes (D8). Le partage de modèles consiste à partager un modèle d'activité sans les apprenants associés à celle-ci. Lorsqu'un modèle d'activité est partagé, tout le contenu ne concernant pas les apprenants est partagé (étapes, ressources, applications). Une fois que le modèle d'activité est partagé, les modifications effectuées sur l'activité originale ou la copie de l'activité ne sont pas propagées. Les principaux objectifs du partage de modèles d'activité sont de :

- Créer des copies d'une activité afin de la déployer dans d'autres classes
- Tester des variantes d'une activité tout en conservant l'originale
- Partager une activité avec d'autres enseignants, afin qu'ils l'adaptent pour leurs enseignements

4.4.4 *Conduite d'activité et scripting en temps réel*

Toccata permet de mettre en œuvre des activités sur n'importe quel dispositif avec un navigateur web moderne, et dans différents contextes : à l'école, à la maison, dans une bibliothèque, ou en mobilité. Nous nous intéressons plus particulièrement aux activités dirigées par l'enseignant en classe.

L'interface utilisateur de Toccata est identique pour les apprenants et les enseignants : ils peuvent naviguer entre les étapes de l'activité, lire les instructions, utiliser les ressources et applications. Après des essais en classes et des échanges avec des enseignants à propos de la concentration des apprenants, nous avons modifié Toccata afin qu'une seule ressource ou application soit ouverte à la fois. Les apprenants peuvent changer de ressource ou application ouverte en utilisant le panneau gauche de Toccata, comme s'ils le faisaient avec des onglets (fig.21).

Quand ils conduisent une activité, les enseignants peuvent suivre la progression des apprenants via une vue d'ensemble affichant tous les apprenants/groupes impliqués dans l'activité (fig.22). Ce suivi leur permet de faire une médiation sur les groupes les plus en retard. Un écran fournit des informations sur la progression, le temps restant lorsque l'activité est contrainte par un chronomètre, ainsi que d'autres détails liés aux applications ouvertes, tels que le nombre de post-its créés dans l'application kanban. Lorsque les enseignants

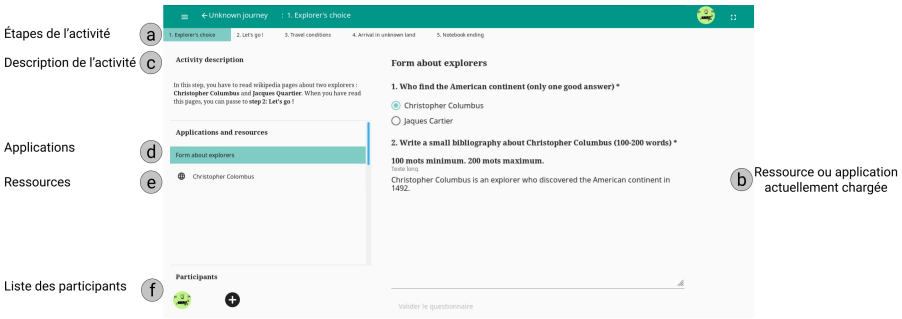


FIGURE 21 – Vue apprenant dans Toccata : (a) Structure de l'activité ; (b) Application questionnaire ; (c) panneau gauche ouvert avec les instructions, les listes des applications, ressources et participants

cliquent sur la tuile d'un groupe, Toccata affiche l'écran du groupe en question, ce qui permet aux enseignants de voir exactement ce sur quoi les groupes sont en train de travailler.

Les enseignants effectuent souvent des modifications de leurs scripts en classe afin de l'adapter aux contraintes locales et à la progression des apprenants. Dans Toccata, les enseignants peuvent réaliser des changements du script d'activité en temps réel, e.g. ajouter une étape, modifier les instructions, ajouter ou enlever des ressources et applications (D5). Pendant l'activité, les enseignants peuvent décider de cacher ou rendre visible une étape, en fonction de la progression des apprenants et de leurs besoins. Les enseignants peuvent propager ces changements pour la classe entière, pour un groupe d'apprenants ou pour des apprenants seuls en contrôlant l'instance de l'activité sur laquelle ils effectuent les changements. Ils éditent l'activité de la même manière que lors du primo-scripting. Les changements ainsi réalisés sont propagés en temps réel aux activités des apprenants, sans qu'aucune opération de mise à jour de la page ne soit nécessaire. Cette propagation directe liée à la possibilité de choisir quels utilisateurs sont concernés par les modifications permets aux enseignants d'adapter leur activité au plus près des besoins.

Lorsque les activités sont réalisées sur plusieurs sessions, elles peuvent être mises en pause, reprises ou déplacées sur d'autres dispositifs. Pour ceci, Toccata conserve l'état courant de l'activité pour chaque participant (étape actuelle, ressources et applications chargées), et charge l'activité dans cet état lorsqu'elle est reprise, quel que soit le dispositif sur lequel elle est lancée (D6).

Actuellement, Toccata gère deux rôles distincts : les enseignants et les apprenants (D7). Par défaut, les enseignants ont un contrôle complet sur une activité et toutes les instances associées, tandis que les apprenants peuvent uniquement ajouter des ressources et applications sur leur propre instance de l'activité.

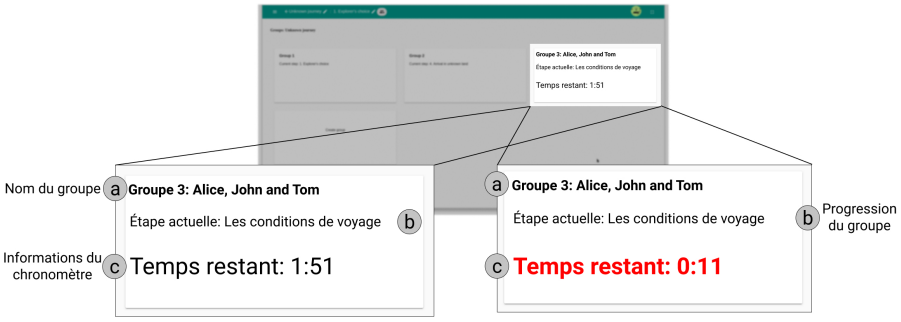


FIGURE 22 – Les enseignants peuvent suivre la progression des groupes : (arrière-plan) Chaque groupe est représenté par une tuile (arrière-plan) et les informations sur le groupe sont affichées sur la tuile. (a) Nom du groupe. (b) Étape actuelle. (c) Informations sur l'application ouverte. Les couleurs du chronomètre changent en fonction du temps restant.

4.4.5 *Réflexion et reconception d'activité*

Les enseignants ont l'habitude d'améliorer leurs activités pour de futures utilisations. Afin de les aider dans cette tâche, nous avons mis en place dans Toccata des mécanismes de prise de notes. Ainsi, les enseignants peuvent, soit pendant la mise en œuvre de l'activité en classe, soit après la classe, prendre des notes sur la façon dont s'est déroulée l'activité. Ces notes peuvent être associées soit à une instance d'activité soit à une activité mère. Lorsqu'elles sont associées à une instance d'activité, les notes permettent de garder des informations sur la progression des participants liés à l'instance. Lorsqu'elles sont liées à une activité mère, les notes peuvent être utilisées pour refléter le déroulement en classe de l'activité, fournir des conseils et rappels pour la conduite de l'activité dans le futur, ou encore être partagées avec d'autres enseignants D9. En s'appuyant sur les expériences précédentes des enseignants, ces notes peuvent aider à la reconception de l'activité par l'enseignant ou par des collègues souhaitant l'adapter à leurs propres besoins et situations.

4.5 ARCHITECTURE ET IMPLÉMENTATION DE TOCCATA

Nous avons conçu Toccata avec une approche d'application web progressive (Progressive Web App (PWA)) afin de gérer des dispositifs aux capacités variées, et afin d'offrir des fonctionnalités normalement disponibles pour les applications natives, telles que l'exécution hors ligne ou le stockage local de données sur le dispositif. Concevoir une PWA permet de plus d'avoir un comportement similaire à une application native. Le code de Toccata est intégralement accessible sur Gitlab [1].

1. https://gitlab.com/lachand/Toccata

L'implémentation de Toccata en tant d'application web permet de réduire le temps de mise en place d'activité grâce à plusieurs mécanismes :

- L'application fonctionne sur tout dispositif ayant un navigateur web, ce qui évite les problématiques liées à l'absence de logiciels sur certains postes dans les établissements (D1).
- Le processus d'installation est simplifié, un popup demande à l'utilisateur lors de la première utilisation s'il souhaite ajouter l'application sur la tablette ou sur le téléphone.
- Une simple connexion à Toccata permet de récupérer l'activité dans son état précédent, il n'y a donc pas de temps perdu à retrouver et ouvrir les documents nécessaires. Cette récupération de l'activité dans le dernier état est rendue possible grâce à la synchronisation constante des données.

4.5.1 *Résilience aux problèmes de réseaux*

En complétant nos observations avec le rapport ETIC [85], nous avons remarqué que les réseaux présents dans les établissements sont peu fiables (lenteur, coupures de réseau, absence de réseau wi-fi, etc.). Ces problèmes de réseaux sont généraux et aussi présents dans les établissements les mieux dotés, que ce soit à cause de ports spécifiques bloqués, ou de filtrage de contenu. Pour cette raison, nous avons développé Toccata afin que le système fonctionne même avec des infrastructures peu fiables (D3). Pour ceci, nous avons développé deux stratégies :

STOCKAGE LOCAL : Une fois qu'une activité est chargée sur un dispositif, elle est stockée en local et est accessible même sans connexion internet. La synchronisation entre le travail réalisé hors connexion et les bases de données contenant les activités s'effectue une fois la connexion rétablie. Cette solution ne permet pas de communication entre les dispositifs déconnectés.

SERVEUR LOCAL : Afin de gérer les problèmes de connectivité au niveau de la classe, nous avons mis en place un serveur local de Toccata qui sert de hub au sein d'une classe, tout en étant synchronisé avec le serveur principal de Toccata en dehors de l'établissement (fig.23). Les serveurs locaux sont portables (ils fonctionnent avec des Raspberry Pi ou des Intel Compute Stick) et conservent l'activité localement. Les dispositifs de la classe, comme par exemple des tablettes, sont connectés aux serveurs locaux grâce à des réseaux wifi dédiés. Les changements effectués dans les activités sont d'abord propagés au serveur local, afin que les participants puissent collaborer. Comme pour le stockage local, le serveur local peut fonctionner sans connexion à

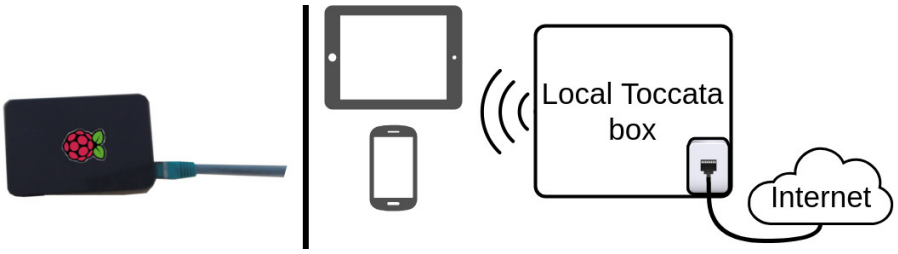


FIGURE 23 – (gauche) Exemple de serveur local sur un Raspberry Pi 3 connecté à un réseau Ethernet. (droite) Fonctionnement simplifié d'un serveur local

internet, et les modifications sont propagées au serveur principal une fois (re)connecté à internet.

4.5.2 *Mobilité*

Les serveurs locaux peuvent fonctionner à l'aide de batteries et être connectés à un téléphone en partage de connexion. Cette portabilité des serveurs permet d'utiliser Toccata dans des contextes dans lesquels il est difficile de réaliser des activités numériques, comme par exemple en dehors de la classe, dans la cour de l'établissement ou encore sur des terrains de sport (D2).

4.5.3 *Architecture*

La figure 24 présente l'architecture globale de Toccata. Le système est composé de trois niveaux :

- Le premier niveau consiste en un serveur distant, contenant Toccata ainsi que la base de données des activités de Toccata. À ce serveur, s'ajoute un ensemble d'applications web externes à Toccata, disponible sur internet.
- Le second niveau consiste en un serveur local présent dans la classe contenant une instance de Toccata et les activités associées à la classe grâce à une duplication partielle de la base de données du premier niveau.
- Le troisième niveau est constitué des dispositifs des utilisateurs, qui contiennent en local une instance de Toccata et une copie de la base de données de l'utilisateur.

Cette architecture permet de faire face à trois principales situations :

1. Avec un accès à une connexion internet fiable. Dans cette situation, les dispositifs fonctionnant avec Toccata peuvent se connecter directement au serveur web distant.

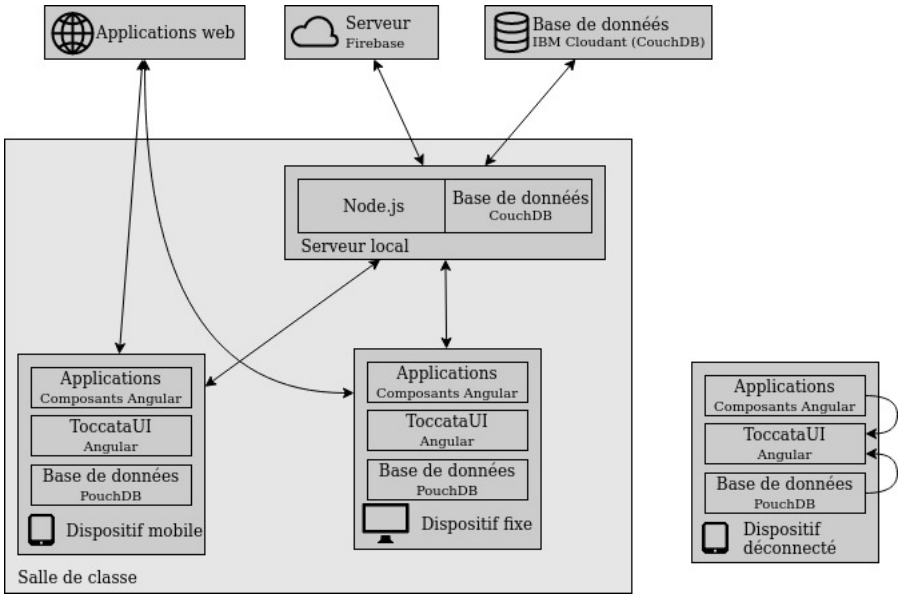


FIGURE 24 – Architecture de Toccata

2. Avec un accès à une connexion internet peu fiable. Le serveur local agit comme un proxy et facilite la communication entre les dispositifs et le stockage des données.
3. En contexte déconnecté. Les participants ont accès à des dispositifs où l'activité pédagogique a été précédemment chargée.

Les mécanismes de duplication sont transparents pour les utilisateurs. Par défaut, Toccata essaie de se connecter au serveur distant. Lorsqu'un dispositif est connecté à un réseau local contenant un serveur de Toccata, la requête est capturée et redirigée sur le serveur local. Si aucun serveur n'est disponible, Toccata charge la version stockée sur le dispositif, ainsi que la base de données associée sur le dispositif.

4.5.4 *Implémentation*

Toccata est une PWA basée sur Angular, avec des mécanismes de synchronisation entre serveurs. Le serveur distribue une application exécutée dans un navigateur. Le serveur distant est hébergé sur Firebase. Les activités sont stockées sur une base de données CouchDB hébergée par IBM Cloudant.

Le serveur local (fig.23) fait office de hotspot wifi. Il peut être connecté au réseau Ethernet de l'établissement, à un téléphone en partage de connexion, ou être utilisé sans aucune connexion à internet. Le serveur Node.js effectue uniquement l'affichage de Toccata. Ainsi, toute la logique est effectuée côté client, ce qui permet à Toccata de fonctionner correctement sans connexion à un serveur. Les activités sont stockées dans une base CouchDB locale qui se synchronise avec

la base de données distante lorsque cela est possible. Cette approche de design est inspirée du "offline first" [2], qui consiste à concevoir dès le début, des systèmes fonctionnant en hors-ligne, puis de rajouter la possibilité d'être connecté à internet par la suite.

Chaque dispositif possède aussi une instance de Toccata et de PouchDB [3]. PouchDB permet une synchronisation entre plusieurs serveurs CouchDB, ce qui nous permet d'évacuer la majorité des problèmes liés à la synchronisation entre dispositifs. En tant que PWA, Toccata possède des fonctionnalités identiques aux applications natives, comme la création de lanceurs sur tablettes et un mécanisme de mise en cache sur les dispositifs. De plus, Toccata peut se charger même lorsque le dispositif est totalement hors ligne, et l'application synchronisera à nouveau avec le serveur lorsque le réseau sera disponible.

Intégration d'applications web existantes

Afin de laisser la possibilité aux enseignants d'utiliser des applications avec lesquelles ils ont déjà l'habitude de travailler, nous intégrons des pages web en tant qu'iframe dans Toccata, tandis que les applications locales sont des composants node. Nous avons choisi d'utiliser des composants node pour l'implémentation d'applications locales, car ils sont simples à intégrer et laissent la porte ouverte à l'ajout d'autres applications.

Nous pouvons illustrer la simplicité d'intégrer de nouvelles applications avec l'éditeur de texte que nous utilisons dans Toccata. L'éditeur a été trouvé via une recherche sur une base de composants existants [4]. Le seul travail à effectuer pour intégrer cet éditeur a été d'effectuer une correspondance entre notre structure de données et la structure de données nécessaire pour cet éditeur de texte.

Afin de faciliter l'intégration d'applications variées, nous avons fait le choix d'utiliser une structure unique pour représenter les applications de Toccata. L'unique différence entre les applications est le contenu des "ressources" associées à l'application. Les mécanismes de modification et d'enregistrement des ressources associées à une applications restent les mêmes quelle que soit l'application utilisée.

4.5.5 *Modèle d'activité*

Afin de pouvoir déployer des activités variées dans Toccata, nous avons conçu un modèle d'activité (fig.25), qui est une extension du modèle d'ABC [10] avec les éléments nécessaires pour la conduite d'activités pédagogiques, tout en prenant en compte nos recommandations de designs et les principes de l'orchestration.

2. http://offlinefirst.org/
3. https://pouchdb.com
4. https://www.npmjs.com/

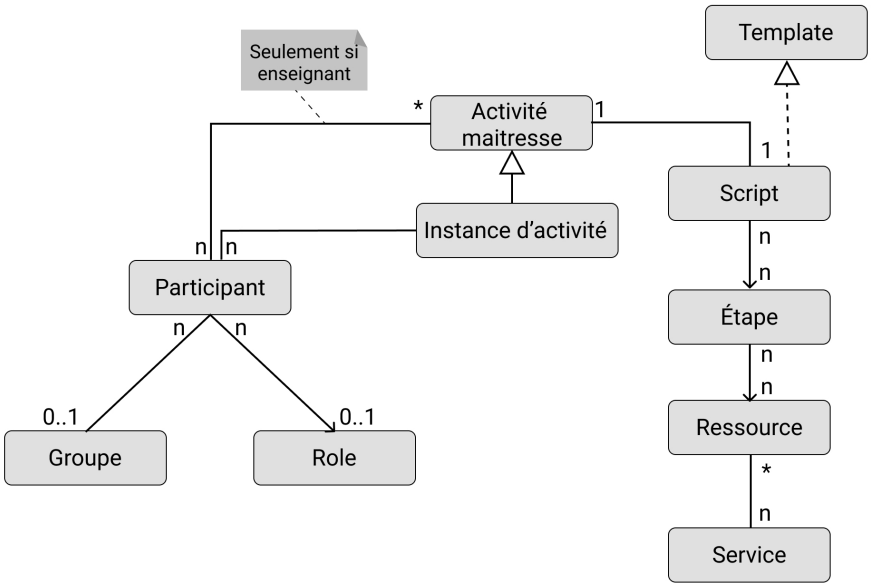


FIGURE 25 – Modèle d'activité utilisé dans Toccata

Pour la structure globale de l'activité, nous introduisons la notion d'activité mère, et d'instances d'activité. Seul un enseignant peut participer à une activité mère, tandis que tous les rôles peuvent être impliqués dans une instance d'activité.

Les participants peuvent être dans des groupes, lors d'activités collaboratives, et différents rôles sont associés aux participants.

Un script d'activité peut être utilisé comme modèle d'activité, afin de partager l'activité entre enseignants, ou pour améliorer l'activité dans de futures classes.

Notre modèle d'activité, quoique relativement simple, permet de créer des activités variées (travail individuel, travail en groupe, activité sur une séance, activité sur plusieurs séances). Dans la partie suivante, nous allons étudier trois activités différentes testées en conditions réelles.

4.6 DÉPLOIEMENT EN CONDITIONS RÉELLES

Après de nombreuses itérations de conception et de discussions avec des enseignants, nous avons déployé Toccata dans deux lycées et une université (tab. 8). Notre objectif concernant ces déploiements était de valider Toccata d'un point de vue système, c'est-à-dire de tester :

1. La polyvalence et la généricité de Toccata pour permettre la scénarisation et la conduite d'activités variées, par exemple le déroulement sur une ou plusieurs sessions, dans un seul environ-

Table 8 – Vue d'ensemble des trois déploiements réalisés

Activité	Contexte	Dispositifs	Participants	Âge	Durée d'activité	
					sessions	durée
Étude de cas 1 (EC1) : Gestion de ventes	En classe ; Extérieur	Ordinateurs ; Tablettes	17	15-16	1	1h30
Étude de cas 2 (EC2) : Atelier agile	En classe	Tablettes	41	22-23	1	1h
Étude de cas 3 (EC3) : Vérification de faits	En classe	Ordinateurs	11	13-14	3	2h45

nement ou dans des contextes changeants, avec des ressources purement numériques ou mixtes.

2. La robustesse de Toccata face à des conditions réelles trouvées dans les établissements, avec ou sans réseau fiable, sur plusieurs types de dispositifs, avec des restrictions sur les dispositifs, etc.

Nous avons discuté avec les enseignants afin de planifier chaque étude de cas, tout en utilisant des activités qui s'appuyaient sur celles qu'ils connaissaient déjà (EC2, et EC3), ou qui étaient complètement nouvelles (EC1). Selon les situations, nous avons fourni les dispositifs (EC1, EC2), ou utilisé ceux de l'établissement (EC1, EC3). Les déploiements représentent un total de 72 utilisateurs, sur 5 sessions, et 105 heures d'utilisation cumulées entre les participants. Pour tous les déploiements, nous avons recueilli des logs des tablettes et des ordinateurs, des vidéos de groupes, des captures d'écran des tablettes et des notes d'observation. À la fin de EC1 et EC3, nous avons interrogé les enseignants afin de savoir ce qu'ils pensaient de l'utilisation de Toccata pour leurs pratiques d'enseignement et ce qui pourrait être amélioré dans la conception de Toccata.

L'**étude de cas 1** (EC1) est un cours de **gestion des ventes** pour un lycée horticole (17 apprenants de seconde, âgés de 15-16 ans). L'enseignant souhaitait utiliser Toccata pour organiser une session de révision d'une heure trente sur les principaux thèmes vus en cours. Il voulait travailler sur des concepts différents et varier les types d'exercices afin de maintenir la motivation des apprenants. Plus précisément, il souhaitait combiner des activités telles que l'analyse d'une vidéo de vente pour travailler sur les compétences de vente, le calcul de prix et de taxes avec un tableur, et la conception d'un catalogue de vente en associant des textes et des photos des plantes prises dans la serre de l'école. Une telle activité n'aurait pas été possible pour lui sans Toccata en raison du manque de connectivité dans la classe et

la serre, et de la difficulté à mener trois activités en 90 minutes sans avoir destransitions fluides.

L'**étude de cas 2** (EC2) est un **atelier Agile** pour les apprenants en master d'informatique (41 apprenants, 22-23 ans). Cette activité vise à mettre en pratique la méthode SCRUM pour construire une maquette en papier d'une ville. L'activité est basée sur un modèle d'activité bien établi utilisé par les coaches Agiles [5], que l'enseignant avait déjà utilisé les années précédentes. Le principal défi pour l'enseignant était de suivre le temps, les progrès des groupes et de prendre des notes sur l'activité au bon moment.

L'**étude de cas 3** (EC3) est un cours d'éducation aux médias et de **vérification de faits** composé de trois sessions de 55 minutes (24 apprenants, 11 utilisant Toccata, âgés de 13-14 ans). Chaque session correspond à une étape de l'activité. L'activité consistait à vérifier des informations sur Vikidia [6], une encyclopédie collaborative pour enfants et adolescents. L'activité a été construite sur un modèle utilisé dans le passé qui faisait appel à des documents papier pour suivre le travail des apprenants. L'utilisation de Toccata a permis de créer un environnement numérique intégré dans lequel toute l'activité s'est déroulée.

4.6.1 *Scripting des activités*

Pour EC1 et EC3, les enseignants ont créé leurs scripts directement depuis leurs ordinateurs, et nous étions présents s'ils avaient besoin d'aide lors de cette phase de scripting. Pour EC2, l'enseignant, un collègue, nous a donné une description de son script que nous avons intégré dans Toccata.

L'activité de gestion des ventes (EC1) est structurée en trois étapes (fig. 26). Dans la première étape, les apprenants doivent regarder une vidéo, l'analyser et rédiger un document pour répondre aux questions avec l'éditeur de texte. Ils peuvent utiliser le lecteur pdf intégré pour afficher leurs leçons. Dans un deuxième temps, les apprenants doivent calculer des taxes et prix pour produire une facture à l'aide d'un tableur collaboratif. À la fin des première et deuxième étapes, l'enseignant montre son activité avec le vidéoprojecteur de la classe et a demandé à un apprenant de venir la corriger au tableau blanc. Lors de la troisième étape, les apprenants doivent préparer le catalogue de plantes en prenant des photos des plantes cultivées dans les serres du lycée, puis les organiser et les décrire dans l'éditeur de texte. À la fin de la troisième étape, l'enseignant demande aux apprenants de présenter leur travail à la classe, chaque groupe présentant les photos prises dans la serre sur le vidéoprojecteur et discutant avec

5. https://www.lego4scrum.com/
6. https://www.vikidia.org/

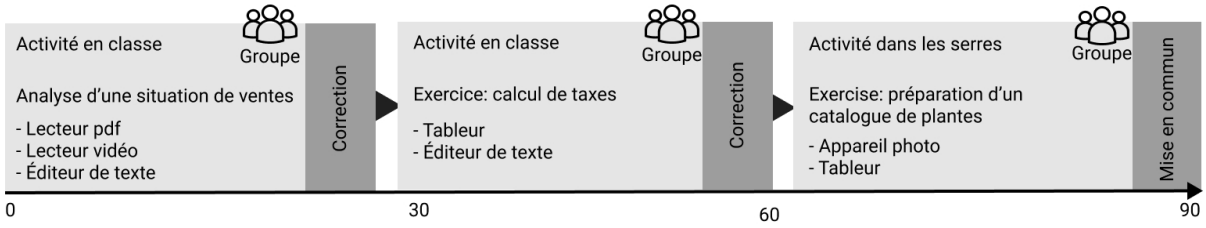


FIGURE 26 – Script de l'activité de gestion de ventes

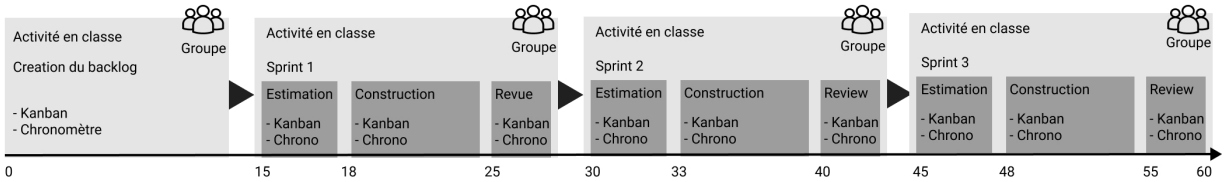


FIGURE 27 – Script de l'atelier agile

la classe de la manière dont elles pourraient être utilisées pour créer le catalogue de l'école.

L'atelier agile (EC2) est structuré en quatre sous-activités, correspondants à une phase de préparation (création d'un backlog), et trois phases de production (sprints 1-2-3) (fig. 27). Chaque phase de production a été à nouveau divisée en trois étapes : estimation des tâches à effectuer, réalisation des tâches (construction) et retours avec le client. L'enseignant a basé la majeure partie de l'activité sur deux applications, laissant les apprenants contrôler leur temps et leurs tâches (en utilisant un minuteur et un tableau Kanban[7]). La durée de chaque sous-activité a été fixée à 15 minutes, après quoi les apprenants devaient passer à l'étape suivante, et chaque sous-étape a également été précisément chronométrée (3 minutes d'estimation, 7 minutes de construction et 5 minutes de retours avec l'enseignant).

L'activité de vérification de faits est divisée en trois étapes (fig. 28). L'enseignant a utilisé l'éditeur de texte intégré et diverses ressources sur le Web à propos de médias. Dans la première étape, les apprenants doivent lire des informations sur différents médias, par exemple la télévision, les chaînes de radio ou les journaux, sur une encyclopédie en ligne (Vikidia), et vérifier la véracité et l'actualité des informations. Dans un deuxième temps, ils doivent éditer un article d'encyclopédie et corriger les informations erronées. Dans la dernière étape, ils doivent ajouter à l'encyclopédie de nouvelles informations sur les médias. Ils doivent expliquer leur analyse et les changements apportés dans l'éditeur de texte. L'enseignant peut contrôler le travail effectué entre les étapes en regardant les activités des apprenants. Afin de créer des activités uniques pour chaque groupe, l'enseignant a créé

7. Dans un contexte Agile, un tableau Kanban est un tableau composé de plusieurs colonnes utilisé pour suivre l'avancement des tâches

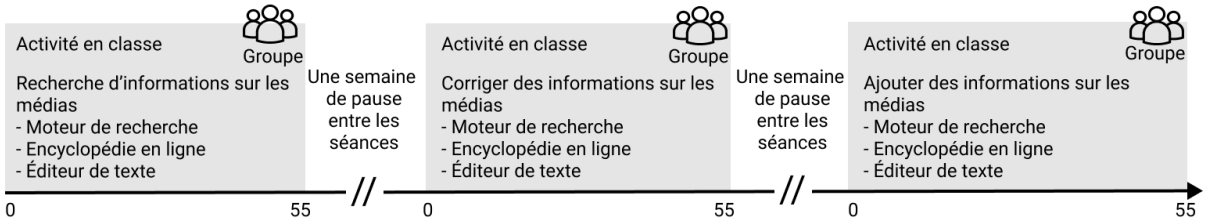


FIGURE 28 – Script de l'activité de vérification de faits

une activité en 5 étapes où seules 3 sont visibles pour chaque groupe. Deux étapes sont dupliquées avec des variantes (une sur les médias classiques, l'autre sur les médias numériques).

Résultat du scripting : Les scripts conçus par les enseignants varient en durée, sur les lieux dans lesquels ils se déroulent (en classe et en dehors) et sur les tâches à réaliser (analyse, exploration, écriture, calculs) (D4). Les activités impliquent différents dispositifs tels que des ordinateurs fixes, tablettes et vidéoprojecteur (D1).

Du point de vue du scripting d'activités, EC1 et EC2 montrent que Toccata permet la création et la mise en œuvre d'activités complexes. L'intégration de multiples ressources et applications dans Toccata a rendu possible l'EC1. Enseignant 1 (E1) a pu intégrer dans Toccata un outil externe de feuille de calcul en ligne qu'il savait déjà utiliser, ce qui lui à permis de réaliser l'activité sans changer ses habitudes.

Enseignant 3 (E3) a apprécié la possibilité pour les apprenants de passer rapidement des ressources aux applications et inversement. E3 s'est rendu compte que le fait de disposer d'un éditeur de texte pour vérifier le contenu et d'un autre pour le corriger permettait aux apprenants et à lui-même de mieux suivre et structurer la progression du travail, avant de passer à la correction réelle de l'encyclopédie *"Je n'y avais pas pensé avant, mais le fait de disposer d'une trace de vérification, plus une trace de correction leur a permis de travailler sur le brouillon"* E3. E3 a également noté que Toccata lui permettait d'offrir plus d'instructions aux apprenants, en ajoutant des consignes directement aux ressources, en complément de l'espace dédié aux consignes *"ce qui est bien, c'est que Toccata permet de proposer des instructions avec la structure des réponses attendues"* E3.

Nos déploiements ont aussi montré que Toccata permet de créer des activités ayant de fortes contraintes temporelles (EC2). Notre modèle d'activité a permis de définir et de gérer des activités imbriquées : une activité principale, quatre sous-activités et trois étapes dans les sous-activités (EC2).

4.6.2 *Conduite d'activité*

Les trois activités ont ensuite étés mise en œuvre par les enseignants, nous détaillons ici les différentes configurations des classes pour ces activités ainsi que leur mise en œuvre.

4.6.2.1 *Configuration*

Pour EC1, l'enseignant a réalisé la même activité deux fois, chaque fois avec huit apprenants. Les apprenants ont été répartis en quatre groupes de deux participants. Au début de la session, les apprenants ont reçu une tablette Android à partager par binôme avec Toccata chargé, et l'enseignant a utilisé un ordinateur relié à un vidéoprojecteur (D1). En raison de l'indisponibilité de réseau wifi dans l'école, nous avons également fourni un point d'accès wifi local utilisant le partage de connexion d'un téléphone .

Pour EC2, l'enseignant a réalisé la même activité deux fois, chaque fois avec 20 apprenants. Les apprenants étaient divisés en quatre groupes de cinq personnes travaillant simultanément. Au début de la session, l'enseignant a donné à chaque groupe une tablette Android sur laquelle Toccata était installée, ainsi que des bandes de papier et de la colle pour la construction de leur ville. L'enseignant disposait d'une tablette Android pour l'orchestration de la classe.

Pour EC3, l'enseignant a réalisé une activité sur trois séances, chacune à une semaine d'intervalle, avec 24 apprenants, où 11 apprenants ont utilisé Toccata et 13 apprenants ont utilisé la version papier de l'activité et un navigateur Web. Les apprenants ont travaillé seuls ou par deux, en fonction du nombre d'ordinateurs disponibles. Nous avons remarqué que des groupes n'utilisant pas Toccata ont consacré du temps à des tâches non liées à l'activité (certains apprenants jouaient à un jeu en ligne tandis que d'autres visitaient un site de vente). L'activité s'est déroulée dans la salle informatique de l'école, sur des ordinateurs de bureau, directement connectés au serveur principal de Toccata. Pour des contraintes de sécurité vis-à-vis du réseau de l'établissement, nous n'avons pas utilisé de serveur local. L'enseignant avait à disposition un ordinateur connecté à un vidéoprojecteur avec Toccata ouvert. Dans l'analyse, nous nous concentrons uniquement sur les apprenants qui ont utilisé Toccata.

4.6.2.2 *Orchestration*

Dans tous les déploiements, l'enseignant a distribué l'activité aux apprenants avant la séance. Pour EC1 et EC2, l'enseignant a dupliqué l'activité pour chaque groupe. Pour EC3, l'enseignant a distribué deux variantes de l'activité : la moitié de la classe a reçu des instructions pour vérifier les entrées d'encyclopédies sur les médias

numériques, et l'autre moitié sur des entrées relatives à des chaînes de radio ou de télévision.

Nous avons observé deux moments d'orchestration dans EC1 :

1. Pendant la transition entre le travail en groupe et la correction en classe : l'enseignant a facilement géré cette transition en demandant aux apprenants de regarder le vidéoprojecteur où la correction a eu lieu. Les apprenants ont ensuite corrigé leur travail sur leur tablette.
2. Lorsque l'enseignant a changé sa stratégie pour suivre les groupes : il a commencé par suivre les progrès sur l'écran de contrôle de Toccata sur son PC. Cependant, en raison de la position du PC, l'enseignant a décidé de montrer les progrès sur le vidéoprojecteur et de regarder directement les tablettes pour suivre plus précisément les progrès des apprenants. Concernant ces deux moments d'orchestration, l'enseignant a noté que *"Toccata est un bon outil pour la mise en commun"* et qu'*"[il a] eu une vue d'ensemble des groupes [...] [il vient] de voir à quelle étape ils en étaient"*.

Dans EC2, bien que l'enseignant ait commencé par suivre les progrès des groupes et par effectuer un suivi du temps sur sa tablette avec la vue d'ensemble des groupes, il a au fur et à mesure de l'activité de plus en plus regardé les tablettes des apprenants plutôt que la sienne pour suivre les progrès des groupes. Cela rejoint les travaux précédents sur l'orchestration [29], suggérant que fournir des informations sur les progrès des groupes et les besoins des apprenants de manière localisée pouvait être bénéfique. L'enseignant a exprimé le besoin de mieux connaître le temps restant dans la session, ainsi que le temps qu'il a passé avec chaque groupe. Nous nous attendions à ce que l'enseignant utilise sa tablette pour contrôler l'activité du groupe (D7), par exemple, pour suspendre et reprendre la minuterie, ou déplacer les tâches sur le tableau de Kanban. Cependant, tout au long de l'activité, Enseignant 2 (E2) a préféré agir directement sur les tablettes des apprenants, plutôt que d'agir sur la sienne.

Dans EC3, l'enseignant a géré la classe sans utiliser directement Toccata. Tout au long des sessions, l'enseignant passait d'un groupe à l'autre pour répondre aux questions et aidait à choisir un autre article si nécessaire, ou lorsque les apprenants ne semblaient pas se concentrer sur la tâche.

4.6.3 *Bilan*

Avant l'étude, nous nous attendions à voir plus d'orchestration de la part des enseignants, comme le scripting de l'activité en temps réel pour l'adapter aux progrès des apprenants. L'enseignant ajustait la plupart du temps l'activité oralement, soit en s'adressant à un groupe, soit à toute la classe, sans jamais utiliser les capacités de Toccata, que ce soit pour le suivi ou pour l'ajustement de l'activité.

Pour la gestion de classe, E3 estime qu'il est plus facile pour les apprenants avec Toccata de réaliser l'activité malgré sa nouveauté et la nécessité d'avoir des instructions plus précises pour les apprenants : *"Pour [les apprenants sans Toccata], c'est plus difficile car ils doivent écrire la vérification sur leur feuille de papier ou ouvrir un éditeur de texte pour avoir un brouillon"*.

4.6.3.1 *Itinérance et connexion non fiable*

Lors du déploiement de EC1, le réseau wifi était fluctuant. Bien que les applications web externes, comme l'éditeur de texte collaboratif, n'ont pas fonctionné de manière optimale, les ressources stockées dans Toccata étaient accessibles durant la totalité de l'activité et les apprenants n'ont pas rencontré de problèmes pour les utiliser. Les apprenants ont réussi à passer d'une étape à une autre sans aucun souci. Dans la troisième étape, les apprenants sont allés dans la serre, sans aucune couverture wifi. Cette étape s'est déroulée sans problème, et les apprenants ont pu prendre leur tablette et poursuivre leur activité comme prévu. Dans la serre, ils se sont déplacés librement et ont pris des photos de plantes qu'ils ont ensuite ajoutées à un catalogue de vente. *"[L'activité] dans les serres était beaucoup plus facile et agréable, car nous nous trouvons tout de suite dans un contexte extérieur à la classe"* E1. À leur retour en classe, l'activité des apprenants a été mise à jour sur le serveur local, et l'enseignant a pu accéder aux photos prises dans la serre.

Pour EC2, en raison d'un réseau peu fiable et de restrictions fortes sur le réseau, nous avons utilisé un serveur local et une connexion 4G pour garder le serveur local synchronisé avec le serveur externe. Grâce à cette adaptation, les deux sessions se sont déroulées avec succès (D3).

Pour EC3, Toccata a fonctionné avec une configuration client/serveur classique sans fluctuation du réseau. Toccata a intégré de manière fluide et transparente des ressources externes provenant d'internet ainsi que des ressources stockées localement.

Résultats de la conduite d'activité D'un point de vue technique, les études de cas ont montré que Toccata fonctionne sur des dispositifs variés (D1), dans des situations de mobilité (D2), avec des réseaux peu fiables et diverses configurations de réseau (D3). Même en cas de problèmes de réseau et d'accès limité aux applications externes rencontrés dans EC1, les enseignants ont pu conduire les activités réalisées auparavant sur papier (EC2), sur des supports mixtes (papier et numérique en EC3), ou qu'ils n'ont jamais conduit avant (EC1).

Utiliser une application web sur une seule page avec tout le contenu accessible à l'intérieur a aidé les apprenants à rester concentrés sur l'activité, ce que E3 a apprécié. *"Ce qui est intéressant avec Toccata, c'est qu'il a tout dans la même interface"*. E3 a également apprécié la conti-

		Gestion de ventes (EC1)	Atelier agile (EC2)	Vérification de faits (EC3)
Recommandations techniques	**(D1)** Fonctionne sur n'importe quel dispositif	✔	✔	✔
	(D2) Gestion de la mobilité	✔		
	(D3) Résilience aux problèmes de réseau	✔	✔	
Recommandations liés à l'activité	**(D4)** Planification d'activité	✔	✔	✔
	(D5) Distribution fluide et changements en temps réel	✔ | ≈	✔ | ≈	✔ | ≈
	(D6) Continuité entre séances			✔
	(D7) Différents rôles		≈	
	(D8) Réutilisation d'activité			
	(D9) Prise de note et réflexivité			

TABLE 9 – Résumé des recommandations de conception. En gris, les déploiements dans lesquels les recommandations sont implémentées, et si elles ont étés utilisées correctement (✓) ou partiellement (≈).

nuité entre les sessions, avec la suspension et la reprise automatique de l'activité (D6).

Les enseignants ont réussi à distribuer du contenu et à modifier leur activité en direct (D5). Cependant, nous avons observé peu de modifications en temps réel. Seul E1 a effectué des modifications sur l'activité pendant sa réalisation. Pendant les cours, les enseignants ont préféré rester en contact avec les apprenants, en leur expliquant directement les changements à réaliser sur l'activité (EC3) ou en corrigeant les exercices à l'intérieur de l'activité des apprenants (EC2). Ces résultats suggèrent que les mécanismes d'orchestration, qu'il s'agisse de mécanismes d'awareness ou de contrôle, devraient être disponibles pour l'enseignant non seulement sur ses dispositifs, mais aussi sur les dispositifs des apprenants, afin que l'enseignant puisse orchestrer rapidement et globalement l'activité.

4.7 DISCUSSION

Nous avons conçu et développé Toccata afin de permettre la mise en œuvre d'activités pédagogiques variées, quel que soit le contexte technique. La table 9 résume les recommandations de conception que nous souhaitions implémenter et celles que nous avons effectivement permises. Les cellules grises représentent les activités dans lesquelles ces recommandations étaient normalement utiles. Le pictogramme à l'intérieur des cellules indique si les fonctionnalités associées ont été utilisées (✓), utilisées partiellement (≈) ou non (pas de pictogramme).

4.7.1 *Une structure linéaire pour la conception et la gestion d'activité*

Toccata a permis aux enseignants de scripter des activités variées, notamment en leur laissant la possibilité d'adapter les activités existantes ou d'en créer de nouvelles. La possibilité d'intégrer des documents externes et des applications web en tant que ressources s'est

avérée utile pour développer rapidement Toccata sans avoir à redévelopper une suite complète de logiciels éducatifs.

Bien que nous ayons d'abord craint que notre approche linéaire du scripting ne devienne une limitation, nous n'avons pas reçu de réactions négatives ni de demandes de structures plus complexes de la part des enseignants. Lors des entretiens et des échanges que nous avons eus avec les enseignants en dehors des déploiements, lorsqu'ils envisageaient des activités non linéaires, ils les ont "linéarisées" en cachant ou en montrant les étapes pertinentes uniquement. Si cette linéarité facilite la définition de l'activité, les enseignants ont également utilisé cette stratégie pour transmettre un plan de cours plus simple aux apprenants.

4.7.2 *Interventions orales et directes pour le run-time scripting*

Tandis que les enseignants ont activement utilisé Toccata pour scripter leurs activités, ils n'ont pas utilisé notre outil pour modifier le script pendant la mise en œuvre de l'activité, et ont peu utilisé toccata pour la gestion du groupe et pour obtenir une vue d'ensemble. Nous avons cependant remarqué que les enseignants ont réalisé le run-time scripting via des instructions orales ou en effectuant des actions directes sur les tablettes des apprenants.

Ceci s'explique par plusieurs paramètres. 1. Les activités sont courtes et les enseignants s'adressent directement aux apprenants ou à toute la classe lorsqu'il faut aborder un sujet. 2. Les activités étant en présentiel, il est plus simple d'intervenir à l'oral pour les enseignants (ce qui est une pratique habituelle dans une classe en présentiel) 3. Étant donné qu'il est difficile de transporter une tablette pour surveiller et contrôler l'activité, les enseignants cessent de la porter pendant l'activité. De plus, l'utilisation d'un ordinateur dédié nécessite de se déplacer pour accéder au poste, ce qui interrompt souvent le flux et entraîne des temps d'arrêt dans la conduite de l'activité.

De plus, le coût nécessaire à la modification en temps réel et le risque de faire des erreurs sont considérés comme plus élevés en classe que lors de la préparation de script dans un environnement calme.

4.7.3 *Micro-orchestration et principes de partage*

En complément au run-time scripting, nous pensons qu'un travail intéressant serait de permettre des actions de micro-orchestration. Ces actions sont liées aux micro-tâches que les enseignants effectuent pour gérer leur classe autour du script qu'ils ont planifié, par exemple : valider une étape, allonger la durée prévue, éteindre les écrans des apprenants pour attirer leur attention sur l'enseignant.

Bien que certains systèmes commerciaux, tels que Apple Classroom, ou des projets de recherche, permettent la réalisation de quelques-unes de ces actions [22], cela ne se fait pas de manière systématique. Des enquêtes de terrain sont nécessaires pour mieux comprendre les actions de micro-orchestration que les enseignants effectuent dans leurs classes. Cela pourrait ouvrir la voie à de nouveaux outils et de nouvelles techniques d'interaction pour orchestrer des activités à la volée.

Dans un contexte d'ABC, le partage est souvent assimilé à l'ajout de nouveaux participants à une activité. Dans un contexte éducatif, les participants ont des rôles différents, et le partage peut prendre de nombreuses formes. Nous avons proposé de distinguer la "distribution d'activités" et le "partage de modèles" pour distinguer un partage d'activité classique (de l'enseignant aux apprenants), du partage entre enseignants. Cependant, dans Toccata, ces mécanismes de partage sont encore limités. Nous n'avons pas mis en place de moyens pour rendre une activité (des apprenants vers l'enseignant) ou de partage entre pairs (des apprenants aux autres apprenants).

De plus, les apprenants ne peuvent pas indiquer aux enseignants que leur travail est terminé et qu'ils sont prêts à avoir un retour d'information. Par exemple, dans l'activité de vérification des faits (EC3), lors de la rédaction de l'encyclopédie en ligne, les apprenants ont voulu obtenir l'aval de l'enseignant avant de déposer leurs changements sur l'encyclopédie. Toccata ne permet l'envoi de notifications des apprenants aux enseignants.

En ce qui concerne la réutilisation des activités (D8), Toccata permet le partage des modèles d'activités entre enseignants. Cependant, nous n'avons pas exploré cette possibilité avec les enseignants lors de nos déploiements. Des déploiements plus longs impliquant plus d'enseignants sont nécessaires pour explorer les possibilités liées à la collaboration entre enseignants avec Toccata, telles que les activités impliquant plusieurs enseignants, le partage d'activités entre enseignants dans le même domaine, ou la réutilisation d'une activité d'une année à l'autre.

4.7.4 *Suivi de l'activité des apprenants*

L'un des avantages attendus des technologies d'orchestration est la possibilité de saisir et suivre les progrès des apprenants. Le suivi des activités des apprenants est désormais répandu et a ouvert des voies dans la recherche en learning analytics [109]. De plus, pour les activités numériques, supposer que tout peut être suivi et contrôlé avec des systèmes numériques tels que Toccata est une erreur : les applications externes offrent un aperçu limité de leur fonctionnement interne ; si plusieurs apprenants travaillent ensemble sur le même dispositif, il est difficile d'identifier les contributions individuelles ; et les éléments

moins tangibles tels que l'engagement du groupe ou l'humeur sont difficiles à saisir. Le défi consiste ici à comprendre comment le suivi automatisé peut être associé à une saisie plus manuelle et plus explicite, afin de mieux rendre compte de ce qui se passe en dehors du système. Cela peut prendre plusieurs formes : par exemple, E1 a noté qu'*"il sera intéressant de permettre aux apprenants d'auto-évaluer leur travail. Par exemple de savoir que dans l'exercice 2, la moitié des groupes se sont jugés en difficulté"*.

Bien que cela n'ait pas été un défi identifié dans nos entretiens ni une recommandation de design, nous avons fourni un tableau de bord contenant des informations de base sur l'activité des apprenants pour aider les enseignants à gérer leur classe. Dans une salle de classe, le tableau de bord permet à l'enseignant de prendre conscience de ce qui se passe en classe. Son utilité en classe est limitée malgré des déploiements dans diverses configurations : sur un dispositif fixe (ordinateur de l'enseignant), sur un dispositif mobile (tablette de l'enseignant), sur le tableau blanc de la classe s'il ne fournit pas les bonnes informations au bon moment.

4.7.5 *Conscience du contexte et dispositifs de contrôle portables*

Nous n'avons utilisé les serveurs locaux que comme des mécanismes de redondance pour faire face aux problématiques de réseau. Cependant, ils pourraient également être utilisés pour avoir conscience du contexte de l'activité, ce qui peut être utilisé pour adapter les activités à la situation.

Une façon de créer des salles de cours capturant le contexte de l'activité est d'ajouter de nombreux capteurs, tels que des beacons bluetooth, des caméras, etc. Cette instrumentalisation de la salle de pose de nombreuses questions éthiques [68]. Dans le cadre d'activités en présentiel, nous pensons qu'une alternative intéressante est d'adapter l'activité au contexte à partir d'informations disponibles sans une trop forte instrumentalisation de la classe. Ainsi, les serveurs locaux pourraient intégrer des connaissances sur leur emplacement, l'identité des enseignants, les enseignements actuellement lancés, etc. Ces informations peuvent être mises à profit pour améliorer encore la pause et la reprise des activités, le partage des activités, ou pour proposer des variantes mineures des activités en fonction de l'endroit où elles se déroulent (par exemple, lire des livres spécifiques lorsqu'on est à la bibliothèque au lieu d'utiliser Wikipédia lorsqu'on est en classe).

L'architecture de Toccata prend en charge l'adaptation des dispositifs et l'itinérance grâce à notre approche web. Cependant, elle présente des limites par rapport au développement natif lorsqu'il s'agit de la détection mobile ou de la prise en charge des dispositifs portables.

Les navigateurs web ont un accès limité aux capteurs tels que le niveau de la batterie, les fonctions avancées des dispositifs photo, le Bluetooth ou la communication en champ proche (NFC). Le Bluetooth ou le NFC peuvent être utilisés pour nous permettre de détecter la proximité d'un enseignant par rapport à un dispositif et de déverrouiller la tablette des apprenants avec des fonctions réservées à l'enseignant lorsqu'il est proche.

Les contrôleurs portables, tels que les montres connectées, peuvent aussi améliorer le degré de contrôle des enseignants dans la salle de classe. Ils ont l'avantage de laisser les mains libres aux utilisateurs et de fournir des informations de différentes façons et de manière discrète (vibrations, écran, son). Ils peuvent également faciliter l'identification, par exemple, des contrôleurs portés par les enseignants peuvent leur donner un contrôle supplémentaire lorsqu'ils interagissent avec les tablettes des apprenants [61].

4.7.6 *Prise de notes et processus réflexif de conception d'activités*

Un des objectifs de Toccata est de permettre aux enseignants de réutiliser leurs activités et de les améliorer pour de futures classes. Cependant, nos déploiements n'ont pas duré assez longtemps pour observer la réutilisation d'activités de la part des enseignants. De plus, le déploiement de Toccata s'étant effectué sur un temps relativement court (une activité par enseignant), les enseignants ne pouvaient pas envisager de répéter la même activité l'année suivante.

Martinez Maldonado et al. [77] et Kharrufa et al. [60] ont proposé de montrer aux enseignants la différence entre le script et ce qui a été réellement effectué pendant la conduite de l'activité. Si de telles informations sont utiles lors de la reconception d'une activité, elles impliquent un suivi fin de la conduite d'activité.

Dans Toccata, les enseignants peuvent joindre des notes libres à une activité. Des mécanismes d'annotation plus légers, tels que des signets ou des drapeaux positifs/négatifs attachés à une étape, pourraient également aider à la reconception d'activités. Une autre stratégie pourrait être la création de notes plus structurées, par exemple en posant aux enseignants des questions fermées sur le déroulement de leurs différentes activités à la fin de leur journée.

4.8 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce chapitre, nous avons présenté Toccata, un système combinant les principes d'ABC et d'Orchestration pour le scripting et la mise en œuvre d'activités pédagogiques dans différents contextes scolaires. Par rapport aux travaux précédents d'ABC, Toccata offre des mécanismes de gestion des scripts et de flux de travail, avant et pendant l'activité. Toccata prend en charge la gestion des rôles et plu-

sieurs niveaux de partage d'activité. Toccata s'appuie également sur les technologies Web modernes et s'exécute dans un navigateur, ce qui nous permet d'intégrer des applications Web existantes en tant que ressources. Par rapport aux systèmes permettant l'orchestration, Toccata offre une approche générique de la gestion des activités pédagogiques sur différents dispositifs. De plus, Toccata peut fonctionner avec une connectivité limitée, voire nulle, et dans des situations de mobilité.

Nous avons mené trois études de cas pour vérifier si notre architecture prenait en charge différents contextes scolaires. Les enseignants ont réussi à créer et à exécuter des activités complexes de leur choix, en utilisant divers dispositifs, applications et ressources.

Les enseignants ont pu lancer des activités numériques dans la classe de manière fluide, se déplacer dans l'école et conduire des activités même avec des réseaux non fiables. Les apprenants n'ont rencontré aucun obstacle dans l'utilisation de Toccata, et ils ont pu collaborer pour mener leurs activités. L'approche "tout-en-un" de Toccata a limité les distractions et a encouragé les apprenants à rester sur l'activité.

Nos déploiements ont révélé que les enseignants ne comptaient pas sur Toccata pour orchestrer l'activité telle qu'elle se déroulait en classe. Une meilleure compréhension des "moments d'orchestration" pourrait également conduire à des composantes d'orchestration plus génériques dans Toccata et d'autres systèmes d'orchestration.

Enfin, bien que nous n'ayons pas encore étudié cet aspect, nous pensons que Toccata offre de nombreuses possibilités en tant qu'outil pour la reconception d'activités pédagogiques : soit en comparant les scénarios prévus à la manière dont ils se sont déroulés, soit en permettant une description qualitative du déroulé de l'activité. De tels mécanismes de réflexion pourraient avoir un impact direct sur la conception des activités et sur la façon dont les activités sont partagées entre collègues, ainsi que sur les pratiques des enseignants.

4.9 SYNTHÈSE

Les contributions de ce chapitre sont :

- La proposition d'un **modèle d'activités pédagogiques**.
- La proposition d'une **architecture** permettant d'éviter les problèmes de réseau des établissements scolaires.
- La **conception** de Toccata, un système permettant la création et la conduite d'activités pédagogiques en classe, en s'adaptant aux différentes contraintes liées au contexte éducatif.
- La **validation** de Toccata, avec la conduite de trois études de terrains, implémentant des activités variées.
- Une **discussion** sur la structuration linéaire des activités.
- La **perspective** d'adapter les activités au contexte dans de futurs travaux.

5 GESTION DES CLASSES MULTI-DISPOSITIF

Collaboratrice : *Audrey Serna*

Nous avons mené une étude d'observation visant à comprendre la façon dont les enseignants géraient des classes avec de multiples dispositifs (tablettes, ordinateur, vidéoprojection). L'objectif était de comprendre les problèmes récurrents et d'y répondre en identifiant les tâches de gestion de dispositifs. De cette étude, nous avons conçu un design space de tâches de gestion de dispositifs numériques en classe. Ce design space est structuré autour de cinq catégories : le type de tâche, le contenu manipulé, les dispositifs impliqués (source et cible), et enfin les utilisateurs impliqués.
À partir de ce design space, nous avons défini un ensemble de 17 tâches pour les classes impliquant de multiples dispositifs. Ces tâches se divisent en deux catégories principales : le partage de contenu et le contrôle à distance. Ces catégories sont composées de variantes autour des catégories restantes du design space (contenu, dispositifs, utilisateurs).

5.1 APERÇU GÉNÉRAL ET OBJECTIFS

De nos interviews avec les enseignants présentées dans le chapitre 3, et à partir de nos observations lors des déploiements de Toccata (chapitre 4.4.6.2), nous avons remarqué qu'il existe une réelle difficulté à gérer tous les dispositifs numériques en classe. En effet, les enseignants doivent gérer des écosystèmes complexes de dispositifs allant des ordinateurs personnels aux tablettes, en passant par les smartphones et les vidéoprojecteurs, sans oublier les tableaux blancs, les carnets de notes et les feuilles de papier. Ces dispositifs peuvent être utilisés dans différentes configurations qui évoluent au cours d'une session.

En pratique, cette richesse de l'écosystème devient un obstacle à l'utilisation des outils numériques dans les salles de classe (chapitre 3). En effet, en cas de problèmes, les enseignants et les apprenants peuvent perdre le fil de l'activité et mettre du temps à y revenir [100], ce qui entraîne une réticence de la part des enseignants pour renouveler l'expérience.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur les enseignants et sur les aspects pratiques de la gestion des dispositifs et des activités en classe.

Afin de comprendre comment concevoir de meilleures technologies orchestrables nous proposons de répondre aux questions de recherche suivantes :

- RQ@iQuelles sont les principales tâches de gestion des dispositifs dans les salles de classe ?
- RQ@iComment favoriser la conception de moyen de gestion de dispositifs numériques en classe ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une étude d'observation de manière à identifier les tâches de gestion des dispositifs utilisés par les enseignants et les défis auxquels ils sont confrontés dans leurs classes numériques. Cette étude a été faite auprès de quatre professeurs de mathématiques dans neuf classes différentes, qui réalisaient la même activité. Cette étude a ensuite servi de base à la définition d'un design space pour l'identification des tâches de gestion des dispositifs numériques dans la classe.

5.2 COMPRÉHENSION DE LA GESTION DE DISPOSITIFS NUMÉRIQUE EN CLASSE

Afin d'identifier *quelles sont les principales tâches de gestion de dispositifs en classe*, nous avons réalisé une étude d'observation. Nous avons enregistré en vidéo 9 classes de 4ème menées par quatre enseignants (2 hommes, 2 femmes). Nous les avons analysées pour identifier les façons dont les enseignants orchestrent une classe, et comprendre comment ils gèrent les ressources physiques et numériques, ainsi que les problèmes qu'ils rencontrent lors de cette gestion.

5.2.1 *Description de l'activité*

L'activité observée était une activité de mathématiques de 4ème sur la double distribution. La structure de l'activité était la même pour toutes les observations. Elle était divisée en trois étapes (fig. 29) :

1. Rappels de la leçon précédente, et leçon du jour sur la double distribution avec vidéoprojection sur le tableau blanc de la classe ;
2. Exemples illustrant la leçon avec vidéoprojection sur le tableau blanc de la classe ;
3. Exercices individuels sur les tablettes des élèves.

La durée des deux premières étapes n'était pas fixe alors que la dernière étape devait durer au minimum 30 minutes pour une durée totale de 55 minutes en classe. Le tableau 10 résume nos observations.

5.2.2 *Configuration de la classe et dispositifs utilisés*

Les élèves et les enseignants ont tous utilisé des tablettes Android 10 pouces. Chaque enseignant a utilisé un vidéoprojecteur relié à un ordinateur (un PC fixe dans sept observations et un ordinateur portable dans deux observations). Dans huit observations (**O1** à **O8**), la vidéoprojection était effectuée directement sur le tableau blanc et dans une observation (**O9**), un écran de projection devant un tableau noir a été utilisé. Les classes avaient différentes configurations spatiales : une classe avec des "îlots" en forme de L (3 observations, fig.30.a) ; une classe en U face au tableau blanc (1 observation, fig.30.b) ; et des classes avec des rangées de tables avec deux élèves côte à côte face au tableau blanc (5 observations, fig.30.c et d).

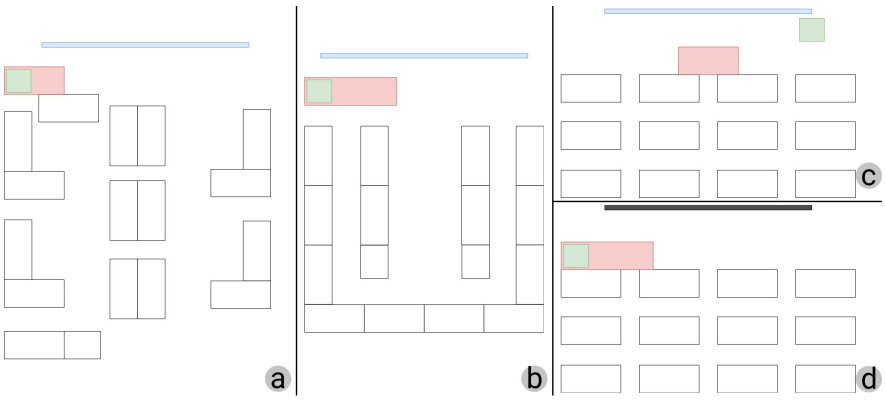


FIGURE 30 – Dispositions spatiales des classes

5.2.3 *Collecte de données et analyse*

Nous avons rencontré les enseignants avant les observations dans leurs établissements afin de recueillir les autorisations concernant l'enregistrement vidéo. Les caméras ont été placées de manière à ce que les apprenants qui n'acceptaient pas d'être enregistrés soient hors champ. Nous avons enregistré des vidéos grand-angle de chaque classe (fig.31). Nous avons centré notre analyse sur le comportement des enseignants dans l'orchestration de la classe, en mettant l'accent sur leur utilisation des dispositifs. Les élèves ont été considérés comme un tout, sans aucun codage de leur comportement individuel.

Nous avons effectué une analyse thématique des actions [14]. Le schéma de codage a été conçu en collaboration avec mes encadrants.

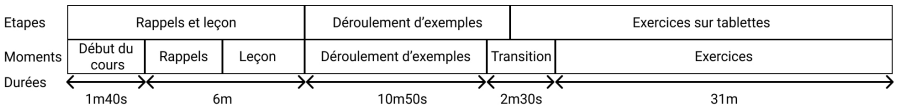


FIGURE 29 – Résumé de l'activité et durée moyenne de chaque étape.

FIGURE 31 – Capture d'un enregistrement en classe (gauche) et application utilisée lors de l'activité (droite)

Chacun a qualifié un enregistrement vidéo complet. Nous avons ensuite comparé et discuté des thèmes afin d'arriver à un accord sur leur signification, leur dénomination et leur hiérarchie.

Nous avons retenu cinq thèmes, présentés dans les résultats, de cette analyse. Nous avons étiqueté chaque action avec un thème complété par les informations suivantes :

1. une brève description de l'action ;
2. les buts visés lors de l'exécution des actions ;
3. le moment actuel de l'activité ;
4. l'efficacité de l'action par rapport à l'objectif.

Cette analyse a mis en évidence un total de 279 actions sur les 9 observations.

Afin d'évaluer l'importance relative des thèmes dans le processus d'orchestration, nous avons compté le nombre d'actions (**n**) observées pour chacun d'entre eux.

5.2.4 *Résultats*

L'analyse thématique s'est concentrée sur la façon dont les enseignants gèrent une classe multi-dispositif. Voici le nombre d'actions correspondant à chaque thème :

1. Les interventions pédagogiques 109/279 actions

Observation	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Enseignant	E1	E1	E1	E2	E2	E3	E3	E3	E4
Dispositifs	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau blanc	• Tablettes • PC • Projecteur • Tableau noir

TABLE 10 – Observations par enseignants

2. La configuration des dispositifs et de l'activité 94/279 actions
3. La gestion de flux de l'activité 44/279 actions
4. La gestion de l'attention des élèves 32/279 actions
5. La gestion de la vie scolaire 17/279 actions

Le dernier thème est marginal et implique des tâches administratives spécifiques qui ne sont pas nécessairement effectuées avec des outils numériques (par exemple effectuer l'appel des élèves). Nous avons donc décidé de conserver uniquement les quatre premiers thèmes.

5.2.4.1 *Interventions pédagogiques*

Ces actions sont principalement réalisées lorsque les enseignants interagissent avec les apprenants à des fins pédagogiques (durant les exercices (**n**=64), les exemples (**n**=19), la leçon et les rappels de la leçon précédente (**n**=26)). C'est le thème qui comporte le plus grand nombre d'actions (**n**=64), soit plus du tiers de toutes les actions observées. Nous avons identifié trois catégories d'interventions pédagogiques : les explications à l'échelle de la classe, l'aide individuelle et les conseils pour la classe.

Les enseignants se sont appuyés sur diverses modalités d'interaction pour gérer les aspects pédagogiques de l'activité en fonction de l'objectif qu'ils souhaitent réaliser. Deux principaux niveaux d'action sont utilisés par les enseignants lors des interventions pédagogiques : les actions pour **toute la classe** ou les actions pour les **individus**.

Pour les actions relatives à l'ensemble de la classe, les enseignants ont principalement effectué deux types d'actions : des explications pendant la leçon et des conseils pendant les exercices. Pour les explications pour **la classe** pendant la leçon, les enseignants se positionnent à proximité du **tableau blanc**. Ils interagissent avec le contenu projeté en pointant (**n**=36) ou en écrivant sur le tableau blanc (**n**=29). Lorsqu'ils proposent des exercices en classe, les enseignants passent fréquemment d'un dispositif à l'autre, par exemple d'une **tablette d'élève** à la **vidéoprojection** afin d'expliquer un concept à la classe. Lorsque les enseignants effectuent des interventions pédagogiques, en particulier lorsqu'ils donnent des explications, le **transfert de contenu d'un dispositif à un autre est difficile**, et souvent est réalisé manuellement, par exemple en recopiant les réponses de l'élève de la tablette vers la vidéoprojection. Nous avons également observé que les enseignants doivent souvent revenir à l'ordinateur pour **interagir avec le contenu projeté** (faire défiler le contenu, passer d'une application à l'autre ou empêcher l'ordinateur/projecteur de se mettre en veille).

Lorsque les enseignants n'interagissent pas avec l'ensemble de la classe, nous avons observé des actions au niveau des **individus**, visant à aider des élèves en particulier. Ces actions impliquent généralement la manipulation des dispositifs (numériques ou non) des élèves par l'enseignant (agir sur l tablette, ouvrir le cahier des élèves, montrer sur le brouillon, etc.) (**n**=19).

5.2.4.2 *Configuration des dispositifs et de l'activité*

Ces actions sont liées à la manière dont les enseignants mettent en place les dispositifs en classe afin de réaliser l'activité. Elles ont lieu principalement au début de la classe et pendant la transition entre la leçon et les exercices (respectivement 42% et 47% des actions liées à la gestion des dispositifs ont eu lieu au début de l'activité ou pendant la phase de transition). Nous avons identifié quatre catégories d'actions : résoudre des problèmes techniques, donner des instructions sur l'utilisation des dispositifs, prévenir ou atténuer les problèmes éventuels, et mettre en place l'activité sur les dispositifs. Dans de nombreux cas (**n**=23 sur 94), les enseignants ont interagi directement avec les **tablettes des élèves** pour résoudre des problèmes techniques. Ils ont également utilisé leurs propres tablettes pour le faire, par exemple lors de la réinitialisation des connexions wi-fi pour toute la classe. La connexion aux différents éléments nécessaires à la réussite de l'activité (ent, wifi, etc.), bien que faisant partie des compétences à acquérir par les élèves, est chronophage. La plupart des pannes que nous avons identifiées étaient liées à des problèmes d'infrastructure ou de logiciels.

Une observation importante est que les enseignants laissent leur tablette sur leur bureau et effectuent de nombreux allers-retours entre la classe et leur bureau. Les tablettes sont encombrantes à transporter et les enseignants ne peuvent pas les ranger facilement lorsqu'ils commencent à interagir avec les apprenants. Nous avons remarqué que la configuration spatiale des classes a peu d'impact sur la gestion des dispositifs ni sur la mobilité des enseignants dans la classe. Ils se déplacent tous entre leur bureau et celui des élèves, et ne semblent pas être influencés par la configuration spatiale de leur classe.

5.2.4.3 *Gestion du flux d'activité*

Ces actions concernent la manière dont les enseignants contrôlent la progression, le flux de l'activité et les contraintes de temps au niveau des **individus**, des **groupes** et de la **classe**. Les enseignants ont surtout géré le flux de l'activité pendant les exercices et lors de la transition entre la leçon et les exercices. Nous avons identifié quatre catégories : la gestion du temps, la gestion de la progression dans l'activité, les conseils aux élèves et à la classe pour les aider pendant l'activité, et le contrôle de l'activité pour un sous-ensemble de la classe.

Les enseignants ont géré le déroulement de l'activité principalement via des instructions orales. Ils transmettent des informations sur la progression attendue, c'est-à-dire sur l'étape en cours de l'activité, ou demandent aux apprenants de passer à l'étape suivante de l'activité. Pendant les exercices, la gestion du flux d'activité se fait une fois encore principalement par des informations orales aux apprenants

sur la progression attendue, ou par des instructions pour l'activité. Par exemple, lorsqu'ils expliquent aux apprenants que pendant les exercices ils doivent être sur une partie spécifique des exercices.

Les enseignants ont souvent dû **déverrouiller** ou **contrôler à distance** le contenu affiché sur les tablettes, principalement pendant la phase de transition et les exercices. Dans l'activité que nous avons observée, les enseignants devaient "activer" les exercices pour qu'ils soient disponibles sur les tablettes des élèves. Afin de gérer la progression, les enseignants interrogent fréquemment la classe pour savoir dans quelle mesure les apprenants progressent.

5.2.4.4 *Gestion de l'attention*

Ces actions sont liées à la manière dont les enseignants gèrent l'attention des élèves. Nous avons observé une majorité d'actions de gestion de l'attention pendant les exercices, la transition entre la leçon et les exercices, ainsi qu'au début de la classe. Ces actions correspondent à des problèmes d'attention qui sont identifiés et résolus par l'enseignant. Nous avons identifié trois catégories de gestion d'attention, dont deux concernent l'utilisation de cahiers ou de tablettes :

1. Gérer l'attention des élèves dans le cadre de l'activité d'apprentissage, en recentrant l'attention des élèves sur l'activité (*"Pouvez-vous vous concentrer sur les exercices ?"* **E3**).
2. Gérer plusieurs **dispositifs** en parallèle pendant la même partie de l'activité, et maintenir l'attention sur les dispositifs concernés. Ici, la simple présence de tablettes sur le bureau des élèves au début de la classe peut conduire à une gestion supplémentaire de l'attention, par exemple, l'enseignant 3 répétant "Non, on ne touche pas aux tablettes maintenant" ou l'enseignant 1 demandant aux apprenants de "concentrer leur attention".
3. Gérer la transition d'un dispositif à l'autre, soit lors du passage de la leçon à une activité sur papier en début de classe, soit entre le papier et les dispositifs numériques, par exemple *"Pouvez-vous laisser les tablettes et vous reconcentrer ?"* (**E3**) et vice-versa *"Ouvrez votre cahier au chapitre 7"* (**E1**).

En pratique, le fait d'avoir **l'écran et le son** des dispositifs allumés est une **source de distraction qui nécessite une gestion de la concentration**.

5.3 DESIGN SPACE CENTRÉ ENSEIGNANT POUR LES TÂCHES DE GESTION DES DISPOSITIFS EN CLASSE

Sur la base des observations et des travaux des chapitres 3 et 4, nous proposons un design space pour la conception de tâches de gestion de dispositifs en classe. Ce design space décrit les 5 di mensions

auxquelles il faut faire attention lors de la conception de moyens permettant de gérer des dispositifs numériques en classe :

1. La première caractéristique de conception est l'**action**. Elle structure l'objectif formel de l'enseignant. Dans nos observations, deux catégories de moments critiques et récurrents ressortent : (1) Le partage de contenu, lié aux interventions pédagogiques que nous avons observées, et (2) le contrôle à distance, correspondant soit à la gestion des activités, soit à la gestion de l'attention.

(2-3 Le seconde caractéristique concerne les dispositifs engagés dans l'action : **dispositifs sources** et **dispositifs cibles**. Pour ces deux catégories, nous distinguons les dispositifs de l'enseignant de ceux des élèves, en particulier pour les tablettes. Par exemple, les enseignants peuvent partager l'écran de leur tablette, une tablette d'élève, un ensemble de tablettes, toutes les tablettes d'élèves ou l'ordinateur connecté au vidéoprojecteur.

(4) Nos observations suggèrent que les tâches sont aussi caractérisées par le type d'**objet manipulé**. Nous distinguons trois types d'objets : un élément spécifique (par exemple lorsqu'un enseignant contrôle un exercice), une application chargée sur un dispositif (par exemple l'Evironnement Numérique de Travail (ENT) utilisé par les enseignants), et le dispositif en tant que tel (par exemple lorsque l'enseignant éteint l'écran de la tablette d'un élève). Ces niveaux d'objets permettent un contrôle détaillé de tous les dispositifs.

(5) Enfin, le dernier élément de conception est relatif aux **utilisateurs cibles**. Ce sont les personnes impliquées dans les actions des enseignants. Les enseignants peuvent interagir avec un élève spécifique, un groupe ou toute la classe. Nous n'avons pas ajouté de catégorie pour les utilisateurs sources puisque nous ne considérons que les actions déclenchées par les enseignants.

Nous avons laissé de côté les éléments liés aux problèmes techniques, qui vont au-delà de la gestion directe des dispositifs, tels que ceux identifiés : problèmes de réseau (chapitre 4), communication entre les dispositifs [46], et défis d'orchestration tels que la surveillance de la progression [93] ou le scripting d'activité [21].

5.3.1 *Position des travaux existants dans notre design space*

En nous basant sur le design space proposé, nous avons examiné les systèmes de gestion de dispositifs et d'orchestration identifiés dans le chapitre 2. Nous n'avons sélectionné que les systèmes testés en classe (Shared orchestration [72], Unipad [64] et TinkerLamp [96])

et ceux issus de l'industrie (Apple classroom [1]) afin de les confronter à notre design space (voir tab. 11).

Pour le partage de contenu, tous les systèmes étudiés prévoient des actions de partage de contenu uniquement à la classe (dimension *Utilisateur cible*) grâce au vidéoprojecteur et éventuellement au dispositif de l'enseignant (ordinateur ou tablette). Les principales différences apparaissent pour les dimensions *Objet manipulé* et *Dispositif source*. L'orchestration partagée [72] propose de partager des éléments spécifiques, mais aussi l'ensemble de l'application à partir de l'ordinateur des élèves. Unipad [64]permet de partager des éléments à partir des tablettes des apprenants. Apple classroom ne prend en charge le partage de contenu qu'au niveau de l'application, mais offre la plus grande variété de dispositifs sources et cibles.

À propos du contrôle à distance des dispositifs, les systèmes académiques ne proposent que peu de possibilités. Tant Unipad [64] que Tinkerlamp [96] se concentrent sur le contrôle des applications permettant aux enseignants de réguler la progression des activités, mais pas à la gestion des dispositifs en eux-mêmes. Apple classroom est le système le plus avancé pour le contrôle des dispositifs. L'application permet aux enseignants de gérer les dispositifs d'un élève, d'un groupe d'élève ou de toute la classe (dimension *Utilisateur cible*). Apple classroom permet également aux enseignants de prendre le contrôle du son et de l'écran des dispositifs, ainsi que des applications lancées sur une tablette de l'apprenant. Enfin, nous pouvons remarquer qu'aucun de ces systèmes ne permet aux enseignants de prendre le contrôle d'éléments d'une application.

En résumé, l'analyse des travaux existants à travers notre design space met en évidence deux aspects qui n'ont pas encore été explorés et qui semblent néanmoins importants pour la gestion des dispositifs présents dans salles de classe. Tout d'abord, nous constatons qu'aucun des systèmes ne prend en charge le partage de contenu directement vers les élèves, tâche qui est plus simple avec le papier. Cependant, ce type de partage a été fortement étudié dans le domaine de l'interaction entre dispositifs (cross-device interaction), avec projection et partage d'éléments et d'applications vers de nombreux dispositifs (voir [15]). Ces études ont porté sur diverses configurations et divers dispositifs, tels que le partage un à un ou diffusion, le partage avec des tablettes, des ordinateurs, des vidéoprojecteurs, etc. Il est donc techniquement possible de réaliser le partage de contenu vers les élèves, en adaptant les systèmes réalisés dans d'autres contextes au contexte pédagogique (gestion des droits, réciprocité des actions, etc.). Deuxièmement, aucun des systèmes ne prend en charge le contrôle à distance d'éléments spécifiques sur les dispositifs. Cela est probablement dû au fait que, dans la pratique, les environnements d'apprentissage multi-dispositif avec des élèves,

1. https://apps.apple.com/us/app/classroom/id1085319084

		Shared orchestration [24]		Unipad [23]		TinkerLamp [11]		Apple classroom*	
Action	Partage de contenu	■		■				■	
	Contrôle à distance				■		■		■
Objet manipulé	Élément	■		■					
	Application	■			■		■	■	■
	Dispositif				■				■
Dispositif source ●→	Tablette (élève)							■	
	Tablette (prof)				■			■	■
	Tablettes (élèves)			■				■	
	Vidéoprojecteur								
	Computer	■							
	Tangible						■		
Dispositif cible →◉	Tablette (élève)							■	■
	Tablette (prof)							■	
	Tablettes (élèves)				■			■	■
	Vidéoprojecteur	■		■				■	
	Ordinateur	■					■		
	Tangible								
Utilisateur cible	Élève								■
	Groupe						■		■
	Classe	■		■	■		■	■	■

* Apple classroom ne fonctionne que sur des dispositifs Apple

TABLE 11 – Présentation de notre design space et mise en correspondance avec les systèmes issus de la recherche et de l'industrie

des groupes, des classes et des enseignants, sont très différents des autres environnements multi-dispositif liés au travail. Par exemple, les enseignants peuvent vouloir débloquer temporairement des droits administrateur sur les dispositifs des élèves. En ajoutant la notion de contrôle à distance, nous pouvons alors nous inspirer et adapter les travaux existants pour qu'ils correspondent aux besoins des enseignants dans un contexte éducatif scolaire.

5.4 DISCUSSION

Nous avons proposé un design space afin de décrire de manière structurée les tâches de gestion de dispositifs réalisées par les enseignants. Nous proposons cinq dimensions à considérer : les tâches (partage de contenu ou contrôle à distance), l'objet manipulé (élément, application, dispositif), l'utilisateur cible (apprenant, groupe, classe), les dispositifs source et cible. Comme le montre le tableau 11, les systèmes existants ne couvrent que partiellement ces besoins. Aucun des systèmes ne prend en charge le partage de contenu directement avec les élèves, ce qui est simple à réaliser avec du papier ; et aucun des systèmes ne prend en charge le contrôle à distance d'éléments spécifiques sur les dispositifs. Nous avons abordé ces aspects dans notre deuxième étude.

Notre design space pourrait être étendu afin d'envisager des activités plus larges. Nous avons supposé que seul l'enseignant pouvait gérer les dispositifs. Mais toute activité de collaboration nécessiterait un plus grand contrôle de la part des élèves (cela impliquerait à minima l'ajout d'une dimension **utilisateur source/acteur** au design

space). Dans la dimension liée aux dispositifs, nous nous sommes limités à un petit ensemble de dispositifs, mais nous aurions pu en ajouter d'autres. De même, le type de tâches discutées pourrait être élargi ou décrit dans des catégories plus fines. Mais la complexité du design space aurait ainsi augmenté et aurait induit un risque de sur-spécification.

5.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude pour identifier les pratiques et les besoins des enseignants pour la gestion des dispositifs numériques en classe. Nous avons proposé un design Space pour décrire ces tâches de manière systématique.

Nous avons montré que le partage de contenu et les tâches de contrôle à distance sont essentiels pour les enseignants. Pour spécifier ces tâches, nous proposons un design space construit autour de cinq dimensions.

5.6 SYNTHÈSE

Les contributions de ce chapitre sont :

- L'identification des pratiques et besoins des enseignants en termes de gestion de dispositifs numériques en classe :
  - Les enseignants réalisent principalement des interventions pédagogiques
  - Le contrôle du flux de l'activité et la gestion de l'attention des élèves sont des actions critiques pour les enseignants
  - Les enseignants agissent directement sur les tablettes des élèves pour résoudre les problèmes
- La proposition d'un design space pour les tâches de gestion de dispositifs en classe et centré sur cinq dimensions
  - Le type d'action à réaliser
  - L'objet manipulé lors de l'action
  - Les dispositifs sources de l'action
  - Les dispositifs cibles de l'action
  - Les utilisateurs cibles pour qui l'action est destinée

6

STRATÉGIES D'INTERACTION POUR LA GESTION DE DISPOSITIFS NUMÉRIQUES EN CLASSE

Collaboratrice : *Audrey Serna*

Nous avons conduit une étude afin d'identifier des interactions implémentables pour permettre aux enseignants de gérer les dispositifs numériques en classe. Nous nous sommes appuyés sur les études d'élicitation pour mener notre étude, afin d'identifier les stratégies et les intentions d'interaction des participants qui permettent la gestion des dispositifs numériques en classe. Les études d'élicitations étant initialement conçues pour identifier des tâches à réaliser avec des interactions simples, nous avons adapté cette méthodologie pour des tâches impliquant de nombreux dispositifs, actions et interactions. Cette étude a montré que les tâches de contrôle étaient plus faciles à réaliser que celles de partage de contenus, notamment en intégrant une montre connectée. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour imaginer des interactions pour le partage de contenu. En effet, nous avons constaté que la sélection des dispositifs de partage de contenu était particulièrement complexe, car elle impliquait des actions explicites ou implicites.
À partir de cette étude, nous proposons des recommandations et des stratégies d'interaction pour la gestion des salles de classe multi-dispositif. Une fois mises en œuvre, ces recommandations devraient permettre aux enseignants de gérer de manière fluide les différents dispositifs présents en classe.

6.1 APERÇU GÉNÉRAL ET OBJECTIFS

Afin d'aider les enseignants à gérer les dispositifs numériques présents en classe, il est nécessaire de concevoir des interactions permettant cette gestion à partir du design space présenté dans le chapitre 5.3.

Ce travail de conception suppose, dans un premier temps, d'identifier les taches pertinentes pour les enseignants, puis dans un second temps les interactions et plus globalement les stratégies qu'ils privilégient. Nous avons ainsi identifié un ensemble de 17 tâches de gestion de dispositifs en classe en utilisant notre design space.

Nous avons ensuite identifié comment ils choisissaient de faire ces tâches en utilisant des dispositifs communément disponibles dans les salles de classe : **des tablettes et un vidéoprojecteur**. Le déploiement

de Toccata nous a montré que les tablettes étaient trop contraignantes comme dispositif de contrôle pour les enseignants et qu'ils les laissent sur leur bureau lorsqu'ils gèrent leur classe. Pour résoudre ce problème, nous avons décidé d'introduire une montre connectée comme dispositif portable que les enseignants pourraient utiliser pour contrôler les dispositifs depuis n'importe où dans la classe.

Nous avons mené une étude d'élicitation pour cette identification. Nous nous sommes attachés à comprendre les raisons pour lesquelles les participants choisissent des séquences de gestes en regardant leurs intentions (l'objectif et la signification liés au geste dans la séquence) car la variété des dispositifs rend possibles de multiples options pour effectuer ces tâches. Nous définissons donc les stratégies comme des séquences d'intentions associées à des gestes utilisés par les enseignants pour effectuer des tâches.

6.2 TRAVAUX EXISTANTS SUR LES ÉTUDES D'ÉLICITATIONS

Historiquement, les techniques d'élicitation ont été utilisées pour identifier des connaissances d'experts. Le but de ces études était de recueillir "*à partir d'une source humaine de connaissances, des informations considérées comme pertinentes*" [19]. Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances, les techniques d'élicitation ne sont qu'une partie de l'acquisition de la connaissance : la connaissance élicitée doit être expliquée et formalisée afin d'être transformée en un modèle [19, 37].

Depuis le milieu des années 2000, les études d'élicitation ont été de plus en plus utilisées en IHM [112, 113]. Leurs objectifs d'identifier des interactions à partir des gestes les plus naturels pour les utilisateurs. Ces études sont utilisées pour explorer des ensembles de gestes innovants dans différentes configurations (dispositifs tactiles [113], gestes corporels pour des affichages publics caractérisés par une grande distance entre l'utilisateur et le dispositif technique [94], etc.). Le principe des études d'élicitation est le suivant : en laboratoire, un ensemble de référents (effets d'une action) est montré aux participants, qui sont ensuite invités à proposer la cause (par exemple les gestes) qui ont conduit à l'effet. Un score d'accord est calculé pour identifier le consensus parmi les participants [113]. Ces études cherchent à regrouper les gestes et interactions associés à des référents semblables [113]. Cependant, ces études ont tendance à omettre les raisons et les processus qui amènent les participants à réaliser ces gestes. Ainsi, les interactions proposées deviennent spécifiques à la tâche et sont difficiles à généraliser.

En outre, ces méthodes sont utiles pour concevoir des interactions à un geste. Le calcul du score d'accord qui est généralement effectué après regroupement des gestes unitaires pour chaque référent [34, 94, 113]. De nombreuses variations du score d'accord de Wobbrock [113] ont été utilisées dans les études d'élicitation : taux d'accord lorsque

les participants peuvent proposer des gestes multiples pour chaque référent [79], taux de coaccords et de désaccords [108]. Le principal inconvénient du taux d'accord est qu'il n'est pas adapté pour les tâches complexes, impliquant de multiples dispositifs, utilisateurs, car l'interaction n'est pas unitaire. Le nombre de combinaisons différentes proposées explose et les calculs classiques n'ont plus de sens pour l'analyse (les scores calculés sont faibles).

Une solution pour limiter ce problème est de restreindre l'ensemble des gestes possibles avec des contraintes [94], de permettre aux participants de choisir uniquement sur un sous-ensemble de gestes, ou encore de proposer aux participants de noter leur préférence parmi plusieurs interactions possibles. [101] Toutefois, ces études ont pour but d'obtenir une correspondance entre les gestes et les référents plutôt que de soutenir la créativité des participants pour proposer de nouveaux gestes [86], et une fois de plus, elles ne s'intéressent guère aux raisons pour lesquelles les participants ont proposé ces gestes.

Notre étude s'inspire largement des études d'élicitation, bien que nos objectifs soient différents. Notre but n'est pas tant de découvrir des interactions "intuitives" ou "devinables", mais plutôt de comprendre la signification et les stratégies d'interaction des enseignants et de concevoir des interactions à partir de ces résultats. Les tâches de gestion multi-dispositif [1] sont souvent complexes, et nécessitent des interactions multiples, par exemple, la sélection de dispositif(s), la sélection d'une commande, l'authentification, etc. Dans notre étude, nous avons choisi de limiter le nombre de résultats possibles ; les participants pouvaient choisir des gestes dans un ensemble prédéfini de gestes et proposer des séquences de 6 gestes au maximum. Nous avons accordé une attention particulière à la manière dont les participants ont motivé leur choix de gestes. L'objectif est de rechercher une forme d'accord entre les participants au niveau des stratégies qu'ils mettent en œuvre.

6.3 PARTICIPANTS

Nous avons recruté 20 participants (8 femmes, 12 hommes), âgés de 23 à 63 ans (M=37,7, SD=10,9). Tous les participants sont des enseignants ayant une expérience d'utilisation des dispositifs numériques dans leurs classes. 14 d'entre eux utilisent régulièrement des dispositifs numériques pendant leurs cours. Ils ont déclaré utiliser des dispositifs numériques dans leur vie quotidienne (16 d'entre eux utilisent un smartphone et un ordinateur, portable ou PC, quotidiennement), mais seuls quelques-uns d'entre eux (5) ont une expérience préalable avec les montres connectées.

1. Nous utilisons le terme *tâche* au lieu de *référent* utilisé dans la littérature d'études d'élicitation, car la tâche reflète mieux la complexité des commandes.

La plupart des participants utilisent fréquemment des outils numériques en classe (14 participants utilisent fréquemment des dispositifs numériques, 6 utilisent des dispositifs numériques de temps en temps). Les dispositifs utilisés en classe sont principalement des vidéoprojecteurs (tous les participants fréquemment) et des ordinateurs (18 participants fréquemment, 2 participants de temps en temps). En revanche, les participants utilisent peu les tablettes en classe (2 participants de temps en temps, 18 participants jamais). Les participants n'ont jamais utilisé une montre connectée en classe.

En dehors des salles de classe, les participants utilisent un ordinateur et un smartphone quotidiennement (respectivement 19 et 16. 4 participants ne possèdent pas de smartphone). Les participants utilisent une tablette régulièrement (6) et de temps en temps (10). En revanche, seuls 3 participants utilisent une montre connectée quotidiennement, tandis que 2 participants en utilisent une de temps en temps et 15 n'en ont jamais utilisé.

Ces résultats mettent en évidence la faible utilisation régulière des tablettes et des montres connectées à des fins pédagogiques. En n'ayant que deux participants ayant une expérience des tablettes en classe et aucun utilisant une montre connectée en classe, nous limitons les biais dus à "l'expérience avec des interfaces et des technologies antérieures" [81].

6.4 TÂCHES DE GESTION DE DISPOSITIFS

Nous avons identifié des tâches de gestion de dispositifs numériques pertinentes pour la classe à partir des résultats de l'étude présentée en 5.2. Nous nous sommes concentrés sur les tâches réalisées par les enseignants lorsqu'ils contrôlent des dispositifs individuels, ou lorsqu'ils gèrent la classe entière. L'activité de l'étude précédente ne possédait pas de tâches en groupe, nous les avons laissés de côté à ce stade de la recherche. Cependant, il serait intéressant de compléter notre étude en incluant les tâches en groupe.

Pour construire un ensemble de 20 tâches de gestion de dispositifs, sur la base des actions réalisées par les enseignants que nous avons observées précédemment, ainsi que des tâches qui ont été utiles, mais qui n'ont pas pu être réalisées (ou réalisées par le biais d'instructions plutôt que par une intervention directe). Ensuite, nous avons regroupé et requalifié certaines tâches afin d'être plus générique. Par exemple, nous avons regroupé les trois tâches "amener tous les élèves à faire le même exercice", "mettre en évidence un élément pour tous les élèves", et "débloquer une étape pour tous les élèves" en une seule tâche : "prendre le contrôle de toutes les tablettes"). Nous avons également spécifié des tâches trop générales, par exemple, nous avons divisé "effectuer des actions [tâches] sur le projecteur" en quatre tâches : deux liées au partage du contenu des tablettes des élèves vers la vi-

déoprojection, et deux liées au contrôle à distance de la vidéoprojection.

Nous avons ainsi obtenu un total de 19 tâches de gestion de dispositifs. Nous avons présenté l'ensemble à un designer d'Open Digital Éducation, un partenaire du projet REPI. Ce designer est un expert en systèmes d'apprentissage scolaires (design des ENT neo et one, déployés dans plusieurs régions françaises), et avons réduit l'ensemble à 17 tâches sur la base de ses commentaires.

6.4.1 *Tâches de partage de contenu*

Ces tâches sont toutes liées au transfert du contenu entre les dispositifs (tablettes ou projecteur). Elles sont toutes initiées par un enseignant qui partage le contenu avec des élèves ou avec toute la classe (voir tab.12). Les enseignants peuvent soit partager l'écran entier d'une application, soit un élément (par exemple un exercice). Nous avons retenu 9 tâches de partage de contenu :

1. Partage d'une application d'une tablette élève au vidéoprojecteur (par exemple, partage de la feuille de calcul d'un élève pour la corriger avec la classe)
2. Envoyer un élément d'une tablette élève au projecteur (par exemple, montrer la réponse d'un élève à un exercice au tableau avec la vidéoprojection)
3. Envoyer une application de la tablette de l'enseignant à une tablette élève (par exemple, partage de la correction sur la feuille de calcul avec un élève)
4. Envoyer un élément de la tablette de l'enseignant à une tablette élève (par exemple, partager une correction d'exercice à un élève)
5. Envoyer une application d'une tablette élève à toutes les tablettes des élèves (par exemple, demander à tous les élèves de corriger la feuille de calcul d'un élève)
6. Envoyer une application d'une tablette élève à toutes les tablettes des élèves et au vidéoprojecteur (par exemple, partager la feuille de calcul d'un élève aux autres élèves et l'analyser avec la classe)
7. Envoi d'un élément de la tablette élève à toutes les tablettes et au vidéoprojecteur (par exemple, partager la réponse d'un élève à un exercice aux autres élèves et l'analyser avec la classe)
8. Envoi d'un élément depuis toutes les tablettes des élèves vers le vidéoprojecteur (par exemple, comparaison des réponses de tous les élèves en classe)
9. Envoi d'une application depuis toutes les tablettes des élèves au vidéoprojecteur (par exemple, comparaison de la feuille de calcul de tous les élèves en classe)

		1 Application d'une tablette élève à la vidéoprojection	2 Élément d'une tablette élève à la vidéoprojection	3 Application de la tablette enseignant vers une tablette élève	4 Élément de la tablette enseignant à une tablette élève	5 Application d'une tablette élève aux tablettes élèves	6 Application d'une tablette à tous les dispositifs	7 Élément d'une tablette élève à tous les dispositifs	8 Application des tablettes élèves à la vidéoprojection	9 Élément des tablettes élèves à la vidéoprojection	10 Prendre le contrôle d'une tablette élève	11 Prendre le contrôle de des tablettes élèves	12 Couper le son des tablettes élèves	13 Allumer le son des tablettes élèves	14 Allumer les écrans des tablettes élèves	15 Éteindre le son des tablettes élèves	16 Navigation d'application sur la vidéoprojection	17 Sélection d'élément sur la vidéoprojection
Action	Partage de contenu	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
	Contrôle à distance										■	■	■	■	■	■	■	■
Objet manipulé	Élément		■		■			■		■	■	■						■
	Application	■		■		■	■		■								■	
	Dispositif												■	■	■	■		
Dispositif source ●→	Tablette (élève)	■	■			■	■	■										
	Tablette (prof)			■	■													
	Tablettes (élèves)								■	■								
	Vidéoprojecteur																	
	Computer																	
	Tangible																	
Dispositif cible →◉	Tablette (élève)			■	■						■							
	Tablette (prof)																	
	Tablettes (élèves)					■	■	■				■	■	■	■	■		
	Vidéoprojecteur	■	■				■	■	■	■							■	■
	Ordinateur																	
	Tangible																	
Utilisateur cible	Élève			■	■						■							
	Groupe																	
	Classe	■	■			■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■

TABLE 12 – Tâches issues de notre design space (nous nous sommes concentrés sur l'orchestration par le professeur).

6.4.2 *Contrôle à distance*

Afin de gérer le déroulement de l'activité, les enseignants effectuent des tâches sur dispositifs des élèves lorsque l'enseignant n'est pas à proximité de ceux-ci. Ces tâches peuvent viser à assurer la progression des élèves lors de l'activité, à veiller à ce qu'ils ne soient pas bloqués, à contrôler l'attention des élèves ou à expliquer/gérer le contenu projeté à l'ensemble de la classe.

Nous n'avons pas d'a priori sur les dispositifs que les enseignants utiliseront lors de l'exécution de ces tâches. C'est pourquoi les lignes relatives aux dispositifs sources pour les tâches de contrôle à distance sont vides dans le tableau 12 (les tâches en vertical sont caractérisées par les dimensions du design space en horizontal (cases bleues)).

Pour gérer la progression des élèves dans l'activité, il faut pouvoir contrôler les tablettes individuellement ou au niveau de la classe. Nous avons identifié les tâches suivantes :

10. Prendre le contrôle du contenu d'une tablette élève (par exemple, débloquer une nouvelle activité pour l'élève)
11. Prendre le contrôle du contenu de toutes les tablettes des élèves (par exemple, débloquer une nouvelle activité pour tous les élèves)

Les tablettes peuvent être distrayantes et les enseignants doivent pouvoir les contrôler pour gérer l'attention des élèves. Les tâches de gestion de l'attention des élèves sont effectuées en activant et désactivant l'écran ou le son :

12. Éteindre le son sur toutes les tablettes des élèves
13. Allumer le son sur toutes les tablettes des élèves
14. Éteindre l'écran de toutes les tablettes des élèves

15. Allumer l'écran de toutes les tablettes des élèves

Contrôler la vidéoprojection à distance offre à l'enseignant la possibilité d'intervenir de n'importe où dans la classe. Les deux tâches principales sont :

16. Navigation sur la vidéoprojection (par exemple, passer d'une réponse à l'autre)
17. Sélection des applications sur la vidéoprojection (par exemple, passer d'un tableur à une leçon sur un lecteur de pdf)

6.5 VOCABULAIRE D'INTERACTION

Nous avons défini un ensemble de 25 gestes unitaires illustrés dans les figures 32 à 34. Pour concevoir notre ensemble de gestes, nous nous sommes inspirés de l'article de Brudy et al. *Cross Device Interaction* [15] où les auteurs énumèrent les modalités d'action en fonction des objectifs d'interaction, et des gestes existants sur les différents dispositifs. Ces gestes font intervenir trois dispositifs (montre connectée, tablette, tableau blanc (vidéoprojection)).

L'avantage d'utiliser des gestes existants est de se concentrer davantage sur les intentions des participants lorsqu'ils utilisent ces gestes, de comprendre les stratégies pour réaliser les tâches, et ensuite de permettre un groupement de gestes correspondant à des intentions.

6.5.1 *Gestes sur la montre connectée*

Nous avons défini 13 gestes basés sur la montre connectée (fig.32). Ces gestes sont inspirés du vocabulaire d'interaction existant sur les montres Samsung Galaxy : glisser, toucher, pincer, secouer, bouger le poignet, masquer l'écran, appuyer sur des boutons ou tourner le cadran de la montre. Un geste consiste à combiner montre connectée et tablette en les rapprochant l'une de l'autre (fig.32, geste 11).

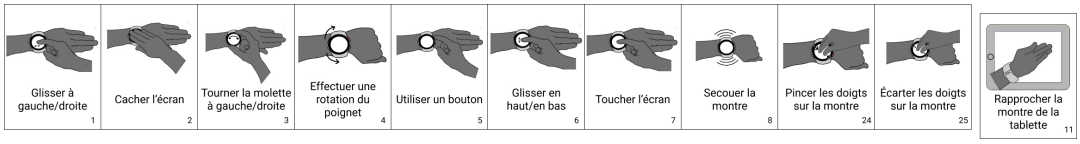


FIGURE 32 – Gestes proposés aux participants sur la montre connectée

6.5.2 *Gestes sur les tablettes*

Nous avons défini les gestes sur tablettes en nous inspirant du vocabulaire d'interaction existant avec de tels dispositifs : toucher un élément, déplacer un élément, glisser, pincer, appuyer sur des boutons physiques, retourner la tablette (fig.33). Certains gestes impliquent d'autres dispositifs : une montre connectée comme vu précédemment,

ou le fait d'amener la tablette à proximité d'une autre tablette (fig.33, geste 21), ou encore de viser le tableau avec celle-ci (fig.34, geste 9).

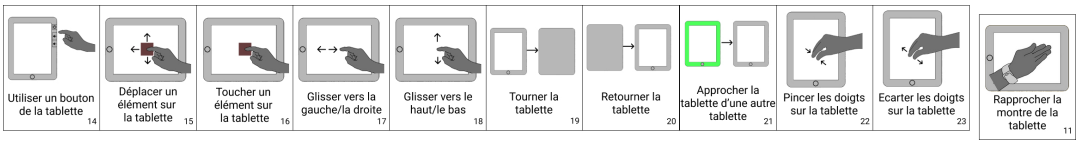


FIGURE 33 – Gestes proposés aux participants sur les tablettes

6.5.3 *Gestes liés à la vidéoprojection*

Parmi les dispositifs disponibles dans les salles de classe, le plus couramment utilisé est le vidéoprojecteur, utilisé sur un tableau blanc ou un écran de projection. Dans ce chapitre, nous utilisons les termes tableau blanc et vidéoprojection de manière interchangeable, afin de parler de la combinaison du vidéoprojecteur et de la surface de projection. Les vidéoprojecteurs sont des dispositifs passifs, nous avons décidé de laisser de côté le tableau blanc interactif pour des raisons de simplicité. Par conséquent, il n'y a pas d'interaction directe avec la vidéoprojection, mais seulement une interaction indirecte avec une montre connectée ou une tablette.

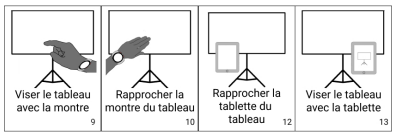


FIGURE 34 – Gestes proposés aux participants sur la vidéoprojection

6.5.4 *Modifieurs et combinaisons*

Pour des interactions plus riches, nous avons inclus deux modificateurs : le double tap et le tap long (appelés M1 et M2) qui peuvent être utilisés en association avec n'importe quel geste.

Ces gestes atomiques peuvent être combinés. Nous avons limité la longueur des combinaisons possibles à un maximum de six gestes par tâche [98].

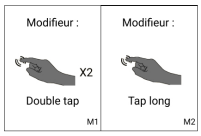


FIGURE 35 – Modificateurs de gestes

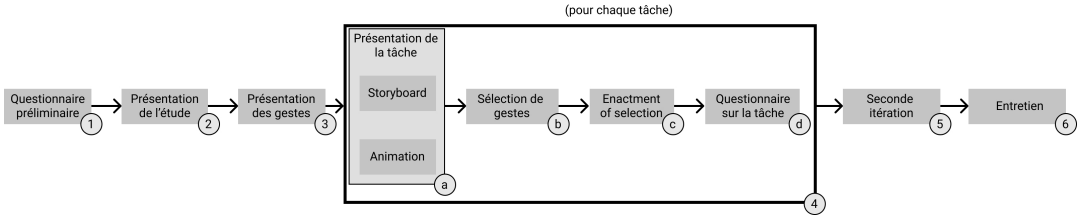


FIGURE 36 – Méthodologie mise en œuvre dans notre étude

6.6 MÉTHODOLOGIE

Nous avons commencé l'étude en (fig.36.1) demandant aux participants de remplir un questionnaire, afin de recueillir des données démographiques et des informations sur leur utilisation des outils numériques dans et en dehors de l'enseignement. Nous avons ensuite (fig.36.2) expliqué l'étude, sa procédure et son objectif. Nous avons ensuite (fig.36.3) présenté les cartes de gestes et demandé aux participants d'effectuer les gestes pour s'assurer que chaque carte était bien comprise.

Pour chaque tâche, nous avons répété (fig.36.4) la procédure suivante (nous avons tiré aléatoirement l'ordre des tâches pour chaque participant) :

1. Nous avons présenté chaque tâche aux participants sous la forme d'un story-board (fig.37.a). Le story-board a été divisé en 3 étapes :
   - État initial avec l'objectif de l'enseignant (par exemple, partager le contenu d'une tablette élève à la vidéoprojection)
   - État de transition
   - État final (par exemple avec le contenu montré sur une tablette élève et sur la vidéoprojection)

   Nous avons créé une animation illustrant les effets liés aux tâches et leurs contextes de réalisation au travers de deux images par avant-après (fig.38).
2. Les participants ont choisi un ensemble de gestes (de 1 à 6 cartes maximum) pour réaliser chaque tâche (fig.37.b). Nous leur avons demandé de réfléchir à voix haute au moment de choisir leurs cartes pour expliquer leurs intentions.
3. Les participants ont effectué l'interaction choisie avec les dispositifs disponibles.
4. Les participants ont évalué selon une échelle de Likert à 7 niveaux la compréhensibilité de la tâche, son utilité, la facilité d'exécution des gestes et leur niveau de satisfaction par rapport aux gestes choisis (fig.37.c). Nous avons capturé l'état de leur feuille de réponse en prenant une photo.

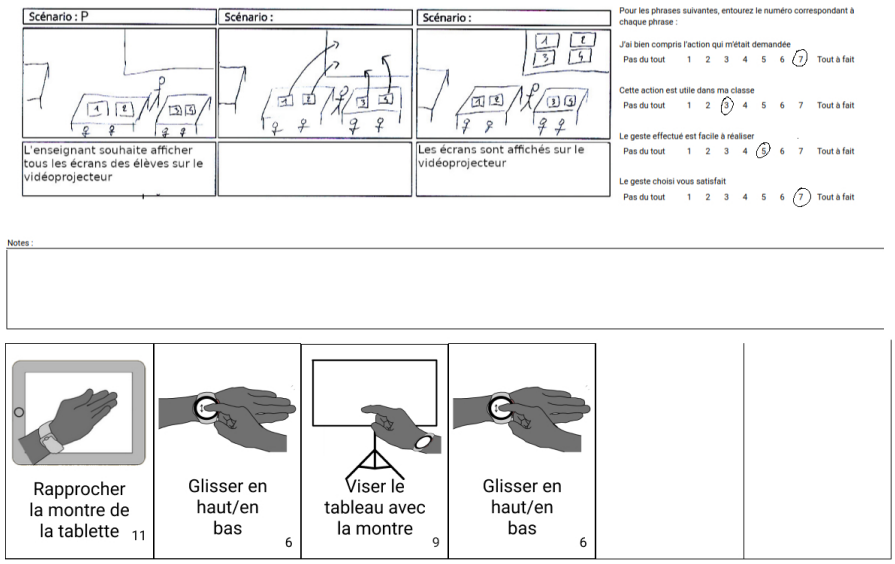


FIGURE 37 – Feuille réponse d'un participant

Après une première itération sur toutes les tâches, l'expérimentateur proposait aux participants de revenir sur leurs propositions. L'objectif était d'améliorer la cohérence interne entre les propositions d'un même participant.

Nous avons mené (fig.36.6) un bref entretien avec chaque participant. Les sujets abordés ont porté sur les raisons des stratégies qu'ils ont adoptées, les interactions qu'ils ont jugées insatisfaisantes et enfin la limitation liée à l'ensemble des cartes disponibles.

6.7 APPARATUS

Les sessions se sont déroulées dans une salle de classe d'université. La salle avait une disposition classique : des rangées de tables pour deux étudiants devant un écran de vidéoprojection (fig. 38). Nous n'avons pas modifié l'organisation spatiale de la salle de classe pour laisser les participants dans un contexte réel.

Les participants avaient accès à 7 dispositifs : une montre connectée, une tablette pour l'enseignant avec des droits d'administrateurs activés par défaut, 4 tablettes sur les tables des étudiants devant l'enseignant, une vidéoprojection sur un tableau blanc connecté à un PC. Les participants pouvaient se déplacer librement et combiner les dispositifs lorsqu'ils effectuaient des gestes.

La montre connectée utilisée est une Samsung Galaxy Watch fonctionnant sous TizenOS avec un écran de 1,3", un cadran rotatif, deux boutons physiques. Les tablettes utilisées sont des Samsung Galaxy Tab S2 fonctionnant sous Android avec un écran de 8", des boutons physiques (son, on/off, accueil). Le vidéoprojecteur utilisé a un ratio de 4/3 (75", 1280x960px).

FIGURE 38 – L'enseignant (rouge) et l'observateur (bleu) pendant la présentation de la tâche 9. De gauche à droite : état initial ; état final. Installation spatiale : tablettes des élèves sur la table des élèves, tablette de l'enseignant près de l'ordinateur, vidéoprojection, table de l'observateur à gauche de l'observateur.

6.8 MÉTHODE D'ANALYSE

6.8.1 *Objectifs d'analyse*

Vu la complexité des tâches proposées et la possibilité de combiner les gestes, nous avons conçu l'analyse autour de quatre objectifs, plutôt que de calculer un score d'accord :

1. Évaluer la pertinence des tâches
2. Comprendre la structure des séquences d'interaction proposées par les participants
3. Comprendre le choix des dispositifs pour effectuer les tâches
4. Comprendre les stratégies proposées par les participants

Pour évaluer la **pertinence des tâches**, nous avons posé deux questions aux participants : *à quel point la tâche est compréhensible ?* et *à quel point la tâche est perçue comme utile ?* Les participants ont répondu sur une échelle de Likert à 7 points allant de totalement inutile (ou non compris) à totalement utile (ou compris). L'objectif principal de cette analyse était d'identifier les tâches de gestion des dispositifs que les participants ont perçues comme utiles et inutiles.

Nous avons ensuite effectué une analyse de l'ensemble des tâches sur la **structure des séquences**. Cette analyse a porté sur la longueur des séquences, les gestes et les séquences les plus fréquentes. Notre objectif était d'identifier les gestes récurrents proposés par les participants. En comparant la longueur des gestes, nous avons voulu déterminer si certaines tâches devaient être réalisées avec des séquences d'interaction, ou si elles devaient être réparties en sous-tâches plus simples.

Nous avons affiné l'analyse en groupant plus spécifiquement les tâches ayant la même action dans le design space. La première catégorie (partage de contenu) a été conservée telle quelle, tandis que

nous avons divisé la seconde catégorie (contrôle à distance) en sous-catégories : contrôle du contenu de la tablette, contrôle physique des dispositifs, contrôle du contenu sur la vidéoprojection. Sur ces catégories, nous avons analysé les **dispositifs** les plus utilisés et la combinaison de dispositifs possibles pour réaliser les tâches. Notre objectif était d'identifier dans quelles tâches était utilisé un dispositif ou une combinaison de dispositifs donnée.

La dernière analyse s'est concentrée sur les **stratégies** (combinaison d'intentions associées à des gestes pour accomplir la tâche) proposées par les participants. Notre objectif était d'identifier les intentions les plus récurrentes apparaissant dans les stratégies, et de donner des indications permettant la construction de stratégies plus globales en fonction des catégories de tâches.

6.8.2 *Intentions et gestes*

Lors de l'étude, nous avons demandé aux participants de réfléchir à voix haute, c'est-à-dire d'expliquer les intentions associées aux gestes choisis. Nous les avons classés selon une liste de neuf éléments :

- (**DC**) Déclenchement d'une commande
- (**SS**) Sélection de la source
- (**SC**) Sélection de la cible
- (**SE**) Sélection de l'élément
- (**TE**) Transport de l'élément
- (**C**) Contrôle
- (**VdC**) Validation du contrôle
- (**VC**) Validation de la commande
- (**CC**) Choix de la commande.

Déclenchement de la commande est complété par l'objectif des tâches (partage pour les tâches 1 à 9, prise de contrôle pour les tâches 10 et 11, activation/désactivation pour les tâches 12 à 15, et navigation pour les tâches 16 et 17). Une première version de cette liste a été élaborée à partir d'une étude pilote avec deux participants. À partir des verbalisations des participants, nous avons étiqueté leurs propositions à l'aide de la liste des neuf intentions. Par exemple, lorsqu'un participant indiquait *"là je dis que j'envoie au vidéoprojecteur [l'utilisateur prend la carte fig.34.9]"*, nous associons cette carte à l'intention sélection de la cible (**SC**).

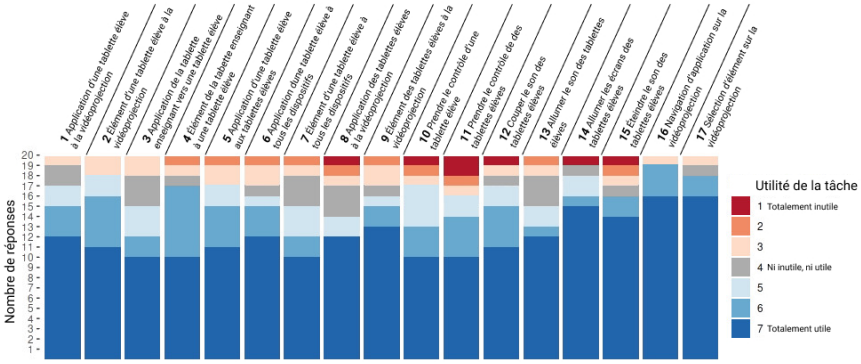


FIGURE 39 – Pertinence perçue des tâches en classe

6.9 RÉSULTATS

6.9.1 *Pertinence des tâches proposées*

Dans l'ensemble, les participants ont perçu les tâches comme étant pertinentes pour la gestion des dispositifs numériques en classe. (Fig. 39). La moyenne de l'utilité perçue pour les tâches est de 5/7, avec un écart type de 1,56. Nous avons donc conservé toutes les tâches dans l'analyse ci-dessous.

6.9.2 *Aperçu des propositions des participants*

La complexité des tâches et la possibilité de combiner les gestes pour accomplir une tâche ont conduit à un grand nombre de choix et de combinaisons de gestes. Les participants ont proposé 203 séquences différentes de gestes pour réaliser les tâches, sur un total de 340 propositions. Seulement 23 séquences ont été proposées 2 fois et plus, et la séquence la plus fréquente (déplacer une tablette à côté d'une autre avec un seul geste, fig. 33, geste 21) a été proposée 8 fois.

Les séquences de gestes pour effectuer des tâches varient de un à six gestes, avec majoritairement des propositions courtes de 1, 2 ou 3 gestes (fig.40). Les participants ont préféré proposer des séquences courtes et nous ont expliqué au cours des entretiens que les séquences courtes étaient plus faciles à réaliser et à mémoriser.

FIGURE 40 – Nombre de propositions en fonction de la taille des propositions

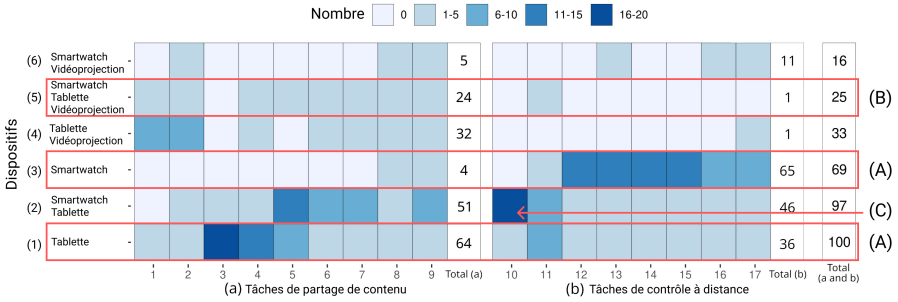


FIGURE 41 – Dispositifs utilisés pour chaque tâche

Les participants ont proposé six types de combinaisons de dispositifs (fig. 41) : utilisation de la montre connectée ou de la tablette seule, combinaison de deux dispositifs (montre connectée et vidéoprojection ; tablette et vidéoprojection ; montre connectée et tablette) et combinaison des trois dispositifs (montre connectée, tablette et vidéoprojection).

Dans la moitié des propositions (169/340, fig. 41.A, fig.42), les participants n'utilisaient qu'un seul dispositif. La combinaison de trois types de dispositifs (tablette, montre connectée et vidéoprojection) était difficile à réaliser et les participants n'ont proposé cette combinaison que dans 25 des 340 propositions (fig. 41.B, fig.42). Ces observations plaident en faveur d'une combinaison minimale des dispositifs : les participants ont préféré n'utiliser qu'un seul type de dispositif dans la plupart des cas. Lorsque l'utilisation d'un seul dispositif est insuffisante, ils ont combiné les dispositifs pour désambiguïser (par exemple, lorsqu'ils pointent vers un autre dispositif, comme la vidéoprojection, pour sélectionner la cible du partage d'applications). La combinaison de plusieurs types de dispositifs peut être utilisée pour débloquer des droits spécifiques, par exemple l'authentification des enseignants sur les dispositifs des étudiants (par exemple, en utilisant la proximité entre une montre connectée et une tablette des étudiants pour déverrouiller la tablette en mode enseignant, fig. 41.C, fig.42).

Les participants ont proposé un total de 47 stratégies différentes (ensemble d'intentions liées à des gestes) pour accomplir des tâches.

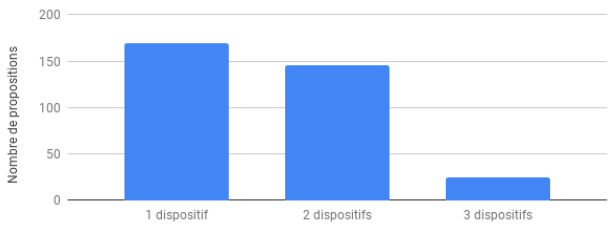


FIGURE 42 – Nombre de propositions en fonction du nombre de dispositifs utilisés

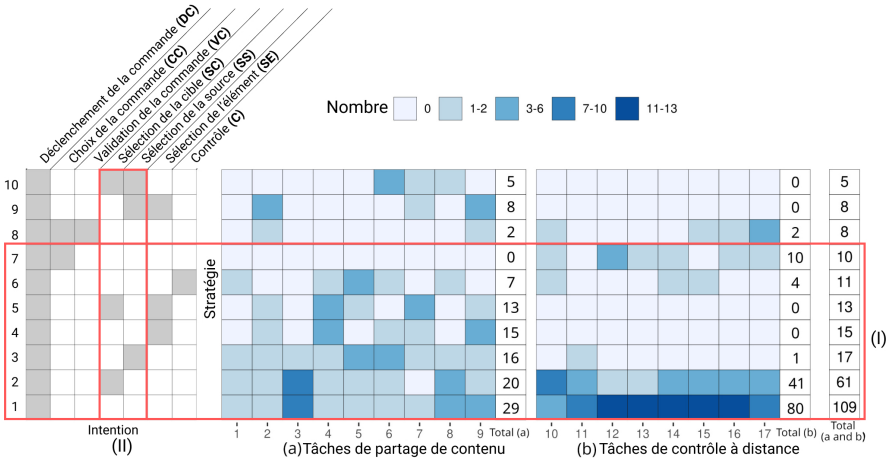


FIGURE 43 – Stratégies les plus populaires pour chaque tâche. Par souci de clarté, nous avons supprimé 83 stratégies qui n'ont été proposées qu'une ou deux fois.

Sept stratégies ont été proposées plus de 10 fois (fig. 43.I) :

1. Déclencher directement la commande (**DC**) associée à la tâche (109/340, fig.43.1)
2. Sélectionner la source (**SS**) et déclencher la commande (**DC**) (17/340 , fig.43.2),
3. Sélectionner une cible (**SC**) et déclencher la commande (**DC**) (61/340 , fig.43.3),
4. Sélectionner l'élément à transférer (**SE**) et déclencher la commande (**DC**) (15/340 , fig.43.4),
5. Sélectionner l'élément à transférer (**SE**) , sélectionner la cible (**SC**) et déclencher la commande (**DC**) (13/340 , fig.43.5),
6. Prendre le contrôle du dispositif (**C**) et déclencher la commande (**DC**) (11/340 , fig.43.6),
7. Choisir la commande (**CC**) et déclencher la commande (**DC**) (10/340 , fig.43.7).

Les 104 dernières réponses sont réparties entre 39 autres stratégies.

6.9.3 *Analyse par catégorie de tâches*

Nous avons complété cette analyse globale par une analyse par catégorie de tâches. Le groupement de tâches permet d'obtenir des résultats plus précis pour des tâches similaires.

6.9.3.1 *Partage de contenu*

Les tâches liées au partage de contenu impliquent au moins deux dispositifs (source et cible), ainsi que la sélection du contenu à partager (tout l'écran, une application, un élément). Nous n'avons observé aucune stratégie globale pour ces tâches (fig.43.a). Cependant,

les participants ont expliqué au cours des entretiens qu'ils essayaient de maintenir une forme de cohérence interne en fonction du contexte de partage (dispositif source, dispositif cible, élément à partager) en gardant le même geste/vocabulaire de gestes pour des tâches similaires.

DISPOSITIFS UTILISÉS Toutes les tâches de partage de contenu impliquaient une tablette, ce qui en fait le dispositif le plus utilisé, soit seul (64/180), soit combiné à d'autres dispositifs (51/180 avec la montre connectée, 32/180 avec la vidéoprojection, et 24/180 avec la montre connectée et la vidéoprojection (fig.41, lignes 1,2,4 et 5). Les participants ont trouvé que combiner tablettes et montre connectée était utile pour le partage de contenu *"la tablette et la montre connectée se complètent"* (P4). L'utilisation d'une montre connectée seule semble insuffisante pour partager du contenu pour une majorité de participants (seulement 4 propositions sur 340. fig.41, ligne 3). Cela est dû à la difficulté d'effectuer une sélection avec la montre connectée. L'écran est trop petit pour sélectionner un élément et tous les dispositifs sources et cibles avec la seule montre connectée .

SÉLECTION DES DISPOSITIFS Les participants ont proposé peu de séquences qui combinent la sélection de la source et de la cible (19/180). Dans la plupart des cas (112/180), ils ont choisi soit un dispositif cible (69/180), soit un dispositif source (62/180), sans préférence marquée pour l'un ou l'autre (fig.43.II). L'autre dispositif est alors implicitement sélectionné. Par exemple, pour la tâche 4 (partager l'écran entier de la tablette d'un élève avec les tablettes d'autres élèves et la vidéoprojection), 6 propositions impliquaient de sélectionner uniquement les dispositifs cibles (**SC**), 4 de sélectionner uniquement la source (**SS**) et 6 une combinaison de cibles et de source. Pour les tâches de partage de contenu, la plupart des participants ont sélectionné explicitement la source et/ou la cible (112/180) (fig.43.II). De manière générale, lorsqu'une cible a été explicitement sélectionnée avec un geste spécifique, comme rapprocher une tablette d'une autre (figure.33, geste 21) ou viser un dispositif (figure.34, gestes 9 et 13), la source a été sélectionnée implicitement, et vice versa lorsque la source est explicitement sélectionnée. Cette *sélection implicite* se fait grâce à :

- La proximité de l'enseignant par rapport à un dispositif : « Ma montre est proche donc elle détecte que je suis ici » (P7), « je me sers de la proximité de la montre pour la diffusion » (P2). (sélection implicite de la source)
- Le dispositif actuellement utilisé par l'enseignant, c'est-à-dire celui avec l'élément à partager. (sélection implicite de la source)
- Le positionnement du dispositif : « [Si la tablette de l'étudiant est en haut, elle va à l'enseignant [...] Si la tablette de l'ensei-

gnant est en haut, elle va à l'étudiant] »(P9). (sélection implicite de la cible ou de la source selon l'utilisateur)

En outre, pour les tâches où un élément spécifique est partagé (tâches 2, 4, 7, 8), les participants ont inclus un geste pour sélectionner clairement l'élément à partager (dans 56 propositions sur 100). Le geste utilisé pour sélectionner un élément était le plus souvent de toucher, sur la tablette, l'élément à sélectionner (figure.33, geste 16).

STRATÉGIES Les participants ont proposé des stratégies plus longues pour le partage de contenu que pour le contrôle à distance (davantage de gestes sont utilisés pour réaliser l'action). La tâche 3, où les participants devaient envoyer une application depuis la tablette de l'enseignant à la tablette d'un élève (fig.43), a le plus de propositions avec un seul geste. Huit participants ont déplacé la tablette de l'enseignant à côté de la tablette de l'élève (geste 21, fig.33). En effet, il n'y a aucun élément à sélectionner et la proximité entre les dispositifs est facile à réaliser.

Les participants ont essayé de conserver les mêmes gestes en fonction de leurs stratégies selon la source et la cible impliquées dans les tâches « chaque fois que j'essaie d'avoir les mêmes gestes » (P17), « J'essaie d'avoir le même genre de gestes selon la source et la cible » (P16). Malgré l'absence de consensus entre les participants pour les tâches de partage de contenu, deux stratégies récurrentes ont émergé (fig. 44) :

1. Partage d'une application : l'enseignant **sélectionne le dispositif source** à projeter et/ou il **sélectionne la cible** où le partage sera effectué, et enfin il lance la **commande de partage de contenu**. Cette phrase minimale pour le partage de contenu peut être complétée par d'autres intentions, par exemple, l'enseignant peut exécuter une **commande de contrôle** (pour accorder le droit de l'enseignant sur le dispositif) combinée avec la **sélection de la source** pour agir directement sur le dispositif des élèves, ou peut ajouter une **commande de validation** lors de l'exécution de la projection. Sur la figure 44, ces autres intentions sont incluses dans le nœud "autres". La structure minimale, en suivant la notation de l'algèbre de Boole (ET : **.**; OU : **+**), peut être écrite $(SS + SC).DC$.
2. Partage d'un élément spécifique : l'enseignant **sélectionne la source** à partager et/ou il **sélectionne l'élément à partager**, ensuite il **sélectionne la cible** où le partage sera effectué, et enfin il déclenche la **commande de partage**. Cette structure minimale peut être écrite $(SS + SC).SE.DC$.

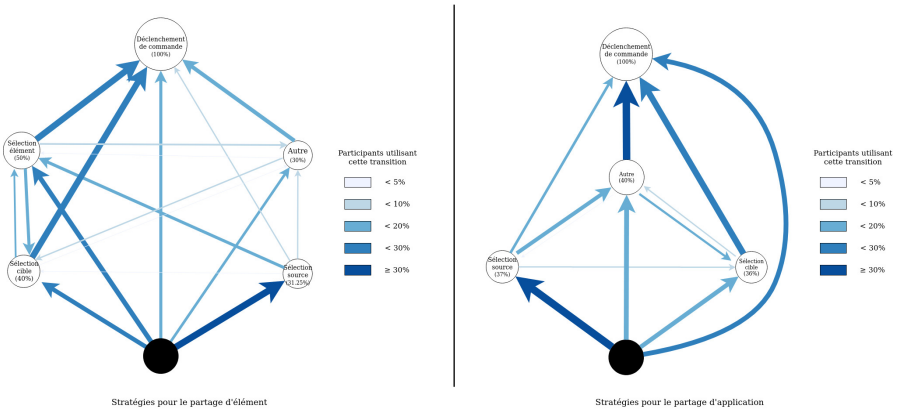


FIGURE 44 – Stratégies proposées par les participants pour les tâches de partage de contenu. La taille des nœuds représente le nombre de participants qui utilisent l'intention ; la taille et la couleur des transitions représentent le nombre de participants qui utilisent la transition

Résumé des résultats sur le partage de contenu :

- Les participants proposent principalement des combinaisons de gestes pour effectuer le partage de contenu, soit en utilisant des tablettes uniquement, soit en utilisant une combinaison de tablettes et d'autres dispositifs
- Il y a un consensus sur le geste à utiliser pour sélectionner un élément (toucher l'élément sur la tablette, geste 16)
- Les participants ont sélectionné la cible et/ou la source

6.9.3.2 *Contrôle à distance*

Les tâches de contrôle à distance (tâches 10 à 17) sont moins complexes que les tâches de partage de contenu, car elles impliquent moins de dispositifs (seulement la cible, pas la source).

CONTRÔLE DU CONTENU DES TABLETTES Pour les tâches liées au contrôle du contenu sur les tablettes des élèves, par exemple éteindre les écrans de toutes les tablettes, les participants ont principalement utilisé une combinaison de montre connectée et de tablette (24/40, fig.41 ligne 2) et des tablettes seules (13/40, fig.41 ligne 1) (tâches 10 et 11 de la fig.41). Dans 17 des 40 séquences proposées, les participants ont sélectionné le dispositif à contrôler avant de le contrôler. Près d'un tiers (13/40) ont utilisé un seul geste pour contrôler le contenu du dispositif. Pour ces tâches de contrôle (tâches 10 et 11), les participants (principalement pour la tâche 10) utilisent la tablette de l'élève pour effectuer l'action au lieu de la tablette de l'enseignant. Comme la prise de contrôle d'un contenu spécifique sur les tablettes des élèves peut être considérée comme un droit réservé à l'enseignant,

les enseignants veulent empêcher les élèves d'avoir accès à ces actions. Cette gestion des droits peut être effectuée de plusieurs manières :

1. Onze participants ont utilisé un de leurs dispositifs (soit la tablette de l'enseignant, soit la montre connectée) pour débloquer les droits enseignant sur les tablettes des élèves grâce à la proximité entre les dispositifs, en rapprochant leur dispositif de la tablette cible.
2. Deux participants ont exprimé le besoin d'empêcher les élèves de pouvoir réaliser ces actions de l'enseignant en ajoutant des gestes supplémentaires pour les réaliser
3. Sept participants n'ont pas pensé à cette situation

Bien que ce besoin de contrôle soit principalement présent pour ces deux tâches, il nous semble important d'en tenir compte pour toutes les tâches où les enseignants utilisent une tablette d'étudiant (comme par exemple pour afficher le contenu d'une tablette d'étudiant sur un autre dispositif).

CONTRÔLE DES MODALITÉS DE SORTIE DES DISPOSITIFS Les tâches 12 à 15 sont liées au contrôle à distance des modalités de sortie des dispositifs afin de gérer l'attention des élèves : mise en marche/arrêt des écrans des élèves et mise en sourdine/réactivation du son des tablettes afin d'attirer l'attention des élèves loin des tablettes. Dans 47 des 80 propositions, les participants ont utilisé la montre connectée seule pour effectuer ces tâches. Les participants ont principalement utilisé deux stratégies pour ces tâches : un seul geste pour déclencher la commande (48/80) ou, lorsqu'ils ont utilisé plus d'un geste, sélectionner la cible avec un geste et déclencher la commande avec un autre geste (15/80) (fig.41).

Certains participants ont essayé de lier les gestes de la montre connectée afin d'obtenir des « gestes faisant sens »(p17) c'est-à-dire : cacher l'écran de montre connectée pour éteindre/allumer les écrans des élèves, et utiliser les boutons de montre connectée pour mettre en sourdine et réactiver le son des tablettes. Les entretiens des participants pointent la nécessité de disposer de gestes « courts, rapides et faciles à réaliser » (p18) et une similitude entre les gestes pour réaliser des actions opposées (e.g. allumer l'écran/éteindre l'écran) « J'utilise des gestes similaires pour le contrôle du volume »(p2) lors de la gestion de l'attention des élèves.

CONTRÔLE DE LA VIDÉOPROJECTION Les dernières tâches sont liées au contrôle de la vidéoprojection (16 et 17). Ces tâches ont été jugées les plus utiles (fig.39). Deux ensembles de dispositifs ont été principalement utilisés par les participants : montre connectée seule dans 16 des 40 propositions et montre connectée combinée avec la vidéoprojection dans 10 des 40 propositions (fig.41, lignes 3 et 6). Les participants ont relié les dispositifs utilisés aux stratégies adoptées :

montre connectée seule avec une correspondance directe entre l'objectif de la tâche et un geste ; combinaison de montre connectée et de vidéoprojection vers la cible (en pointant la vidéoprojection ou en rapprochant la montre connectée de la vidéoprojection) et réalisation d'une action sur la montre connectée pour contrôler la vidéoprojection. Seules quelques propositions mettent en jeu une tablette seule (7/40, fig.41, ligne 1) ou combinée avec d'autres dispositifs (7/40, fig.41, lignes 2,4 et 5). Cela peut s'expliquer par la nécessité de contrôler la vidéoprojection depuis tous les endroits de la classe, alors que les enseignants n'ont pas un accès rapide à leurs tablettes lorsqu'ils sont loin de leur bureau comme le dit p17 : « je préfère utiliser la montre lorsque je suis dans les rangs ».

Résumé des résultats sur le contrôle à distance :

- Les participants utilisent principalement la montre connectée (seule ou combinée avec d'autres dispositifs) pour le contrôle à distance.
- Les tâches de contrôle peuvent être effectuées avec une correspondance directe entre l'action et un geste (e.g. prendre le contrôle d'une tablette en rapprochant la montre de la tablette).
- La gestion des droits sur les tablettes des élèves est nécessaire.
- Les dispositifs mobiles des enseignants (montre connectée ou tablette) peuvent être utilisés comme moyens d'identification.

6.10 DISCUSSION

6.10.1 *Utilisation de montre connectée pour les tâches de contrôle à distance simples*

Dans notre seconde étude, les tâches de contrôle à distance semblaient être les plus simples à réaliser. Les participants ont souvent choisi de les réaliser avec un seul geste. Nous avons observé un consensus sur l'utilisation de la montre connectée pour de telles tâches (123 sur 136 ont utilisé une montre connectée seule ou combinée avec d'autres dispositifs).

Les actions réalisées sur une montre connectée peuvent être effectuées rapidement sans grande charge cognitive, c'est-à-dire sous forme d'interactions périphériques [44]. Cela permettrait aux enseignants de poursuivre leur activité en cours avec peu d'attention consacrée à l'action : « Vous n'avez pas besoin de vous arrêter pour effectuer l'action et vous pouvez continuer le cours »(P4).

En raison de leur caractère portable, les montres connectées peuvent être utilisées pour des tâches de contrôle à distance depuis n'importe quel endroit de la classe. De nombreux participants l'ont appréciée

(P4, P7, P17), par exemple : « La montre est pratique si vous êtes au fond [de la salle, ou] si vous n'avez pas accès à votre tablette » (P4).

Lors de la conception d'interactions pour des montres connectées en classe, il convient de tenir compte du risque de collision entre gestes et sollicitations accidentelles [41] (comparable à l'effet Midas sur les surfaces tactiles). Les enseignants effectuent de nombreux gestes pour communiquer en classe. La montre connectée pourrait interpréter certains gestes comme des commandes. Pour éviter une telle confusion, les participants ont ajouté des étapes de validation, comme toucher l'écran de la montre connectée après avoir pointé vers le vidéoprojecteur.

Une montre connectée ne peut néanmoins pas être considérée comme une télécommande universelle. La plupart des tâches effectuées par les enseignants impliquent plusieurs dispositifs. Le point clé n'est pas nécessairement le dispositif utilisé, mais la disponibilité des dispositifs lorsque les enseignants veulent effectuer une tâche. Ainsi, il peut être pertinent de laisser la possibilité d'effectuer des tâches avec plusieurs dispositifs (tels que la montre connectée ou la tablette de l'enseignant), en donnant aux enseignants la possibilité de choisir le plus approprié à la situation.

6.10.2 *Combinaison de dispositifs pour les tâches de partage de contenu*

Les tâches de partage de contenu ont plus de paramètres que les tâches de contrôle à distance. Elles impliquent un contenu à partager, ainsi que différentes sources et différents dispositifs cibles. Ces tâches ne peuvent pas être effectuées avec un seul dispositif. Cependant, une combinaison de dispositifs peut augmenter les possibilités d'actions de plusieurs façons. On notera que les dispositifs mobiles (la montre connectée ou la tablette) sont, dans la plupart des cas, considérés comme un outil ayant des fonctionnalités différentes selon le contexte et les autres dispositifs associés, comme par exemple pour débloquer la tablette d'un élève qui est à proximité de l'enseignant ou pour pointer des dispositifs cibles distants.

En ce qui concerne le transfert de contenu, la montre connectée ou la tablette peut servir de **dispositif de transport**, comme le crayon dans pick and drop [92]. Par exemple, pour projeter le contenu d'une tablette d'étudiant vers la vidéoprojection (tâches 1 et 2), certains participants ont déplacé un dispositif mobile près de la tablette d'un élève, le stockant ainsi sur leur dispositif mobile, et l'ont transféré vers le projecteur lorsqu'ils se sont approchés de la projection. Dans ce cas, la montre a l'avantage de libérer les mains de l'enseignant.

6.10.3 *Interactions implicites pour la sélection*

La sélection des dispositifs peut être effectuée de manière explicite ou implicite. Ju définit les interactions implicites comme des interactions "qui se produisent sans que l'utilisateur n'en ait eu explicitement l'ordre ou la conscience" " [55]. Pour les tâches impliquant des dispositifs source et cible, les participants ont rarement sélectionné explicitement à la fois la source et la cible. En s'appuyant sur les concepts d'interactions en avant-plan et en arrière-plan [55], lorsqu'un enseignant utilise un geste spécifique pour sélectionner une source ou un dispositif, il effectue une **sélection en avant-plan**, alors qu'une sélection induite par les propriétés de l'interaction, comme le dispositif utilisé, serait une **sélection en arrière-plan**. Lorsqu'un enseignant vise le tableau blanc avec une tablette pour pousser le contenu, il effectue une sélection en avant plan : la cible est explicitement sélectionnée par l'enseignant, par le biais de la visée, tandis que la tablette contenant le contenu est sélectionnée en arrière-plan. En pratique, la sélection en arrière-plan est surtout utilisée pour sélectionner des sources (lorsqu'il n'y en a qu'une), alors que la sélection en avant-plan implique souvent de sélectionner des dispositifs cibles parmi de nombreux autres possibles. En termes de conception du vocabulaire d'interaction, cela suggère le besoin de gestes pour la sélection des dispositifs en avant-plan.

6.10.4 *Viser pour sélectionner des dispositifs*

Nous avons observé qu'il était plus facile pour les enseignants de choisir un dispositif proche (par exemple en rapprochant une tablette d'une autre), que des dispositifs éloignés. Notre observation concorde avec les études sur la manière dont les utilisateurs souhaitent apparier les dispositifs entre eux [18].

Il est possible d'utiliser des gestes de visée pour sélectionner un dispositif distant (comme viser un tableau blanc avec une tablette), mais ces gestes manquent de précisions avec les capteurs classiques (gyroscope, accéléromètre), ou nécessitent une instrumentation plus importante de la classe (caméras infrarouges).

La montre connectée, du fait de sa position sur le poignet, peut être utilisée comme un dispositif de pointage. Pour éviter une visée imprécise (vidéoprojecteur, tous les élèves), il pourrait être possible d'utiliser des gestes de pointage avec la main de l'enseignant portant la montre connectée (viser des élèves, viser le vidéoprojecteur). De tels gestes peuvent réduire la complexité de la séquence d'interaction incluant une sélection. En effet, le mouvement capté par la montre, combiné à la position d'autres dispositifs, peut aider à identifier des sources ou des cibles lors de l'exécution de différentes tâches. Cependant, ce type de gestes est difficile à réaliser, bien que certaines

recherches en IHM aient porté sur la visée en utilisant des capteurs infrarouges [67] ou d'autres caractéristiques des montres connectées [1].

6.10.5 *Gestes collaboratifs et délégation d'interactions*

Les gestes de collaboratifs [71, 80, 91] doivent également être explorés dans le contexte de la classe. Les enseignants pourraient lancer une séquence qui serait terminée par les élèves. Un exemple d'un tel geste serait un geste de synchronisation où l'enseignant et l'élève effectuent une action commune en même temps.

Les enseignants pourraient également déléguer le contrôle aux élèves. Par exemple, l'enseignant peut autoriser temporairement le partage de contenu pour les élèves, afin de partager le travail des élèves sur la vidéoprojection pour favoriser les discussions. Comme l'a proposé p13, une solution consisterait à diviser la sélection de plusieurs dispositifs en plusieurs sélections d'un seul dispositif. Cependant, une telle stratégie impliquerait de faire de nombreux gestes et prendrait beaucoup de temps. La délégation de la sélection à l'apprenant devrait être possible en lui demandant d'effectuer une action ou un geste sur sa tablette.

6.10.6 *Gestion des rôles et authentification*

Pour les tâches de partage de contenu, les enseignants ont souligné l'importance de la gestion des rôles. Dans notre étude, nous avons observé que certains participants utilisaient indifféremment la tablette de l'enseignant ou celle des élèves. Cette utilisation de la tablette des élèves entraîne des problèmes de gestion des droits (les enseignants ne veulent pas que les élèves puissent tout contrôler, mais ils veulent que ces actions soient réalisables sur les tablettes des élèves lorsque cela est nécessaire). La plupart des participants, lorsqu'ils utilisent une tablette élève, ont ajouté un mécanisme d'authentification pour donner temporairement des droits enseignants sur une tablette des étudiants. Cette authentification est nécessaire et les interactions permettant cette authentification doivent être fluides et non contraignantes. Une interaction possible serait d'utiliser la proximité entre la montre connectée de l'enseignant et la tablette, de la même manière que Kharrufa [61] et Chen [17]. Ainsi, la montre connectée ou la tablette pourrait être utilisée comme un **dispositif d'authentification**, permettant la conception de systèmes où les enseignants pourraient rapidement effectuer des actions sur les dispositifs des élèves sans perte de temps dans l'authentification classique (code, geste sur le dispositif). Les alternatives qui ne nécessitent pas de matériel supplémentaire seraient également très pertinentes.

6.10.7 *Méthodologie*

Les études d'élicitation sont utiles pour découvrir des correspondances entre actions (par exemple, les gestes) et commandes des participants. Pourtant, même dans les études simples, les scores d'accord sont généralement faibles [108].

Les scores d'accord ont tendance à diminuer à mesure que l'ensemble des tâches devient plus complexe, par exemple, lorsqu'il s'agit de dispositifs multiples, de collaboration ou de contrôle fin sur le contenu. Ainsi, il est peu probable que les études d'élicitation puissent aboutir à un ensemble de gestes universels cohérents pour des tâches complexes (score d'agrément bas). L'identification de gestes universels n'est pas forcément souhaitable, par exemple un geste "universel" peut être compliqué à réaliser, et il nous semble plus intéressant de proposer des gestes et interactions adaptés aux contextes dans lesquels ils sont utilisés. De plus, la conception d'interactions multiples et complémentaires pour un ensemble de tâches donné semble être une approche plus facile à apprendre et plus inclusive pour les utilisateurs finaux.

Nous proposons un processus pour l'élicitation d'interactions complexes en quatre étapes. Ce processus s'appuie sur les réflexions sur notre méthode dans la conduite des études 1 et 2.

IDENTIFICATION DES TÂCHES La plupart des études d'élicitation en IHM cherchent à construire un vocabulaire d'interaction générique indépendant du contexte. Nous plaidons pour des études plus ciblées qui intègrent les contraintes spécifiques au domaine. Un premier pas dans cette direction consiste à analyser les pratiques des utilisateurs en conditions réelles. Cela nous a permis de définir un espace de conception des tâches de gestion des dispositifs dans la classe. La classification utilisée pour analyser ensemble des tâches similaires a permis de structurer plus facilement les stratégies d'interaction.

VOCABULAIRE D'INTERACTION. La plupart des études d'élicitation en IHM ne fournissent que des contraintes générales sur le vocabulaire d'interaction que les participants peuvent proposer, par exemple, utiliser des gestes avec les mains, utiliser d'autres parties du corps (bras, jambes, position des pieds, etc.). limité

ANALYSE DES STRATÉGIES. Les études d'élicitation en IHM se concentrent généralement sur les scores d'accord. Nous proposons de prendre du recul et de nous concentrer plutôt sur la création de "phrases" (stratégies couramment utilisées) pour des tâches similaires. Nous suggérons de recueillir davantage d'informations qualitatives sur les intentions et les raisons qui sous-tendent les propositions des participants.

DES STRATÉGIES À LA CONCEPTION D'UN VOCABULAIRE D'INTERACTION FINAL Une fois les stratégies identifiées, l'étape finale consisterait à définir un vocabulaire d'interaction cohérent. Cela dépend de la complexité des tâches, c'est-à-dire du nombre d'utilisateurs et de dispositifs impliqués. Par exemple, dans l'étude 2, nous avons identifié un consensus parmi les participants sur les gestes de contrôle à distance avec la montre. Ces interactions pourraient être mises en œuvre directement dans des prototypes et des systèmes. Cependant, les stratégies associées aux tâches de sélection, par exemple, étaient plus complexes et divergentes. Un travail de conception supplémentaire est alors nécessaire pour définir des stratégies d'interaction cohérentes. Ce travail pourrait être réalisé par des designers, en collaboration avec des experts, ou par des études plus ciblées sur les besoins et objectifs.

6.11 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons identifié un ensemble de 17 tâches effectuées par les enseignants pour gérer les dispositifs. Elles sont organisées autour de deux objectifs généraux : le partage de contenu et le contrôle à distance. Pour chacune de ces tâches, nous avons réalisé une étude d'élicitation en utilisant une montre connectée et les dispositifs disponibles en classe. Contrairement aux études d'élicitation classiques, nous nous sommes concentrés sur les stratégies utilisées par les participants plutôt que sur les gestes proposés.

Cette étude nous a permis d'identifier les stratégies utilisées pour les tâches de partage de contenu : (1) les participants utilisent plusieurs gestes sur les tablettes ou sur une combinaison de tablettes et d'autres dispositifs ; (2) la seule intention faisant l'objet d'un consensus est la sélection d'un l'élément sur une tablette ; et (3) les participants effectuent la sélection de la cible et/ou de la source avec une sélection explicite (un geste pour sélectionner un dispositif) ou implicite (le dispositif utilisé est considéré comme sélectionné par).

Pour les tâches de contrôle à distance, nos résultats montrent (1) le potentiel de la montre connectée, seule ou combinée avec d'autres dispositifs ; (2) une correspondance directe entre l'action et le geste unique est suffisante pour la plupart de ces tâches ; et (3) que les dispositifs des enseignants peuvent être utilisés comme dispositifs d'identification pour accorder temporairement des droits privilégiés sur les tablettes des élèves.

Enfin, nous avons proposé une méthode d'élicitation centrée sur les intentions des participants afin de définir des interactions impliquant des séquences de gestes pour la réalisation de tâches complexes. Nous proposons d'utiliser principalement les tablettes pour les tâches de partage de contenu, et les montres connectées afin de prendre le contrôle des dispositifs, quelle que soit la position de l'enseignant

dans la classe. Nous avons remarqué que la sélection des dispositifs (sources ou cibles) peut être soit explicite (un geste permet de réaliser la sélection) ou implicite (la configuration de l'interaction permet de réaliser la sélection).

6.12 SYNTHÈSE

Les contributions de ce chapitre sont :

- L'identification de 17 tâches de gestion de dispositifs
- La proposition d'une méthodologie d'élicitation, afin d'identifier des interactions, centrée sur les intentions et non les gestes
- Pour le partage de contenu :
  - La tablette peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres dispositifs
  - L'identification d'un geste consensuel pour la sélection d'éléments sur une tablette
  - La sélection peut être implicite ou explicite
- Pour le contrôle à distance :
  - La montre connectée peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres dispositifs
  - Une correspondance entre l'action de la tâche et un geste unique est le plus souvent suffisante
  - Les dispositifs des enseignants peuvent être utilisés comme dispositifs d'authentification

7 CONCLUSION

Ce chapitre revient sur les contributions de la thèse et propose des pistes de travail pour la reconception d'activités pédagogiques numériques, le partage d'activités, et l'adaptation des activités aux contextes

7.1 CONTRIBUTIONS

Nous avons apporté des contributions d'ordre théoriques, empiriques et techniques. Nous résumons ici les contributions en suivant le plan de la thèse.

7.1.1 *Identification de stratégies de mise en œuvre d'activités*

À partir d'entretiens avec des enseignants, nous avons identifié un ensemble de stratégies représentatives de leurs pratiques en matière de planification et de mise en œuvre d'activités pédagogiques.

Ainsi lorsqu'ils préparent une activité, les enseignants essaient de **ne pas partir de zéro** en réutilisant et en adaptant des ressources et activités trouvées sur différents supports (manuels scolaires, sites institutionnels, communautés d'enseignants, etc.). Le plus possible, les enseignants essaient d'**anticiper les contraintes avant la session** (réseau, disposition de la classe, matériel disponible), afin de ne pas avoir à gérer les problèmes potentiels durant la séance.

Lors de la conduite des activités en classe, les enseignants peuvent créer plusieurs plans d'activité en amont et **choisir le plan le plus adapté** aux contraintes auxquelles ils font face (par exemple préparer une version papier si les ordinateurs ne fonctionnent pas, ou avoir des plans différents en fonction de la progression des élèves). Cependant, préparer plusieurs scripts ne suffit pas à répondre à tous les imprévus arrivant en classe, et le plus souvent, les enseignants doivent **adapter en temps réel** leur activité, en fonction des réactions des apprenants, des contraintes locales, et des évènements imprévus.

7.1.2 *Recommandations pour la conception d'outils d'orchestration*

À partir de la littérature en Activity Based Computing (ABC) et en orchestration, nous avons identifié un ensemble de neuf recommandations pour la conception d'outils d'orchestration. Ces recommandations (tab.13) portent sur les aspects techniques des outils d'orches-

Type de recommandation	Recommandations techniques
Fonctionnalités	**D1** Fonctionner sur n'importe quel dispositif
Architecture	**D2** Gérer la mobilité
	D3 Être résilient aux problèmes de réseaux

Recommandations liés aux activités	Étapes de l'activité
D4 Permettre la planification d'activité	Conception
D5 Distribution fluide et des changements en temps réel	Mise en oeuvre
D6 Continuité entre sessions	
D7 Gestion de rôles différents	
D9 Permettre la prise de note et la réflexivité	Réutilisation
D8 Permettre la réutilisation d'activité	

TABLE 13 – Résumé des recommandations pour la conception d'outils d'orchestration

tration (fonctionnalités, architecture) et sur la réalisation des activités (conception, mise en œuvre, réutilisation).

Ces outils doivent permettre de préparer les activités pédagogiques et de les mettre en œuvre en classe et en dehors.

Les outils d'orchestration doivent fonctionner sur n'importe quel dispositif (D1) et permettre la mobilité des enseignants et des apprenants (D2). Ces caractéristiques conditionnent fortement l'adoption d'outils numériques en classe. De plus, utiliser une architecture résiliente aux problèmes de réseau (D3) présents dans les établissements permet la mise en œuvre d'activités numériques en classe sans que les enseignants aient à préparer de plans de secours.

Les outils d'orchestration doivent permettre les différentes étapes du cycle de vie d'une activité pédagogique. Ils doivent en effet être utilisables pendant la planification d'activités (D4), mais ils doivent aussi permettre une distribution fluide de l'activité et des différentes ressources et applications (D5). Les enseignants doivent pouvoir adapter leur activité en temps réel en modifiant en classe les consignes, ressources et étapes d'activité (D5). Les enseignants doivent pouvoir réutiliser leurs propres activités ou celles d'autres enseignants (D8, notamment via le partage de squelettes d'activités. Enfin, les enseignants doivent pouvoir garder des informations sur la mise en œuvre de leurs activités, par exemple pour les retravailler (D9).

7.1.3 *Proposition d'un modèle d'activité pédagogique*

Nous avons proposé un modèle d'activités pédagogiques numériques, et des recommandations de conception liées aux activités. Ce modèle théorique est une extension des modèles d'activités discutés en ABC. Il intègre les spécificités du contexte scolaire, comme par exemple les rôles et droits des participants, ou encore les contraintes de matériel et de durée des activités.

Nous avons proposé un modèle basé sur des activités linéaires. Les enseignants ont pu utiliser notre modèle linéaire pour mettre en œuvre des activités plus complexes, par exemples avec des étapes en parallèle.

D'une manière générale, nous pensons que pour éviter la sur-spécification lors de la conception des activités, il est nécessaire de faire en sorte que les modèles puissent être implémentés à minima, c'est-à-dire qu'une activité puisse être créée et mise en œuvre en classe, même si elle n'est décrite que par quelques éléments du modèle d'activités. Cela permet aux enseignants de définir uniquement les éléments les plus importants des activités lorsqu'ils les préparent, et de les compléter en classe, une fois qu'ils ont plus de connaissances sur le contexte de mise en œuvre.

7.1.4 *Architecture résiliente aux contraintes des contextes scolaires*

Nous avons proposé une architecture résiliente aux contraintes qui sont présentes dans les contextes scolaires (réseau instable, espace disque disponible, disparité des logiciels installés) pour que les enseignants puissent utiliser les systèmes d'orchestration sans se poser la question du bon fonctionnement en classe.

Notre architecture trois tiers permet de répondre aux contraintes liées aux réseaux et aux dispositifs utilisés par les apprenants et les enseignants. En utilisant une combinaison de trois modes de connectivité (hors ligne, réseau local, connecté à internet), le déroulement et les fonctionnalités des activités s'adaptent en temps réel aux possibilités de connexion en classe. Ainsi, même en cas de rupture de la connexion à Internet ou de mauvaise connectivité, les apprenants peuvent réaliser les activités en classe.

Les enseignants peuvent alors préparer leurs activités en se souciant moins des problèmes techniques qui peuvent arriver en classe, et passer plus de temps sur la partie pédagogique de l'activité que sur la mise en œuvre technique de celle-ci.

7.1.5 *Toccata : une plateforme pour la conception et la conduite d'activités pédagogiques numériques*

En nous basant sur les pratiques des enseignants et les recommandations de conception identifiés, nous avons développé Toccata, une plateforme permettant la conception et la conduite d'activités pédagogiques numériques.

Le déploiement de Toccata, dans trois contextes différents, a permis de valider nos choix d'architecture et de fonctionnalités.

Ces déploiements ont pointé deux problématiques persistantes lors de la mise en œuvre des activités en classe : (1) L'inadaptation du module de prise de notes pendant les séances pour garder des traces de l'activité. Les enseignants n'ont pas le temps de faire cette prise de note et il est nécessaire d'imaginer d'autres solutions pour conserver le contexte lors de la reconception des activités ; (2) La difficulté pour

les enseignants à gérer les différents dispositifs présents en classe. Nous avons choisi de répondre à cette seconde problématique.

7.1.6 *Identification des besoins des enseignants en termes de gestion de dispositifs*

Nous avons réalisé 9 observations pour identifier les besoins des enseignants en termes de gestion de dispositifs numériques en classe,

Nous avons identifié que la gestion de dispositifs s'effectue principalement via deux types d'actions : (1) le partage de contenu entre dispositifs ; (2) le contrôle à distance des dispositifs.

Pour compléter l'identification des besoins des enseignants, nous avons proposé un design space autour de cinq dimensions (type d'action, dispositifs sources, dispositifs cibles, objet manipulé, utilisateurs cibles), permettant de structurer les tâches de gestion de dispositifs, et de formaliser des besoins de gestion de dispositifs.

Notre design space se limitant aux tâches réalisées par les enseignants, nous proposons pour le futur de l'étendre aux tâches de gestion réalisées par les enseignants et les apprenants, en rajoutant une sixième dimension (**utilisateur source**).

Parmi les dispositifs présents en classe, les ordinateurs fixes permettent aux enseignants de résoudre les problèmes techniques, mais impliquent de nombreux vas et viens de la part des enseignants. Les tablettes permettent aux enseignants de partager le contenu entre les différents dispositifs, mais la tablette de l'enseignant est sont souvent posée sur le bureau de l'enseignant.

7.1.7 *Méthodologie d'étude et d'analyse pour l'identification de stratégies d'interactions pour de la gestion de dispositifs*

Nous avons utilisé les méthodes d'élicitation. Ces méthodes deviennent inadaptées pour définir des interactions pour la réalisation de tâches complexes. Nous avons proposé une méthodologie d'étude et d'analyse centrée sur les intentions afin d'identifier des modalités d'interactions, et sur cette base de définir des interactions adaptées.

Notre méthodologie s'articule autour de quatre étapes : (1) Identifier des tâches et les grouper en catégories de tâches semblables ; (2) Contraindre le nombre de gestes utilisables par les participants en leur proposant un ensemble de gestes utilisables tout en intégrant une variété de modalités d'action via différents dispositifs ; (3) Effectuer une analyse sur les stratégies plutôt que sur les interactions ; (4) Transformer les stratégies en un vocabulaire d'interactions adaptées au contexte.

En nous concentrant sur les intentions liées aux gestes proposés par les participants, cette méthodologie a permis de fournir des stratégies d'interactions qui peuvent ensuite être adaptées à des contextes spéci-

fiques. Nous avons identifié que les tablettes des enseignants peuvent être utilisées pour les tâches de partage de contenu, tandis que les montres connectées peuvent être utilisées pour réaliser du contrôle de dispositif à distance, depuis tout emplacement dans la classe. Par exemple, l'utilisation de la proximité entre un dispositif enseignant (tablette ou montre connectée) et un dispositif apprenant (tablette) afin d'en déverrouiller des droits enseignants.

7.2 LIMITES ET PERSPECTIVES

Dans cette thèse, nous avons proposé de combiner ABC et Orchestration afin de proposer un cadre permettant la création, la conduite et la reconception d'activités pédagogiques.

En utilisant le modèle ainsi proposé dans Toccata, nous espérions rendre possible la conception et la mise en œuvre d'activités pédagogiques numériques par les enseignants et les apprenants, durant tout leur cycle de vie, grâce aux principes d'orchestration et d'ABC que nous avons identifiés dans le chapitre 2 (tab1).

Nous avons pu développer Toccata à l'aide de la majorité des principes identifiés, ainsi que 7 de nos 9 recommandations de conception identifiées dans le chapitre 4 (tab.9). Dans la pratique, dans Toccata, nous n'avons pas implémenté de mécanisme permettant une adaptation de l'activité au contexte. De plus, nos déploiements n'ont pas permis de valider toutes les recommandations de conceptions proposées (4.2). Ainsi, nous n'avons pas pu valider la reconception des activités (D8) via la prise de notes pendant la séance (D9).

7.2.1 *Reconception et réutilisation d'activités pédagogiques*

Nous proposons de nous inspirer des pratiques des enseignants afin de satisfaire nos deux dernières recommandations de conceptions (D8 et D9).

Comme nous l'avons vu dans les chapitres 1 et 3, les enseignants ont tendance à ne pas partir de zéro pour leurs activités. Ainsi, ils adaptent et réutilisent des activités existantes (les leurs ou celles d'autres enseignants).

Afin d'améliorer la reconception d'activités, il nous semble prometteur de permettre aux enseignants de se rappeler du contexte de la classe et des évènements survenus pendant le déroulement de l'activité. Nous avons identifié deux stratégies différentes pour conserver ce contexte.

La première stratégie consiste à réaliser une collecte automatique des évènements de l'activité. Cette forme de collecte automatique pose cependant plusieurs questions : quelles informations les systèmes doivent-ils collecter ? Comment collecter ces informations en temps réel en classe ? Il est nécessaire, pour concevoir des systèmes

durables et adaptés aux besoins des enseignants, de mettre en œuvre des méthodes de design situés [39]. La conduite d'entretiens spécifiques avec des enseignants et l'analyse de leurs pratiques lorsqu'ils conçoivent leurs activités pourraient permettre l'identification des informations à collecter. Les enseignants peuvent facilement identifier les moments où une collecte est nécessaire. Cependant, ils ont peu de temps pour la réaliser. Plusieurs mécanismes permettraient une collecte semi-automatisée plus rapide que la prise de note que nous avons proposée dans Toccata : la capture d'écran existant sur ordinateur ; ou le fait de tagger différents éléments de l'activité. L'usage de marqueurs a déjà été utilisé afin de permettre une réflexion sur la collaboration dans des activités [69]. Nous proposons d'utiliser le même principe pour une réflexion plus globale sur le déroulement des activités. Ces informations pourraient alors être présentées à l'enseignant de manière linéaire, en suivant la structure de l'activité ou son déroulement temporel comme sur une timeline, et l'aider à faire des choix de reconception.

La seconde stratégie est d'enregistrer le déroulement effectif de l'activité et de montrer aux enseignants les différences entre ce qui était prévu et ce qui s'est passé, comme le proposent Martinez [77] et Kharrufa [60]. Cependant, ces approches nécessitent de définir précisément ce qui est attendu lors du déroulé de l'activité. Bien qu'intéressantes, il nous semble que ce type d'approches implique une sur-spécification de l'activité pour les enseignants, réduisant de facto l'acceptabilité pour une utilisation à large échelle. Des études menées avec différents niveaux de spécification d'activités permettraient l'identification d'une structure d'activité minimum pour calculer des différences significatives entre le script d'activité et son déroulement en classe.

7.2.2 *Réutilisation de Toccata comme une plateforme d'expérimentation de nouveaux usages*

Enfin, Toccata et l'architecture sous-jacente pourraient être utilisées pour la réalisation plus large d'expérimentations en EIAH.

En effet, de nombreux prototypes de recherche en éducation sont développés pour des types d'activités très spécifiques. Avec Toccata, nous proposons une plateforme permettant la création et la mise en œuvre d'activités variées, tout en nous basant sur une architecture suffisamment robuste et une interface intuitive pour être déployées dans différents contextes de classe.

Notre approche, utilisant des composants web, permet de rajouter facilement de nouvelles fonctionnalités au système et ainsi d'adapter Toccata à de nouveaux besoins ou usages. Cette approche est semblable à celle proposée dans FROG [42]. Avec l'apparition des composants web, il serait désormais envisageable de proposer un catalogue

de composants web adaptés aux EIAH et intégrables dans les différents frameworks existants.

Il nous semble prometteur de travailler sur les fonctionnalités et questions de recherches suivantes avec Toccata. Dans le chapitre 3, nous avons remarqué que les enseignants créaient souvent leurs activités avec des outils numériques (en général un éditeur de texte) avant de les imprimer. Nous pouvons donc nous demander s'il n'est pas possible, une fois les activités conçues dans un outil tel que Toccata, de générer des versions papier de celles-ci et d'étudier ainsi le rôle des supports sur l'apprentissage. Il serait aussi possible d'étudier les modalités de planification sans la mise en œuvre d'activité, ou encore la mise en œuvre sans la planification de l'activité.

Nous avons déployé Toccata dans des classes en présentiel. Cependant, les classes peuvent maintenant être mixtes, comme lorsque des élèves sont malades (par exemple maladie longue). Dans ces contextes, les systèmes existants ont essayé de faire entrer les apprenants à distance dans la classe, notamment via des robots de présence. Nous proposons au contraire de réaliser l'activité à distance pour ces apprenants. La problématique posée par la réalisation d'activités mixtes est la difficulté d'orchestrer les différents groupes d'apprenants, tout en assurant une progression commune et synchronisée tant pour les apprenants en présentiel qu'à distance. L'enseignant doit ainsi pouvoir gérer l'attention et porter assistance à tous les apprenants.

Ces deux exemples d'utilisation de Toccata comme plateforme de recherche ne sont pas exhaustifs. Nous pensons que la recherche en éducation gagnerait beaucoup en termes de temps de développement, mais aussi en réplicabilité, à utiliser des plateformes communes pour la conduite d'expérimentations, dépassant ainsi l'usage interne à des équipes de recherche. La mise à disposition de telles plateformes doit être la plus large possible, en mettant notamment le code et la documentation des plateformes sur des dépôts publics, tels que github ou gitlab.

Dans la pratique, les plateformes d'expérimentations comme Toccata peuvent aussi être réutilisées par des industriels afin d'exploiter des concepts issus de la recherche dans de nombreuses classes. Nous pensons que ce transfert entre prototype de recherche et système déployé massivement ne doit pas s'effectuer en réutilisant directement les prototypes. En effet, le design graphique ou UX des applications industrielles peut être incompatible avec certaines propositions incluses dans les prototypes. De plus, la mise à l'échelle des prototypes en des systèmes industrialisables peut nécessiter de repenser l'architecture. Dans notre cas, uniquement certains des concepts sur lesquels Toccata est basé (modèle d'activité, pause/reprise d'activité, continuité entre sessions) ont été repris par Open Digital Educa-

tion [1], un partenaire du projet REPI [2]. Ce choix a permis un transfert rapide de ces principes dans de nombreux établissements (les services d'Open Digital Education touchent 4,7 millions d'élèves dans 21 pays). Toucher un public aussi large permet de possibles innovations d'usage, de faire des expérimentations en contextes réels rapidement et n'aurait pas été possible en réutilisant directement Toccata.

7.2.3 *Adaptation des activités au contexte*

Les activités scolaires ne se déroulent plus uniquement en classe et une même activité peut désormais être réalisée simultanément dans plusieurs lieux d'enseignement. Ces lieux impliquent des contextes différents : une activité ne se déroulera pas de la même manière en classe entière dans une salle "classique", en classe entière dans une salle informatique, ou encore dans le Centre de Documentation et d'Information de l'établissement. Il est donc judicieux de pouvoir adapter l'activité au contexte dans lequel elle se déroule.

Notre architecture, avec une box présente dans chaque salle de classe, pourrait permettre de détecter un changement de contexte. Une fois les changements de contexte identifiés, il est envisageable de créer des activités possédant plusieurs variantes, qui sont alors automatiquement sélectionnées en fonction du contexte (par exemple en choisissant des exercices utilisant les ressources disponibles en classe). La connaissance du contexte (nombre et types de dispositifs présents) pourrait aussi permettre un démarrage plus rapide de l'activité, par exemple en chargeant automatiquement la bonne activité sur les dispositifs présents. Cependant, de nombreuses questions demeurent afin de proposer des activités adaptables au contexte :

1. Quelles informations de contexte sont nécessaires pour adapter les activités ?
2. Quelle structure d'activité considérer (graphes, matrices, linéaires, etc.) pour créer ces variantes ?
3. A quel niveau doit s'effectuer l'adaptation (activité, étape, ressource, application, etc.) ?
4. Comment permettre la création d'activités adaptables sans surcharge pour les enseignants (définition à minima des activités) ?

Pour répondre à ces questions, il est nécessaire d'impliquer tant les enseignants (pour la création et la mise en œuvre de telles activités) que les apprenants (pour l'utilisation de telles activités).

De plus, le contrôle d'activités adaptées aux contextes doit rester simple et intelligible pour toutes les parties prenantes, afin d'éviter une complexification des systèmes de mise en œuvre effective d'activités numériques en classe.

1. https://opendigitaleducation.com
2. http://www.repi-recherche.com/

Enfin, les éléments de contexte pourraient être utilisés pour favoriser les tâches de micro-orchestration. Nous avons vu dans le chapitre 6 différents moyens de réaliser des actions de gestion de dispositifs numériques en classe. Nous proposons d'étudier plus en détail les actions permettant de réaliser les tâches de micro-orchestration réalisées par les enseignants lorsqu'ils orchestrent leurs classes. Ces tâches ne se limitent pas à la gestion des dispositifs numériques. Par exemple les tâches administratives courtes, comme l'appel des élèves, peuvent être considérées comme des tâches de micro-orchestration. Il est nécessaire d'identifier plus précisément ces tâches avant de proposer des systèmes aidant les enseignants à les réaliser.

7.2.4 *Continuité pédagogique*

La crise sanitaire liée au Coronavirus SarS-CoV-2 a entraîné des fermetures d'établissements scolaires dans de nombreux pays. En France, la fermeture a été totale du 16 Mars au 11 Mai 2020 [5], suivie d'une ouverture partielle du 11 Mai au 22 Juin 2020 [84]. Les enseignants ont dû réaliser leurs enseignements à distance lors de la fermeture totale, et en classe mixte (présentiel et distanciel) lors de la réouverture partielle.

Cette mise en œuvre massive de l'enseignement à distance s'est réalisée en urgence, sans préparation préalable des enseignants, ni d'augmentation des capacités des réseaux nécessaires à l'accès aux ressources et aux ENT.

En début de crise, les architectures centralisées n'ont pas pu absorber le flux massif de connexions, et un temps a été nécessaire afin d'adapter les réseaux à la demande. Ceci plaide pour utiliser une architecture décentralisée, telle que celle que nous proposons dans Toccata. En effet, une fois l'activité chargée, le besoin de connexion est limité. Il serait ainsi envisageable de réaliser un chargement différé des activités, et de limiter le besoin de connexions pour quelques fonctionnalités de bases (chat, demande d'aide, etc.).

Lors de la réouverture partielle des écoles, les enseignants ont dû à la fois réaliser leurs activités en classe, mais aussi préparer des activités à distance afin d'assurer une continuité pédagogique. La principale difficulté pour les enseignants venait du fait qu'il était difficile pour eux de réaliser ces classes simultanément. Ils ont donc dû préparer des activités en présentiel, mais aussi d'autres activités à distance pour les apprenants n'étant pas retournés à l'école. Cette difficulté souligne la nécessité de mettre à la disposition des enseignants des outils leur permettant de préparer et de mettre en œuvre des activités mixtes, comme nous le proposons avec Toccata, pour réaliser les activités à distance et en classe de manière simultanée, ou bien pour générer des activités pdf ou papier, pour les apprenants ayant un accès difficile aux outils numériques.

7.3 VERS DES OUTILS NUMÉRIQUES CONVIVIAUX À L'ÉCOLE

Les outils numériques sont devenus omniprésents dans les établissements scolaires et dans les salles de classe. Loin de la promesse d'une simplification de l'enseignement liée à leur mise en œuvre, ces outils peuvent augmenter la complexité de la tâche d'enseignement. Cependant, nous pensons qu'ils peuvent réellement aider les enseignants dans leurs activités. Il est ainsi nécessaire de créer des outils conviviaux dans le sens donné par Illich [47] qui voit une société comme conviviale lorsque *l'homme contrôle l'outil*. Une école conviviale serait alors une école où les outils numériques sont un moyen parmi tant d'autres de réaliser des activités ou des parties d'activités, et non pas des outils dont l'utilisation est prescrite, comme c'est souvent le cas actuellement. Le design de tels outils et systèmes numériques devrait alors :

1. *Ne pas dégrader l'autonomie personnelle en se rendant indispensable* (les enseignants doivent pouvoir faire sans ces outils)
2. *Ne susciter ni esclave, ni maître*
3. *Élargir le rayon d'action personnel* (permettre aux enseignants et aux apprenants d'améliorer leurs pratiques)

Cette approche, consistant à permettre aux utilisateurs de choisir les outils qu'ils utilisent et l'aide que ces outils leur apportent, est un des enjeux en CSCL [107].

Les outils numériques proposés dans les établissements doivent être facilement appropriables par les enseignants et les apprenants. Ces derniers doivent avoir le choix de les utiliser aux moments qui leurs semblent les plus pertinents.

A

ANNEXES

A.1 GRILLES D'ENTRETIENS

A.1.1 *Entretien semi-structuré sur les pratiques de conception et de mise en œuvre d'activités pédagogiques*

Entretien semi-structuré : pratiques enseignants

Contexte

Les enseignants utilisent des outils et ressources numériques, en particulier les ENTs, lors de la préparation de leurs activités d'enseignement. Nous sommes intéressés par les pratiques des enseignants pour utiliser ces outils pour préparer leurs cours. Nous souhaitons identifier leurs adaptations d'outils à leurs besoins dans des situations spécifiques, les obstacles qui ont empêché l'utilisation d'outils, et les solutions qu'ils ont trouvées.

Objectifs des entretiens

- Identifier les pratiques d'utilisation des outils numériques chez les enseignants interviewés
- Cerner la notion d'activité dans le contexte de l'enseignement (au collège principalement)
- Identifier l'écologie d'outils numériques utilisés par les enseignants interviewés.
- Identifier les tâches et fonctions principales dans lesquelles interviennent les outils numériques chez les enseignants interviewés.

Recrutement

On recrute des enseignants, au collège, qui préparent des cours et les mènent en classe.
On contacte les enseignements directement, ou à travers leurs hiérarchie.

Background questions
- Niveaux où ils interviennent actuellement (et dans le passé)
- Nombre d'années d'expérience
- Formations numériques suivies
- S'ils animent (ou ont animé) des formations numériques
    - Pendant combien de temps

Ces questions guident l'entretien, et structurent les informations obtenues pour chaque activité décrite par le participant. Nous commençons par repérer une activité d'enseignement. Ensuite, les questions suivantes complètent ce qui n'apparaît pas dans la description du participant. Par exemple, si le participant mentionne les sources du contenu utilisé, cette question n'est pas posée. Sinon, nous posons la question pour compléter la description.
Une fois toutes les informations nécessaires collectées, nous reposons la première question, pour une nouvelle activité que le participant pourrait nous décrire.

Questions
- Pouvez-vous nous montrer un exemple d'une activité d'enseignement, sous forme de projet; une activité collective en classe/hors classe, ou sur plusieurs séances, que vous avez mené récemment, ou que vous menez actuellement avec vos élèves, utilisant l'ENT du collège ou toutes autres ressources numériques?

Contenu:
-
- Quels étaient les objectifs pédagogiques de cette activité?
- Comment avez-vous intégré ces objectifs en préparant l'activité?
    - Comment avez-vous représenté/écrit ces objectifs?

A.2 HISTOIRES

A.2.1 *Histoires participant 1*

T.H.

Level: Middle School
Subject: French

ToolBox/DeviceBox
ENT: Blog, Form, Pr
Audacity, Personal Tablet

Managing Publication Rights

P1 creates the blog in ENT

Students create the content
throughout the sessions

P1: "This is the work of the group
in charge of telling the story"

P1 corrects the blog
and publishes it on the ENT
at the end

Creating a Form

Students create a form with 5 questions
in the ENT

Other students, parents, teachers in the schools can
fill in the questions

Students collect answers,
and see who guessed right

MindMapping a Branched Scenario

P1 fixed the format: an investigation

P1 creates a branched scenario with the students

P1: "What is the motive? Who are the suspects? What are the hints? The obstacles, in the investigation?

Sharing a link on the ENT

Student comes to P1, asks for a document

P1 : "In the new version of the ENT, I cannot share a link in one click"

P1 creates a file with one line: the link the student asked for, and shares it on the ENT

Adding sounds at home

Students put their documents in the shared space in ENT

P1: "I asked the students to find sound files at home, and add them to the video "

Students create the content throughout the sessions

P1: "On the shared space, I put links to websites with free licence sound files "

Recording the Principal

Students record a video of the principal reading the speech

P1 edits all videos at the end

P1: "I had to do all the editing at the end. It is difficult for students to do it "

Zoomable images with Prezi

P1 collects all material, and creates a presentation in Prezi

P1: "The first thing I did: Scanned a map of the school in HD "

P1 integrates the videos into the Prezi, and submits the students' work to a competition

A.2.2 *Histoires participant 2*

C.L.

Level: High School
Subject: Physics

ToolBox/DeviceBox
ENT, PowerPoint, DropBox, Video Projector

Notes I do not use

P2 prepared the course plan: "feuille de route", before the course began

P2: "The conducting thread is the activity I do with students: the bac exam example"

P2: "I printed this file, but I did not use it"

P2: "In class, I am on the move. My interaction with students defines how "

Collecting students' work

I put the questions on dropbox

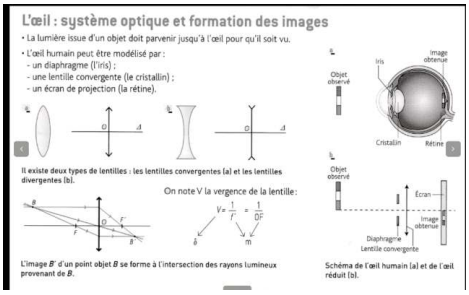
Students uploaded their answers
to the ENT ("Réseau Pédagogique du Lycée)

Before the end of the class, P2 zipped all their files,
and put them on dropbox

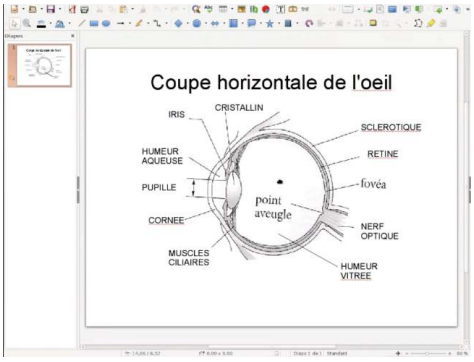
Putting Presentations together, live

P2: "I prepared this activity on my other computer, at school "

P2: "I used this powerpoint to explain the eye composition "



P2: "Then, I displayed another figure, from another powerpoint presentation"

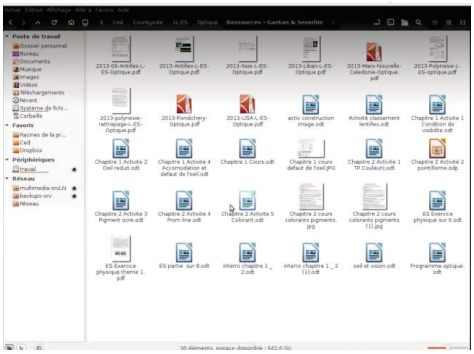


P2: "I projected these two figures the following class, to review what we saw previously"

Sharing activity content with colleagues

P2 created a folder to store activities from two colleagues he trusts

P2: "These are ressources from G and S "



P2: "I changed the layout and styles , before reusing the activity"

P2: "Then, I printed the activity, and distributed it to students in class"

Correction Checklist

P2 prepared a grid that describes how to correct student exercices

P2: "My checklist holds on a single page"

P2: "I printed the grid, and used in class "

P2: "As the students are working,
I go around, andcheck items on my list"

A.2.3 *Histoires participant 3*

L.M.

Level: Middle School
Subject: History

Plan de travail

Introduction

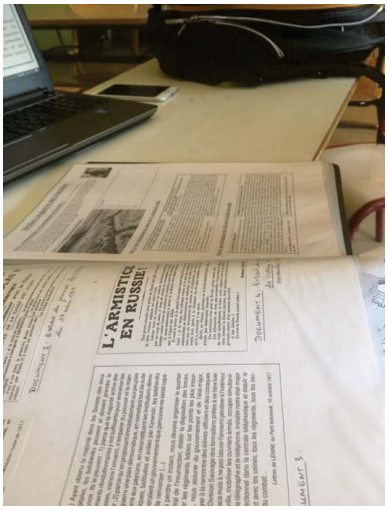
Biography | Coloring | Maps

Summary

ToolBox/DeviceBox
ENT: laclasse.com
dirpy, Microsoft Word, Youtube,
Individual tablets for students

Editing the plan after class

P3 takes notes on ta piece of paper, on the side



P3: "In the evening, I integrate these notes in my course for next year "

Correcting instructions, live

Students who chose the biography activity took too long

P3: "Students thought they should write a full paragraph for the biography"

P3: "Few students chose this activity. They were too slow"

P3: "I was very specific: copy the name, the birth and death dates"

Homework in a picture

For the last part of the activity, students should copy a diagram they created collaboratively

P3: "We did not have time at the end"

Video Review: download-upload-download

P3 found a video that corresponds to the content he covered in class

P3 downloaded the video from youtube with dirpy

P3: "I did not want all students to go on youtube at the same time... The network is not very reliable "

P3 uploaded the video to the ENT

A.2.4 *Histoires participant 4*

P.F.

Level: Middle School
Subject: Physics

ToolBox/DeviceBox
Keynote, Digital Textbook ENT: Calendar,
Individual Tablettes for students,
Teacher Tablet

Editing progress live, in the calendar

P4 creates the plan in ENT before the class

P4: "I have the exact same view at home"

P4: "Exercises 1 to 3 were supposed to be done at home"

P4: "Since I had the time to finish them in class, I changed the calendar accordingly"

Creating options for students

P4 prepares multiple versions of the questions
he asks students

standard sample for the question

Hints

Explanations

Part
of the asnwer

Students ask for these elements as needed

A.2.5 *Histoires participant 5*

A.M.

Level: Middle School
Subject: English

ToolBox/DeviceBox
ENT: Moodle
Audacity, Personal Computer in class,
Edmundo, Edpuzzle, h5p, MovieMaker, Genially

Group Brainstorming for Halloween

P5 writes Halloween on the board

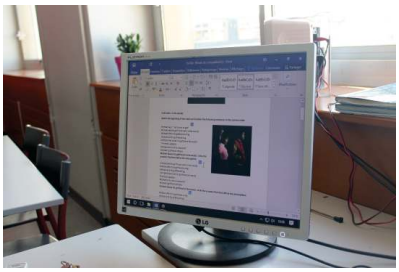
Students propose words, and P5 puts them in a MindMap

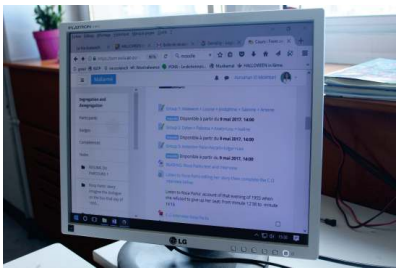
Students copy the mindmap on their notebooks

Preparing in MS word, for moodle

P5: "I changed the layout to put it on moodle

"parcours"





P5 copy pasted the content, from MS Word,
to corresponding sections in moodle

Creating student codes manually

P5: "They were 17. I created codes manually for each student"

P5: "It will just go quicker"

P5: "I know it was possible to do it at once. I saw it in a training, but I forgot how to do it

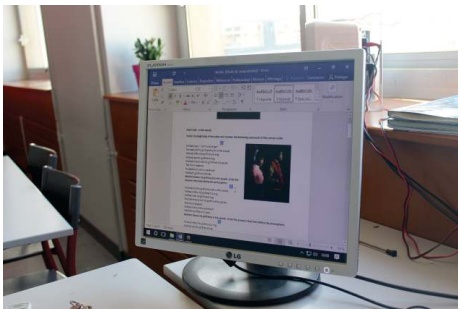
Brainstorming Thriller

P5 projects a picture on the board

P5: : "I want them to get to get to the clip: Thriller"

Students say words about the picture, and P5 writes them on the board

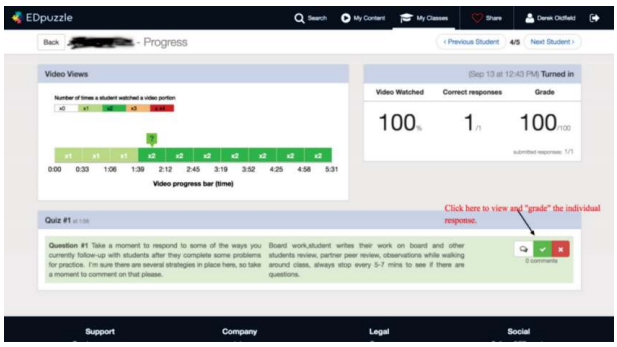
P5: : "Once there, I display the video, and we answer questions"



How many times did you watch this part?

Students watch a video at home

P5: "I can see the number of times each student watched the video extracts"



P5: "There was an extract, in the beginning, where some students had problems"

P5: "In class, I spent more time working on this extract"

Say, Fill and Send

P5 prnounced words and created a fill-in the blanks exercise in h5p

Students say the words

Audio Recorder

Create an audio recording

Drag the Words

Create text-based drag and drop tasks

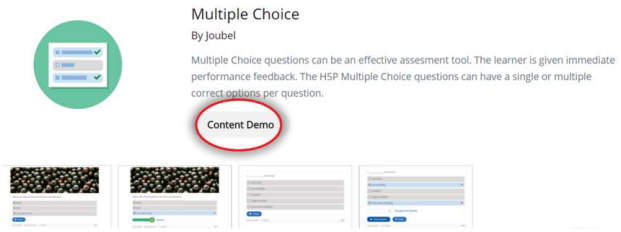
Students fill in the blanks

Students send the file by email to teacher

P5: "With these activities, I can decide which to do in class, and which to do, or finish, at home"

Interactive (Questionnaire + Video) with h5p

P5: "In moodle, I blocked the video. Students cannot start it until they finish the interactive questionnaire"



P5: "We started the video in class. I wanted to, because the video was difficult"

Students finished watching the video at home

P5: "This is the second time we work on an interactive video. The first time, it was with EdPuzzle "

Cutting a video manually with MovieMaker

P5 cut the video in 9 clips

P5: "With these activities, I can decide which to do in class, and which to do, or finish, at home"

Cutting a video manually

P5 cut the video in 9 clips

P5: "With these activities, I can decide which to do in class, and which to do, or finish, at home"

Interactive painting with Genially

P5 inserted dynamic links on a painting

What can I use **Genially** for?

A single platform for all kinds of interactive contents

For presenting | For interacting | For explaining | For spreading

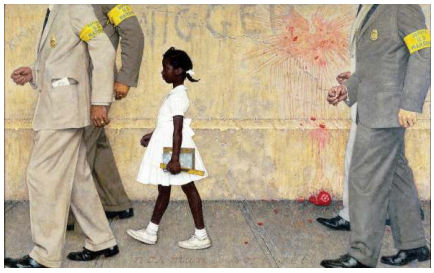
P5 asks questions

Answers on the image

P5 : "I looked for documents that summarize what happens on the painting"

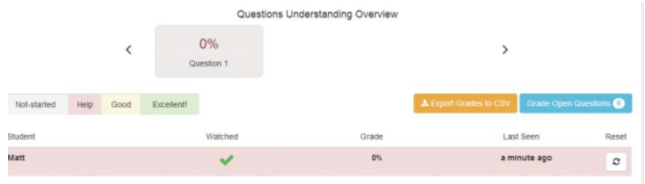
Real Ruby Bridges

Artistic elements



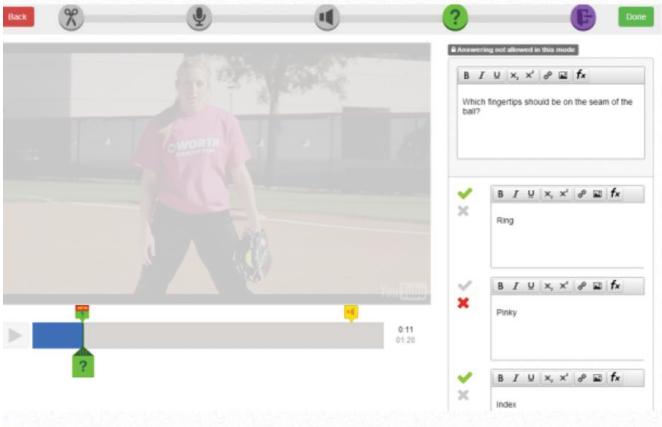
Historical context

Interactive video with Edpuzzle



Students watch a video at home

P5: "The problem here is that with Edpuzzle, students need to leave moodle"



P5: "This was graded. I allowed one chance to answer the questions"

Students can watch the video as many times as they want

A.2.6 *Histoires participant 6*

A.Z.

Level: Middle School
Subject: German

ToolBox/DeviceBox
ENT: Workspace, interactive board
iMovie
Personal Computer

Colors on the board

P6 chooses images of rooms from google

P6: "I want them to use new words"

P6: "I display the pictures on the board. I print their version in black and white: printing in colors is too expensive"

P6: "This is pages: when I export in pdf, the resolution is too low"

P6 cuts the image, and pastes it manually before making the copies in black and white

Students choose their favorite room, and say why

Shooting the news in class

Students came in with the content in a usb key

P6: "They shot the movie themselves, with my phone, during lunch"

P6: "I did the video editing, at home"

Editing an image with Photofiltre

With PhotoFiltre, P6 deletes the arrows and the words she wants them to come up with"

P6 saved the images in another folder

Students can move the furniture around in the house. They learn new words

Moving Nina in the house

P6 used the interactive board

TURNING technologies WorkSpace

P6: "I created a first layer with the house, and a second layer with the character

A.2.7 *Histoires participant 7*

S.H.

Level: High School
Subject: Engineering sciences

ToolBox/DeviceBox
Pages, Preview
Personal Computer
Python

Coding rotations, on the board

P7 writes the whole code on the board

P7 writes the explanation on the board

P7: "I tell them, write the first line, and repeat

Editing the course material, based on a question

P7: "The first year I did it, a student asked me: Can we do the same thing infinitely? "

P7: "I reused the question in the course the following session, and the following years

P7 also added variations using RGB colors

Creating a calendar, based on an image

P7 found an image of a school calendar on google

P7 : "I typed calendar"

P7 removed parts of the images using Preview on Mac

P7: "I added a rectangle to hide parts of the image

P7 insterted the content and saved the file in pages

Freeze-Defreeze

P7 has a local network for engineering teachers

P7 freezes the computers, installs new software on all machines, and defreezes the machines

P7 : "The problem is that they don't have saving space"

P7 created a "espace depot" for students to drop their projects on the school's network

Creating a tool for a collaborative course plan

Along with colleagues, P7 created a tool in Python to add sections to the course

Each teacher adds material to the collective . Then, they add or remove section to plan their own course

P7: "I can check boxes to add sections to my plan"

P7: "We are all from the same school"

Explaining the Pong

P7 projects the game, and live demos the code

P7: "I ask: which functions should we use? "

P7 breaks the game apart: Rectangle, ball, and then movement

P7: The last part is the collisions. I do the first one, and they finish once they understand how it works.

P1 creates a file with one line: the link the student asked for, and shares it on the ENT

A.2.8 *Histoires participant 8*

M.L.

Level: High School
Subject: Biology

ToolBox/DeviceBox
ENT: Pronote

Same plan, three instances

P8 creates the plan of the hour

Three groups of students

P8: "This is a course that build upon students' answers

1 hour	2 hours	3 hours still ongoing
Faster than the plan	According to plan	Slower than the plan

Fill in the projection

P8 projects the empty table from the ENT on the board

Students write, by hand, on the projection

P8 copies what students wrote on word, and sends it back to students on ENT

QQQCP

P8 follows a fixed structure for the beginning of all her classes

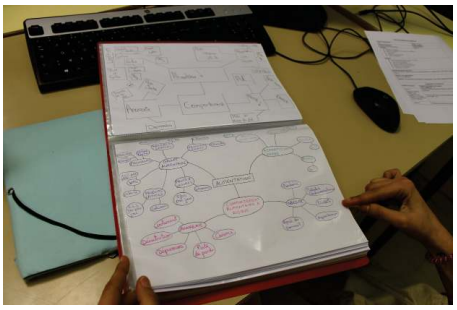
Quoi? Qui? Quand? Comment? Pourquoi?

P8: "It is very important to keep the same thing. Otherwise, they get lost very quickly"

P8: "I change the content type: videos, flyers, comics, but the questions are the same"

Food MindMap

P8 creates the whole mindmap before coming to class



P8: "Here, I cheated. I leaded them to the content I wanted"

In class, she recreates it with the students

Upcoming MindMap

P8 will reuse the same mindmap technique this afternoon for another topic

P8: "I will create it before, and ask them questions to create the content "

P8: "I want to use a mindmap. Otherwise, they will lean the whole page by heart "

Plan around content

P8 selected a video to talk about addiction

P8: "My goal is to make them talk, and to guide the discussion"

P8: "I downloaded the video, but I don't see it here. It must be on my other computer

Many classrooms, many software versions

P8: "In my classroom, another colleague uses Microsoft Word 1997"

P8 cannot open her Microsoft Word files in the classroom. She used LibreOffice , which does not keep her styles

P8 prefered to put her files on the ENT, and read the online version only during class. Still, she cannot edit it in class

Fiche Séquence: Vague, on purpose

P8 gives students, in advance a description of what they will do in class in the hour

P8: " I don't describe in details what we will do. It often changes.

Students do not check the plan before class

Projecting only documents the students have

P8 only projects documents she shared previously with students

P8: "In the beginning, I used PowerPoint to create slides. But students were lost. So now, I project only what they have"

P8 prefered to put her files on the ENT, and read the online version only during class. Still, she cannot edit it in class

BIBLIOGRAPHIE

[1] Javid Abbasov, Tom Horak et Raimund Dachselt. « Smartwatch-based Pointing Interaction ». In : *Mensch und Computer 2018-Tagungsband* (2018).

[2] Madeleine Akrich. « Comment décrire les objets techniques ? » In : *Techniques & culture* 54-55 (juin 2010), p. 205-219. ISSN : 0248-6016, 1952-420X. DOI : 10.4000/tc.4999. URL : http://journals.openedition.org/tc/4999 (visité le 26/04/2019).

[3] H. S. Alavi et P. Dillenbourg. « An Ambient Awareness Tool for Supporting Supervised Collaborative Problem Solving ». In : *IEEE Transactions on Learning Technologies* 5.3 (juil. 2012), p. 264-274. ISSN : 1939-1382. DOI : 10.1109/TLT.2012.7. URL : http://ieeexplore.ieee.org/document/6175001/ (visité le 26/04/2019).

[4] Hamed S. Alavi et Pierre Dillenbourg. *An ambient awareness tool for supporting supervised collaborative problem solving*. T. 5. 3. Juin 2012. DOI : 10.1109/TLT.2012.7. URL : https://www.researchgate.net/publication/260326168_An_Ambient_Awareness_Tool_for_Supporting_Supervised_Collaborative_Problem_Solving%20http://files/331/260326168_An_Ambient_Awareness_Tool_for_Supporting_Supervised_Collaborative_Problem_Solving.html.

[5] *Arrêté du 14 mars 2020 portant diverses mesures relatives à la lutte contre la propagation du virus covid-19*. URL : https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000041722917&categorieLien=id.

[6] Gilles Bailly et al. « Gesture-Aware Remote Controls : Guidelines and Interaction Technique ». In : *Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces*. ICMI '11. Alicante, Spain : Association for Computing Machinery, 2011, p. 263-270. ISBN : 9781450306416. DOI : 10.1145/2070481.2070530.

[7] E. Bardram. « Activity-Based Computing : Support for Mobility and Collaboration in Ubiquitous Computing ». In : *Personal Ubiquitous Comput.* 9.5 (sept. 2005), p. 312-322. ISSN : 1617-4909. DOI : 10.1007/s00779-004-0335-2. URL : https://doi.org/10.1007/s00779-004-0335-2.

[8] Jakob E Bardram. « Activity-based computing-lessons learned and open issues ». In : *ECSCW 2005 workshop, Activity-From a theoretical to a computational construct*. Citeseer, 2005.

[9] Jakob E Bardram et al. « Clinical Surfaces – Activity-Based Computing for Distributed Multi-Display Environments in Hospitals ». In : *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 2009, p. 704-717.

[10] Jakob Bardram, Jonathan Bunde-Pedersen et Mads Soegaard. « Support for activity-based computing in a personal computing operating system ». en. In : *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems - CHI '06*. Montr&#233 ;al, Qu&#233 ;bec, Canada : ACM Press, 2006, p. 211. isbn : 978-1-59593-372-0. doi : 10.1145/1124772.1124805. url : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1124772.1124805 (visité le 26/04/2019).

[11] Jakob Bardram et al. « ReticularSpaces : activity-based computing support for physically distributed and collaborative smart spaces ». en. In : *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12*. Austin, Texas, USA : ACM Press, 2012, p. 2845. isbn : 978-1-4503-1015-4. doi : 10.1145/2207676.2208689. url : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2207676.2208689 (visité le 26/04/2019).

[12] Susanne Bodker. « A Human Activity Approach to User Interfaces ». en. In : *Human–Computer Interaction* 4.3 (sept. 1989), p. 171-195. issn : 0737-0024, 1532-7051. doi : 10.1207/s15327051hci0403_1. (Visité le 26/04/2019).

[13] Amira Bouabid et al. « Context-sensitive and Collaborative application for Distributed User Interfaces on tabletops ». In : *Proceedings of the 2014 Workshop on Distributed User Interfaces and Multimodal Interaction*. ACM. 2014, p. 23-26.

[14] Virginia Braun et Victoria Clarke. « Using thematic analysis in psychology ». en. In : *Qualitative Research in Psychology* 3.2 (jan. 2006), p. 77-101. issn : 1478-0887, 1478-0895. doi : 10.1191/1478088706qp063oa. (Visité le 26/04/2019).

[15] Frederik Brudy et al. « Cross-Device Taxonomy : Survey, Opportunities and Challenges of Interactions Spanning Across Multiple Devices ». In : *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '19. event-place : Glasgow, UK. New York, NY, USA : ACM, 2019, 562 :1-562 :38. doi : 10.1145/3290605.3300792. url : https://doi.org/10.1145/3290605.3300792.

[16] Wenli Chen et Chee-Kit Looi. « Active classroom participation in a Group Scribbles primary science classroom : Active classroom participation authors ». en. In : *British Journal of Educational Technology* 42.4 (juil. 2011), p. 676-686. issn : 0007-1013. doi : 10.1111/j.1467-8535.2010.01082.x. (Visité le 26/04/2019).

[17] Xiang "Anthony" CHEN et al. « Duet : Exploring Joint Interactions on a Smart Phone and a Smart Watch ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '14. Toronto, Ontario, Canada : Association for Computing Machinery, 2014, p. 159-168. ISBN : 9781450324731. DOI : 10.1145/2556288.2556955. URL : https://doi.org/10.1145/2556288.2556955.

[18] Ming Ki CHONG et Hans W. GELLERSEN. « How Groups of Users Associate Wireless Devices ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '13. Paris, France : Association for Computing Machinery, 2013, p. 1559-1568. ISBN : 9781450318990. DOI : 10.1145/2470654.2466207. URL : https://doi.org/10.1145/2470654.2466207.

[19] Nancy J. COOKE. « Varieties of knowledge elicitation techniques ». In : *International Journal of Human-Computer Studies* 41.6 (1994), p. 801-849. ISSN : 1071-5819. DOI : 10.1006/ijhc.1994.1083. URL : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581984710834.

[20] Cecilie P. DALLAND et Kirsti KLETTE. « Individual teaching methods : Work plans as a tool for promoting self-regulated learning in lower secondary classrooms ». In : *Education Inquiry* 7.4 (2016), p. 28249. DOI : 10.3402/edui.v7.28249.

[21] P. DILLENBOURG et P. TCHOUNIKINE. « Flexibility in macro-scripts for computer-supported collaborative learning : Flexibility in macro-scripts for CSCL ». en. In : *Journal of Computer Assisted Learning* 23.1 (jan. 2007), p. 1-13. ISSN : 02664909, 13652729. DOI : 10.1111/j.1365-2729.2007.00191.x. (Visité le 26/04/2019).

[22] Pierre DILLENBOURG. « Design for classroom orchestration ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 485-492. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.013. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513001061 (visité le 26/04/2019).

[23] Pierre DILLENBOURG. *Trends in orchestration. Second research & technology scouting report*. Rapp. tech. Juil. 2011. URL : https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00722475.

[24] Pierre DILLENBOURG et Fabrice HONG. « The mechanics of CSCL macro scripts ». en. In : *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 3.1 (mar. 2008), p. 5-23. ISSN : 1556-1607, 1556-1615. DOI : 10.1007/s11412-007-9033-1. (Visité le 26/04/2019).

[25] Pierre DILLENBOURG, Sanna JÄRVELÄ et Frank FISCHER. « The evolution of research on computer-supported collaborative learning ». In : *Technology-enhanced learning*. Springer, 2009, p. 3-19.

[26] Pierre DILLENBOURG et Patrick JERMANN. « Designing Integrative Scripts ». en. In : *Scripting Computer-Supported Collaborative Learning*. Sous la dir. de Frank FISCHER et al. T. 6. Boston, MA : Springer US, 2007, p. 275-301. ISBN : 978-0-387-36947-1. DOI : 10.1007/978-0-387-36949-5_16. (Visité le 26/04/2019).

[27] Pierre DILLENBOURG et Patrick JERMANN. « New Science of Learning ». In : *New Science of Learning : Cognition, Computers and Collaboration in Education*. Sous la dir. de Myint Swe KHINE et Issa M SALEH. New York, NY : Springer New York, 2010, p. 525-552. ISBN : 978-1-4419-5715-3. DOI : 10.1007/978-1-4419-5716-0.

[28] Pierre DILLENBOURG et Patrick JERMANN. « Technology for Classroom Orchestration ». en. In : *New Science of Learning*. Sous la dir. de Myint Swe KHINE et Issa M. SALEH. New York, NY : Springer New York, 2010, p. 525-552. ISBN : 978-1-4419-5715-3 978-1-4419-5716-0. DOI : 10.1007/978-1-4419-5716-0_26. (Visité le 26/04/2019).

[29] Pierre DILLENBOURG et al. « Classroom orchestration : The third circle of usability ». In : *Connecting Computer-Supported Collaborative Learning to Policy and Practice : CSCL2011 Conference Proceedings. Volume I — Long Papers*. T. 1. Hong Kong, China : International Society of the Learning Sciences, 2011, p. 510-517.

[30] Yannis DIMITRIADIS, Luis P. PRIETO et Juan I. ASENSIO-PÉREZ. « The role of design and enactment patterns in orchestration : Helping to integrate technology in blended classroom ecosystems ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 496-499. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.004. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513000973 (visité le 26/04/2019).

[31] Sylvie DORÉ et Josianne BASQUE. « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé ». In : *International Journal of E-Learning & Distance Education* 13.1 (2007), p. 40-56.

[32] W Keith EDWARDS, Mark W NEWMAN et Erika Shehan POOLE. « The infrastructure problem in HCI ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2010.

[33] Yrjö ENGESTRÖM. « Learning by expansion ». In : *Helsinki : Orienta Konsultit* (1987).

[34] Yasmin FELBERBAUM et Joel LANIR. « Better Understanding of Foot Gestures : An Elicitation Study ». In : *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '18. Montreal QC, Canada : ACM, 2018, 334 :1-334 :12. ISBN : 978-1-4503-5620-6. DOI : 10.1145/3173574.3173908.

[35] Frank FISCHER et Pierre DILLENBOURG. « Challenges of orchestrating computer-supported collaborative learning ». In : *87th AERA*. 2006.

[36] Cresencia FONG et al. « The 3R Orchestration Cycle : Fostering Multi-Modal Inquiry Discourse in a Scaffolded Inquiry Environment ». In : *Cscl*. 2015, p. 39-46. URL : files/209/MC-0122-FullPaper-Fong.pdf.

[37] Kenneth M. FORD et Jack R. ADAMS-WEBBER. « Knowledge Acquisition and Constructivist Epistemology ». In : *The Psychology of Expertise : Cognitive Research and Empirical AI*. Sous la dir. de Robert R. HOFFMAN. New York, NY : Springer New York, 1992, p. 121-136. ISBN : 978-1-4613-9733-5. DOI : 10.1007/978-1-4613-9733-5_7.

[38] Roland GOIGOUX. « Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants ». In : *Éducation et didactique* 1.3 (2007), p. 47-69.

[39] Pauline GOURLET. « Ways of showing. A developmental approach to design and application in elementary schools. » Theses. Université Paris 8, juin 2018. URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02264948.

[40] Elena de la GUÍA, María LOZANO et Victor R. PENICHET. « TrainAb : A Solution Based on Tangible and Distributed User Interfaces to Improve Cognitive Disabilities ». In : *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '13. Paris, France : ACM, 2013, p. 3039-3042. ISBN : 978-1-4503-1952-2. DOI : 10.1145/2468356.2479605.

[41] Aakar GUPTA et al. « Summon and Select : Rapid Interaction with Interface Controls in Mid-Air ». In : *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*. ISS '17. Brighton, United Kingdom : Association for Computing Machinery, 2017, p. 52-61. ISBN : 9781450346917. DOI : 10.1145/3132272.3134120. URL : https://doi.org/10.1145/3132272.3134120.

[42] Stian HAKLEV et al. « FROG : rapid prototyping of collaborative learning scenarios ». In : *EC-TEL Demos*. event-place : Tallinn, Estonia. 2017.

[43] Stian HÅKLEV et al. « Orchestration Graphs : Enabling Rich Social Pedagogical Scenarios in MOOCs ». In : *Proceedings of the Fourth (2017) ACM Conference on Learning @ Scale*. L@S '17. Cambridge, Massachusetts, USA : Association for Computing Machinery, 2017, p. 261-264. ISBN : 9781450344500. DOI : 10.1145/3051457.3054000.

[44] Doris HAUSEN et al. *Evaluating Peripheral Interaction*.

[45] Steven Houben et Nicolai Marquardt. « WatchConnect : A Toolkit for Prototyping Smartwatch-Centric Cross-Device Applications ». In : *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '15. Seoul, Republic of Korea : ACM, 2015, p. 1247-1256. ISBN : 978-1-4503-3145-6. DOI : 10.1145/2702123.2702215.

[46] Steven Houben et al. « NooSphere : an activity-centric infrastructure for distributed interaction ». en. In : *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '13*. Luleå, Sweden : ACM Press, 2013, p. 1-10. ISBN : 978-1-4503-2648-3. DOI : 10.1145/2541831.2541856. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2541831.2541856 (visité le 26/04/2019).

[47] Ivan Illich et Anne Lang. « Tools for conviviality ». In : (1973).

[48] Aude Inaudi. « Ecole et numérique : une histoire pour préparer demain ». In : *Hermès, La Revue* 2 (2017), p. 72-79.

[49] Ghita Jalal, Nolwenn Maudet et Wendy E. Mackay. « Color Portraits : From Color Picking to Interacting with Color ». In : *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '15. Seoul, Republic of Korea : Association for Computing Machinery, 2015, p. 4207-4216. ISBN : 9781450331456. DOI : 10.1145/2702123.2702173. URL : https://doi.org/10.1145/2702123.2702173.

[50] Ghita Jalal et al. « Design, Adjust and Reuse – How Teachers Script Pedagogical Activities ». In : *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '18. Montreal QC, Canada : Association for Computing Machinery, 2018, p. 1-6. ISBN : 9781450356213. DOI : 10.1145/3170427.3188483. URL : https://doi.org/10.1145/3170427.3188483.

[51] Ghita Jalal et al. « How Teachers Prepare for the Unexpected Bright Spots and Breakdowns in Enacting Pedagogical Plans in Class ». en. In : *Lifelong Technology-Enhanced Learning*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2018, p. 59-73. ISBN : 978-3-319-98572-5.

[52] Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse. *Enquête PROFesseurs et Technologies de l'Information et de la Communication (PROFETIC)*. https://eduscol.education.fr/cid60867/l-enquete-profetic.html.

[53] Steven Jeuris, Steven Houben et Jakob Bardram. « Laevo : a temporal desktop interface for integrated knowledge work ». en. In : *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '14*. Honolulu, Hawaii, USA : ACM Press, 2014, p. 679-688. ISBN : 978-1-4503-3069-5.

DOI : 10.1145/2642918.2647391. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2642918.2647391 (visité le 26/04/2019).

[54] Brad JOHANSON, Greg HUTCHINS et Terry WINOGRAD. « Pointright : experience with flexible input redirection in interactive workspaces ». In : 2002, p. 227-234.

[55] Wendy JU et Larry LEIFER. « The design of implicit interactions : Making interactive systems less obnoxious ». In : *Design Issues* 24.3 (2008), p. 72-84.

[56] Victor KAPTELININ. « Activity Theory ». In : *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. DOI : 10.1145/1120212.1120321.

[57] Victor KAPTELININ. « UMEA : translating interaction histories into project contexts ». en. In : *Proceedings of the conference on Human factors in computing systems - CHI '03*. Ft. Lauderdale, Florida, USA : ACM Press, 2003, p. 353. ISBN : 978-1-58113-630-2. DOI : 10.1145/642611.642673. URL : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=642611.642673 (visité le 26/04/2019).

[58] Victor KAPTELININ, Bonnie A. NARDI et Catriona MACAULAY. « Methods & tools : The activity checklist : a tool for representing the "space" of context ». In : *interactions* 6.4 (juil. 1999), p. 27-39. ISSN : 1072-5520. DOI : 10.1145/306412.306431. URL : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=306412.306431 (visité le 26/04/2019).

[59] Ahmed KHARRUFA, David LEAT et Patrick OLIVIER. « Digital mysteries : designing for learning at the tabletop ». en. In : *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '10*. Saarbrücken, Germany : ACM Press, 2010, p. 197. ISBN : 978-1-4503-0399-6. DOI : 10.1145/1936652.1936689. URL : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1936652.1936689 (visité le 26/04/2019).

[60] Ahmed KHARRUFA et al. « Group Spinner : Recognizing and Visualizing Learning in the Classroom for Reflection, Communication, and Planning ». en. In : *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*. Denver, Colorado, USA : ACM Press, 2017, p. 5556-5567. ISBN : 978-1-4503-4655-9. DOI : 10.1145/3025453.3025679. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3025453.3025679 (visité le 26/04/2019).

[61] Ahmed KHARRUFA et al. « Using IMUs to Identify Supervisors on Touch Devices ». en. In : *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*. Sous la dir. de Julio ABASCAL et al. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing, 2015, p. 565-583. ISBN : 978-3-319-22668-2. DOI : 10.1007/978-3-319-22668-2_44.

[62] L Kobbe. *Framework on multiple goal dimensions for computer-supported scripts, Kaleidoscope, D21. 2.1*. Final, 2006.

[63] Ingo Kollar et Frank Fischer. « Orchestration is nothing without conducting – But arranging ties the two together ! : A response to Dillenbourg (2011) ». In : *Computers & Education* 69 (2013), p. 507-509. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.008. URL : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131513001012.

[64] Stefan Kreitmayer et al. « UniPad : orchestrating collaborative activities through shared tablets and an integrated wall display ». en. In : *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing - UbiComp '13*. Zurich, Switzerland : ACM Press, 2013, p. 801. ISBN : 978-1-4503-1770-2. DOI : 10.1145/2493432.2493506. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2493432.2493506 (visité le 26/04/2019).

[65] Valentin Lachand, Christine Michel et Aurélien Tabard. « Toccata : Supporting Classroom Orchestration with Activity Based Computing ». In : *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.* 3.2 (juin 2019). DOI : 10.1145/3328924. URL : https://doi.org/10.1145/3328924.

[66] Valentin Lachand et al. « Toccata : An Activity Centric Orchestration System for Education ». In : *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '18. Montreal QC, Canada : Association for Computing Machinery, 2018, p. 1-6. ISBN : 9781450356213. DOI : 10.1145/3170427.3188484. URL : https://doi.org/10.1145/3170427.3188484.

[67] Ricardo Langner et al. « Combining interactive large displays and smartphones to enable data analysis from varying distances ». In : *AVI 2018 Workshop on Multimodal Interaction for Data Visualization*. 2018.

[68] Romain Laurent, Dominique Vaufreydaz et Philippe Dessus. « Ethical Teaching Analytics in a Context-Aware Classroom : A Manifesto ». In : *ERCIM News* 120 (jan. 2020), p. 39-40. URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02438020.

[69] Elise Lavoué et al. « Reflection-in-Action Markers for Reflection-on-Action in Computer-Supported Collaborative Learning Settings ». In : *Computers and Education* 88 (2015), p. 129-142. DOI : 10.1016/j.compedu.2015.05.001. URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01150258.

[70] Aleksei Nikolaevich Leont'ev. « Activity, consciousness, and personality ». In : (1978).

[71] Can Liu et al. « CoReach : Cooperative Gestures for Data Manipulation on Wall-Sized Displays ». In : *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '17. Denver, Colorado, USA : Association for Computing Machinery, 2017, p. 6730-6741. ISBN : 9781450346559. DOI : 10.1145/3025453.3025594. URL : https://doi.org/10.1145/3025453.3025594.

[72] Chee-Kit Looi et Yanjie Song. « Orchestration in a networked classroom : Where the teacher's real-time enactment matters ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 510-513. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.005. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513000985 (visité le 26/04/2019).

[73] Mateus M Luna et al. « Wrist Player : a smartwatch gesture controller for smart TVs ». In : *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*. T. 2. IEEE. 2017, p. 336-341.

[74] Leilah Lyons et al. *MUSHI : A Multi-Device Framework for Collaborative Inquiry Learning*.

[75] Wendy E. Mackay. « Triggers and Barriers to Customizing Software ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '91. New Orleans, Louisiana, USA : Association for Computing Machinery, 1991, p. 153-160. ISBN : 0897913833. DOI : 10.1145/108844.108867. URL : https://doi.org/10.1145/108844.108867.

[76] Wendy E. Mackay et Anne-Laure Fayard. « HCI, Natural Science and Design : A Framework for Triangulation across Disciplines ». In : *Proceedings of the 2nd Conference on Designing Interactive Systems : Processes, Practices, Methods, and Techniques*. DIS '97. Amsterdam, The Netherlands : Association for Computing Machinery, 1997, p. 223-234. ISBN : 0897918630. DOI : 10.1145/263552.263612.

[77] Roberto Martinez Maldonado et al. « Orchestrating a multi-tabletop classroom : from activity design to enactment and reflection ». en. In : *Proceedings of the 2012 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces - ITS '12*. Cambridge, Massachusetts, USA : ACM Press, 2012, p. 119. ISBN : 978-1-4503-1209-7. DOI : 10.1145/2396636.2396655. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2396636.2396655 (visité le 26/04/2019).

[78] Roberto Martínez et al. « Who did what ? Who said that ? : Collaid : an environment for capturing traces of collaborative learning at the tabletop ». en. In : *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '11*.

Kobe, Japan : ACM Press, 2011, p. 172. ISBN : 978-1-4503-0871-7. DOI : 10.1145/2076354.2076387. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2076354.2076387 (visité le 26/04/2019).

[79] Meredith Ringel Morris. « Web on the Wall : Insights from a Multimodal Interaction Elicitation Study ». In : *Proceedings of Interactive Tabletops and Surfaces*. ACM, nov. 2012. URL : https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/web-on-the-wall-insights-from-a-multimodal-interaction-elicitation-study/.

[80] Meredith Ringel Morris et al. « Cooperative Gestures : Multi-User Gestural Interactions for Co-Located Groupware ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '06. Montréal, Québec, Canada : Association for Computing Machinery, 2006, p. 1201-1210. ISBN : 1595933727. DOI : 10.1145/1124772.1124952. URL : https://doi.org/10.1145/1124772.1124952.

[81] Meredith Ringel Morris et al. « Reducing Legacy Bias in Gesture Elicitation Studies ». In : *interactions* 21.3 (mai 2014), p. 40-45. ISSN : 1072-5520. DOI : 10.1145/2591689.

[82] Michael J. Muller et al. « One-hundred days in an activity-centric collaboration environment based on shared objects ». en. In : *Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems - CHI '04*. Vienna, Austria : ACM Press, 2004, p. 375-382. ISBN : 978-1-58113-702-6. DOI : 10.1145/985692.985740. URL : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=985692.985740 (visité le 26/04/2019).

[83] Bonnie A. Nardi, éd. *Context and consciousness : activity theory and human-computer interaction*. eng. Third printing. OCLC : 249516304. Cambridge, Mass. : MIT Press, 2001. ISBN : 978-0-262-14058-4.

[84] Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse. *Réouverture des écoles et des établissements scolaires*. URL : https://www.education.gouv.fr/bo/20/Hebdo19/MENE2011220C.htm.

[85] Direction du Numérique pour l'Éducation. *Enquête sur les technologies de l'information et de la communication (ETIC)*. https://eduscol.education.fr/cid56180/enquete-sur-les-tic.html.

[86] Nur Al-huda Hamdan et al. « Run&Tap : Investigation of On-Body Tapping for Runners ». In : *ISS '17 : Proceedings of the 2017 ISS Conference on Interactive Surfaces and Spaces*. New York, NY, USA : ACM, oct. 2017.

[87] Gilbert Paquette, Michel Léonard et al. « Modèles et métadonnées pour les scénarios pédagogiques ». In : (2013).

[88] Pascal PLANTARD. « Temps numériques et contretemps pédagogiques en Collège Connecté ». In : *Distances et médiations des savoirs* 16 (déc. 2016). ISSN : 2264-7228. DOI : 10.4000/dms.1660. URL : http://journals.openedition.org/dms/1660 (visité le 26/04/2019).

[89] Matthieu QUIGNARD, Pierre TCHOUNIKINE et Patrick WANG. « Chao : a framework for the development of orchestration technologies for technology-enhanced learning activities using tablets in classrooms ». In : *International Journal of Technology Enhanced Learning* 10.1/2 (2018), p. 1. DOI : 10.1504/ijtel.2018.10008583. URL : https://doi.org/10.1504%5C%2Fijtel.2018.10008583.

[90] Pierre RABARDEL et Gaëtan BOURMAUD. « From computer to instrument system : a developmental perspective ». en. In : *Interacting with Computers* 15.5 (oct. 2003), p. 665-691. ISSN : 0953-5438. DOI : 10.1016/S0953-5438(03)00058-4. (Visité le 26/04/2019).

[91] Gonzalo RAMOS et al. « Synchronous Gestures in Multi-Display Environments ». In : *Human–Computer Interaction* 24.1-2 (2009), p. 117-169. DOI : 10.1080/07370020902739288.

[92] Jun REKIMOTO. « Pick-and-drop : a direct manipulation technique for multiple computer environments ». en. In : *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '97*. Banff, Alberta, Canada : ACM Press, 1997, p. 31-39. ISBN : 978-0-89791-881-7. DOI : 10.1145/263407.263505. URL : http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=263407.263505 (visité le 26/04/2019).

[93] María Jesús RODRÍGUEZ-TRIANA et al. « Scripting and monitoring meet each other : Aligning learning analytics and learning design to support teachers in orchestrating CSCL situations : Scripting and monitoring meet each other ». en. In : *British Journal of Educational Technology* 46.2 (mar. 2015), p. 330-343. ISSN : 0007-1013. DOI : 10.1111/bjet.12198. (Visité le 26/04/2019).

[94] Isabel Benavente RODRIGUEZ et Nicolai MARQUARDT. « Gesture Elicitation Study on How to Opt-in & Opt-out from Interactions with Public Displays ». In : *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*. ISS '17. Brighton, United Kingdom : ACM, 2017, p. 32-41. ISBN : 978-1-4503-4691-7. DOI : 10.1145/3132272.3134118.

[95] Jeremy ROSCHELLE, Yannis DIMITRIADIS et Ulrich HOPPE. « Classroom orchestration : Synthesis ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 523-526. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.010. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513001036 (visité le 26/04/2019).

[96] B. Schneider et al. « Benefits of a Tangible Interface for Collaborative Learning and Interaction ». In : *IEEE Transactions on Learning Technologies* 4.3 (juil. 2011), p. 222-232. ISSN : 2372-0050. DOI : 10.1109/TLT.2010.36.

[97] Donald A. Schon. *The Reflective Practitioner : How Professionals Think In Action*. Basic Books, sept. 1984. ISBN : 978-0-465-06878-4.

[98] Alemayehu Seyed. « Examining User Experience in Multi-Display Environments ». Thèse de doct. University of Calgary, 2013.

[99] M. Sharples et al. « nQuire : Technological Support for Personal Inquiry Learning ». In : *IEEE Transactions on Learning Technologies* 5.undefined (2012), p. 157-169. ISSN : 1939-1382. DOI : doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TLT.2011.32.

[100] Mike Sharples. « Shared orchestration within and beyond the classroom ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 504-506. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.014. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513001073 (visité le 26/04/2019).

[101] Léo Sicard et al. « TIDE : Lightweight Device Composition for Enhancing Tabletop Environments with Smartphone Applications ». In : *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013*. Springer Berlin Heidelberg, 2013, p. 177-194. DOI : 10.1007/978-3-642-40498-6_13. URL : https://doi.org/10.1007%2F978-3-642-40498-6_13.

[102] Greg Smith et al. « GroupBar : The TaskBar Evolved ». In : *Proceedings of OZCHI 2003*. 2003, p. 34-43.

[103] Michael J. Streibel. « Instructional Plans and Situated Learning : The Challenge of Suchman's Theory of Situated Action for Instructional Designers and Instructional Systems ». In : *Journal of Visual Literacy* 9.2 (1989), p. 8-34. DOI : 10.1080/23796529.1989.11674442. eprint : https://doi.org/10.1080/23796529.1989.11674442.

[104] L Suchman. *Human-Machine Reconfigurations : Plans and Situated Actions*. English. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2007. ISBN : 978-0-521-67588-8.

[105] Aurélien Tabard et al. « The eLabBench : an interactive tabletop system for the biology laboratory ». en. In : *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '11*. Kobe, Japan : ACM Press, 2011, p. 202. ISBN : 978-1-4503-0871-7. DOI : 10.1145/2076354.2076391. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2076354.2076391 (visité le 26/04/2019).

[106] Pierre TCHOUNIKINE. « Clarifying design for orchestration : Orchestration and orchestrable technology, scripting and conducting ». en. In : *Computers & Education* 69 (nov. 2013), p. 500-503. ISSN : 0360-1315. DOI : 10.1016/j.compedu.2013.04.006. URL : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513000997 (visité le 26/04/2019).

[107] Pierre TCHOUNIKINE. « Learners' agency and CSCL technologies : towards an emancipatory perspective ». In : *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 14.2 (juin 2019), p. 237-250. DOI : 10.1007/s11412-019-09302-5. URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02364265.

[108] Radu-Daniel VATAVU et Jacob O. WOBBROCK. « Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies : New Measures, Significance Test, and Toolkit ». In : *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '15. Seoul, Republic of Korea : ACM, 2015, p. 1325-1334. ISBN : 978-1-4503-3145-6. DOI : 10.1145/2702123.2702223.

[109] Katrien VERBERT et al. « Learning Dashboards : An Overview and Future Research Opportunities ». In : *Personal Ubiquitous Comput.* 18.6 (août 2014), p. 1499-1514. ISSN : 1617-4909. DOI : 10.1007/s00779-013-0751-2. URL : https://doi.org/10.1007/s00779-013-0751-2.

[110] Pedro G. VILLANUEVA, Ricardo TESORIERO et Jose A. GALLUD. « Performance Evaluation of Proxywork ». In : *Proceedings of the 2014 Workshop on Distributed User Interfaces and Multimodal Interaction*. DUI '14. Toulouse, France : ACM, 2014, p. 42-45. ISBN : 978-1-60558-724-0. DOI : 10.1145/2677356.2677665.

[111] Stephen VOIDA et Elizabeth D. MYNATT. « It feels better than filing : everyday work experiences in an activity-based computing system ». en. In : *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems - CHI 09*. Boston, MA, USA : ACM Press, 2009, p. 259. ISBN : 978-1-60558-246-7. DOI : 10.1145/1518701.1518744. URL : http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1518701.1518744 (visité le 26/04/2019).

[112] Jacob O. WOBBROCK et al. « Maximizing the Guessability of Symbolic Input ». In : *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '05. Portland, OR, USA : ACM, 2005, p. 1869-1872. ISBN : 1-59593-002-7. DOI : 10.1145/1056808.1057043.

[113] Jacob WOBBROCK, Meredith Ringel MORRIS et Andy WILSON. « User-Defined Gestures for Surface Computing ». In : *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Best Paper Nominee. ACM, avr. 2009, p. 1083-1092. ISBN : 978-1-60558-246-7. URL : https://www.microsoft.

com/en-us/research/publication/user-defined-gestures-for-surface-computing/.

[114] Marisol Wong-Villacres et al. « A Tabletop System to Promote Argumentation in Computer Science Students ». In : *Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces*. ITS '15. Madeira, Portugal : ACM, 2015, p. 325-330. ISBN : 978-1-4503-3899-8. DOI : 10.1145/2817721.2823501.

[115] Françeska Xhakaj, Vincent Aleven et Bruce M. McLaren. « How Teachers Use Data to Help Students Learn : Contextual Inquiry for the Design of a Dashboard ». In : *Adaptive and Adaptable Learning*. Sous la dir. de Katrien Verbert, Mike Sharples et Tomaž Klobučar. Cham : Springer International Publishing, 2016, p. 340-354. ISBN : 978-3-319-45153-4.

[116] John Zimmerman, Jodi Forlizzi et Shelley Evenson. « Research through Design as a Method for Interaction Design Research in HCI ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '07. San Jose, California, USA : Association for Computing Machinery, 2007, p. 493-502. ISBN : 9781595935939. DOI : 10.1145/1240624.1240704.

FOLIO ADMINISTRATIF

THESE DE L'UNIVERSITE DE LYON OPEREE AU SEIN DE L'INSA LYON

NOM : Lachand-Pascal, né Lachand DATE de SOUTENANCE : 6 Novembre 2020

Prénoms : Valentin, Clément, Claude

TITRE : Approche centrée activité pour la conception et l'orchestration d'activités numériques en classe

NATURE : Doctorat Numéro d'ordre : AAAALYSEIXXXX

Ecole doctorale : EDA 512 : Informatique et Mathématiques de Lyon

Spécialité : Informatique

RESUME : La quantité et la variété des dispositifs numériques disponibles dans les établissements scolaires ne cessent d'augmenter. Cependant, les usages pédagogiques n'ont pas suivi cette évolution. La faible utilisation du numérique peut s'expliquer par la difficulté à créer des activités pédagogiques numériques.

Nous proposons de combiner des concepts issus de travaux de recherche liés à la création et la conduite d'activités pédagogiques en classe, ainsi que des travaux liés à la conduite d'activités numériques d'une manière plus générale. Nous présentons les apports et les limites de ces deux cadres conceptuels pour la gestion d'activités pédagogiques numériques.

Nous avons mené des entretiens avec des enseignants afin de comprendre comment ils créent leurs activités numériques et comment ils les mettent en œuvre. Lors de la mise en œuvre en classe, les enseignants rencontrent principalement des problèmes techniques (réseau instable, limitations matérielles) et doivent adapter leurs plans pour faire face à ces problèmes.

Nous proposons une architecture adaptable afin de résoudre les problèmes techniques. Notre architecture permet la mise en oeuvre d'activités numériques en prenant en compte les différentes contraintes : les activités fonctionnent avec ou sans connexion, sur les différents dispositifs présents en classe, et l'architecture s'adapte aux infrastructures des établissements.

Cette architecture se matérialise dans Toccata, un système d'orchestration permettant la création et la mise en oeuvre d'activités numériques en classe. Toccata implémente les recommandations de conception que nous avons identifiés.

Enfin, nous avons cherché à identifier les stratégies d'interaction permettant aux enseignants de gérer au mieux les dispositifs numériques en classe. Au moyen d'observations de classes de collège, nous avons identifié deux classes de tâches principales : le partage de contenu et le contrôle à distance des dispositifs. A l'aide d'une étude d'élicitation, nous avons trouvé que les les tâches de contrôle sont plus faciles à réaliser que celles de partage de contenus, notamment à l'aide de dispositif porté comme une montre connectée. Nous avons constaté que la sélection des dispositifs de partage de contenu restait particulièrement complexe en termes d'interaction.

Nos résultats ouvrent de nouvelles pistes pour la gestion de dispositifs numériques en classe. Cependant, des travaux sont encore nécessaires quant au partage, à la réutilisation, et à la reconception d'activités numériques.

MOTS-CLÉS :

Laboratoire (s) de recherche : LIRIS

Directeur de thèse : Christine Michel, Professeur des Université, Université de Poitiers
Co-directeur de thèse : Aurélien Tabard, Maître de conférences, Université Claude Bernard Lyon 1

Président de jury : Pierre Tchounikine, Professeur des Université, Université Grenoble Alpes

Composition du jury : Pierre Tchounikine, Professeur des Université, Université Grenoble Alpes
Wendy Mackay, Directeur de recherche, Laboratoire de Recherche informatique
Sébastien Kubicki, Maître de conférences, ENIB
Philippe Dessus, Professeur des Universités, Université Grenoble Alpes
Frédérique Laforest, Professeur des Universités, INSA-LYON
Christine Michel, Professeur des Universités, Université de Poitiers
Aurélien Tabard, Maître de conférences, Université Claude Bernard Lyon 1