



HAL
open science

Interaction Peephole dynamique pour l'apprentissage collaboratif mobile : une étude exploratoire en classe

Sebastian Simon

► **To cite this version:**

Sebastian Simon. Interaction Peephole dynamique pour l'apprentissage collaboratif mobile : une étude exploratoire en classe. 10es Rencontres des jeunes chercheuses et chercheurs en environnements informatiques pour l'apprentissage humain (RJC EIAH 2024), Le Mans Université, Jun 2024, Laval, France. pp.152-165. hal-04682578

HAL Id: hal-04682578

<https://hal.science/hal-04682578>

Submitted on 30 Aug 2024

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

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

Interaction *Peephole* dynamique pour l'apprentissage collaboratif mobile : une étude exploratoire en classe

Sebastian Simon ^[0000-0003-3218-2032], 3^e année de thèse

Le Mans Université, EA 4023, LIUM, Av. Olivier Messiaen, 72085 Le Mans, France
sebastian.simon@univ-lemans.fr

Résumé Les technologies destinées à soutenir l'apprentissage collaboratif mobile assisté par ordinateur (en anglais MCSCL pour *Mobile Computer Supported Collaborative Learning*) nécessitent des compromis entre la taille d'écran et la mobilité. Alors que les bénéfices des grandes tables interactives (50 pouces et plus) pour la collaboration ont été démontrés, les petits écrans portables, comme ceux des tablettes ou des smartphones sont bien mieux adaptés aux contextes du MCSCL. Dans cette étude, nous expérimentons l'usage de ces petits écrans portables sur une grande surface statique pour recréer des conditions similaires aux tables interactives. Nous proposons une interaction dynamique innovante de type "*peephole*" qui permet d'augmenter des surfaces statiques, telles que des cartes en papier, en y posant une tablette ou un smartphone et en les faisant glisser pour voir et interagir avec du contenu numérique. Une étude exploratoire, menée avec 32 collégiens, montre de premiers résultats positifs concernant l'attention cognitive et la coordination du groupe.

Mots clés : apprentissage collaboratif assisté par ordinateur, apprentissage par problèmes, réalité augmentée, interaction *peephole*

1 Introduction

L'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur (CSCL pour *Computer Supported Collaborative Learning*) est né au cours des 30 dernières années de l'idée que les dispositifs informatiques peuvent enrichir l'expérience d'apprentissage de groupes d'apprenants ou de professionnels [1]. La pratique s'inscrit dans le courant du socioconstructivisme et considère l'apprentissage le fruit d'interactions sociales [2]. La forme et la taille des appareils numériques utilisés en CSCL varient. Les grandes tables interactives ont été largement utilisées dans des projets de recherche, mais restent peu répandues dans les salles de classe, en raison de leur coût élevé (actuellement 1200 € et plus) [3]. De plus, en raison de leur taille et de leur poids important, ces derniers ne peuvent pas être utilisés dans des contextes d'apprentissage situés tels que les sorties scolaires. Ce domaine de recherche, appelé MCSCL (pour *Mobile CSCL*), fait usage d'appareils mobiles, tels que les smartphones et les tablettes, qui ne fournissent pas autant d'espace qu'une table interactive pour accéder à des artefacts virtuels et de les manipuler conjointement.

La Réalité Augmentée (RA) offre une alternative intéressante puisqu'elle permet de transformer les surfaces disponibles en zones de travail interactives. Cependant, la RA classique, qui utilise les caméras intégrées aux appareils mobiles, exige que ceux-ci soient tenus à une certaine distance de la surface à augmenter. Cela pose deux problèmes : une utilisation prolongée peut entraîner une fatigue musculaire [4] et le fait de tenir l'appareil à deux mains (pour les tablettes) peut rendre difficile l'interaction avec des objets virtuels ou physiques en même temps, en particulier pour les enfants [5]. Dans un contexte de groupe s'ajoutent d'autres problèmes. En effet, si une personne tient un appareil, les autres membres du groupe doivent se rassembler autour d'elle pour voir le contenu augmenté. À l'opposé, si tous les membres du groupe utilisent leur propre appareil, leur attention sur le comportement des autres membres est réduite, alors que l'attention sociale et comportementale sont des éléments centraux de la collaboration (concept d'*awareness*).

Les lunettes de RA, telles que les HoloLens de Microsoft, pourraient résoudre ces problèmes, mais elles restent coûteuses pour le contexte éducatif (4 000 euros par appareil) et posent d'autres problèmes tels que la cinétose (mal de transport) [6]. Ces dispositifs dépendent également de contrôleurs supplémentaires, de la voix ou des gestes pour l'interaction, ce qui augmente leur complexité technique.

Mehra *et al.* proposent une autre solution, appelé « *peephole* »¹, qui consiste à visualiser et interagir avec une grande surface à travers un écran plus petit [7]. Ils distinguent deux types d'interaction *peephole* : statique et dynamique. Les interactions de type *peephole statique* nécessitent que l'utilisateur, par le biais de gestes tactiles ou un périphérique tel qu'une souris d'ordinateur, fasse défiler le contenu virtuel (par exemple dans Google Maps dans un navigateur), tandis que les interactions de type *peephole dynamique* permettent aux utilisateurs d'accéder au contenu en déplaçant l'appareil lui-même vers la position physique à laquelle le contenu virtuel est associé. Dans ce dernier cas, l'appareil joue le rôle d'une fenêtre mobile qui permet d'accéder aux informations et aux fonctionnalités virtuelles liées à son environnement.

¹ Anglais pour « judas » : Tel un judas, l'interaction permet de visionner une partie d'un grand nombre de données à travers un dispositif de taille limitée comme une tablette ou smartphone



Fig. 1. SPART, une interaction *peephole* dynamique horizontale (droite) d'augmentation de support et l'interaction *peephole* statique (gauche)

Ce dernier type d'interaction, notamment en **configuration horizontale**, comme présentée sur la figure 1 (droite), semble particulièrement prometteur dans le contexte du MCSCL. En effet, il offre des conditions similaires à une table interactive, mais mobile et à bas coût, puisqu'il utilise simplement un support physique pliable, comme une carte, ainsi qu'un smartphone ou une tablette. Nous nommons ce type d'interaction **SPART**, abréviation de *on-Surface Positioning for Augmented Reality*.

Or, peu de recherches ont été menées sur les interactions de type SPART, principalement parce que celles-ci ne peuvent pas être réalisées à l'aide de la technologie RA traditionnelle. En effet, la caméra est obstruée lorsque la tablette ou le smartphone est placé à plat sur le dos. Étant donné qu'il n'existait aucune solution capable de prendre en charge une telle configuration, nous avons développé un nouvel outil, décrit en détail dans un autre article [8]. Cet outil est le fruit d'une analyse approfondie des méthodes de localisation et du développement d'une dizaine de prototypes pour trouver le matériel et les algorithmes les plus adéquats. L'objectif derrière le développement de ce prototype fonctionnel de SPART était de mettre en place **une étude afin d'explorer comment l'interaction *peephole* dynamique horizontale peut soutenir des séquences d'apprentissage collaboratif.**

Cet article vise à répondre à cette question et un état de l'art est tout d'abord présenté sur les travaux existants concernant les interactions similaires à SPART. L'article décrit ensuite l'étude et le protocole d'évaluation mis en place dans une classe de SVT (Sciences de la Vie et de la Terre) de 5^{ème}. Les observations et les résultats sont alors présentés. Enfin, la section discussion et limites présente des pistes de développement en termes de conception de l'activité collaborative, de la technologie et des perspectives de recherche.

2 État de l'art

Les travaux de Sanneblad *et al.* [9], qui proposent un dispositif visant à faciliter les activités de routage avec une tablette devant une carte verticale projetée, figurent parmi les articles les plus cités concernant les interactions du type *peephole* dynamique pour la collaboration. Les auteurs notent que le positionnement absolu, requis pour l'interaction *peephole*, n'est pas trivial à mettre en œuvre. Dans une étude préliminaire, cette configuration a été comparée à une interaction *peephole* statique, telle qu'elle est utilisée dans les applications de cartographie actuelle (navigation des cartes dans google maps par exemple). L'efficacité des utilisateurs sur la configuration dynamique *verticale* était inférieure à celle de l'application cartographique traditionnelle. Les auteurs ont observé des déficits ergonomiques, car les utilisateurs devaient à la fois tenir une tablette et interagir avec elle. Lorsqu'ils ont eu le choix entre le prototype et l'application cartographique classique avec zoom et translation manuels (interaction *peephole* statique), les utilisateurs ont opté pour cette dernière, expliquant leur préférence par la crainte de faire tomber l'appareil et la complexité d'utilisation.

Dans une étude utilisant des téléphones couplés à des projecteurs portables attachés à ces derniers, Kaufmann et Ahlström [10] ont constaté que, sans formation préalable, un téléphone ne projetant qu'une partie d'une carte sur laquelle l'utilisateur peut naviguer en faisant pivoter le téléphone sur son axe fonctionnait aussi bien que les applications à interaction *peephole* statique en termes d'efficacité, sans entraînement précédent (alors qu'il s'agissait d'une interaction inconnue du public au moment de l'étude), avec des avantages pour la mémoire spatiale. En outre, Miyazaki *et al.* [11] ont observé une performance positive dans une tâche de recherche de carte avec une introduction initiale minimale pour une augmentation de RA classique (basée sur une caméra) à six degrés de liberté dans le cadre d'une étude avec 13 participants.

Enfin, de nombreuses applications commerciales proposent des interactions dynamiques en utilisant la RA basée sur la caméra, le gyroscope et le magnétomètre des smartphones pour fournir des augmentations (par exemple pour l'observation des étoiles). Ces capteurs offrent une précision *angulaire* suffisante pour implémenter une RA [12]. Toutefois, comme souligné dans l'introduction, ces configurations verticales de *peephole* dynamique ne sont pas adaptées à la collaboration, car l'appareil mobile doit être tenu par une seule personne et à une distance minimale de l'objet augmenté.

Pour résumer, plusieurs études ont démontré la faisabilité d'une interaction de type SPART, mais leur implémentation n'est ni mobile ni abordable pour le contexte éducatif. De plus, quelques recherches sur des interactions similaires à SPART indiquent des avantages pour la collaboration. Par conséquent, après avoir relevé les défis techniques liés au développement de SPART, il semblait intéressant de mener une étude exploratoire pour déterminer si cette interaction peut soutenir l'apprentissage collaboratif.

3 Expérimentation

3.1 Cadre et procédure

Il s'agit d'une **étude comparative** entre groupes qui disposent de SPART (interaction de *peephole* dynamique) et d'autres groupes, appelés Contrôle, qui disposent d'une tablette avec les mêmes informations, mais avec une interaction *peephole* statique. Concrètement, les groupes SPART doivent glisser la tablette sur une carte pour voir les informations alors que les groupes Contrôle utilisent des interactions tactiles de type *swipe* pour déplacer la carte.

L'étude porte sur un échantillon de 32 élèves, âgés de 12 à 14 ans, dans un collège public français. Les élèves travaillaient par groupes de 4 dans une salle de SVT sur des paillasses triangulaires. L'expérimentation a été menée en décembre 2022. Les groupes 1/2/4-SPART et 1/2/4-Contrôle disposait de 60 minutes, tandis que les groupes 3-SPART et 3-Contrôle ne disposaient que de 45 minutes en raison de contraintes d'emploi du temps. La composition des groupes a été effectuée par l'enseignant dans le but de créer des groupes homogènes en termes de compétences. Les groupes 1/3/4-SPART et 1/3/4-Contrôle étaient mixtes (deux garçons, deux filles). Le groupe 2-SPART était composé de quatre filles et le groupe 2-Contrôle de quatre garçons.

Au début de chaque expérience, les groupes ont été informés des fonctionnalités des tablettes et ont reçu une brève introduction à l'activité. À la fin de l'expérience, les élèves ont été interrogés pour savoir si le groupe avait déjà travaillé ensemble et quelle était leur perception de SPART dans leur travail. Nous avons filmé selon deux angles : une caméra était positionnée face au groupe pour saisir les expressions faciales et gestuelles et une seconde caméra était pointée sur la carte avec la tablette.

En outre, après avoir identifié un groupe très performant (collaboration riche et le seul groupe à avoir résolu la tâche entièrement), nous avons conduit un entretien d'auto-confrontation avec l'élève le plus engagé sur son expérience pendant 30 minutes. Il devait commenter des extraits vidéo de l'expérimentation avec des questions du type "Quelle était ton intention derrière ce mouvement ?". L'objectif était d'obtenir des informations qualitatives complémentaires.

3.2 Activité pédagogique proposée

Lors de l'expérimentation, les élèves étudiaient les mouvements des plaques tectoniques. Afin d'incorporer l'apprentissage collaboratif tel que défini par Stahl [13], nous avons structuré l'activité en plusieurs tâches avec des aides progressives (*scaffolding*). Les collégiens incarnaient le rôle d'assistants de recherche du géographe Jason Morgan, qui présentait sa théorie des plaques tectoniques en 1967 au congrès national américain de géophysique. Les élèves avaient à leur disposition des données sur l'âge du plancher océanique (sur une carte de contours A4 et sur tablette), des graphiques sur l'activité sismique (carte A4 et sur tablette, voir figure 2, gauche), ainsi que des coupes verticales pour des positions prédéfinies (sur papier et sur tablette, figure 2, droite). L'objectif était de fournir des preuves convaincantes des mouvements relatifs des plaques tectoniques au chercheur. Afin d'encourager la collaboration, nous avons intégré des éléments

d'interdépendance positive identitaire (les groupes de collégiens sont considérés comme des équipes de recherche avec une identité commune de chercheurs), d'interdépendance positive « fantasy » [14] (la description présente Harold Jeffreys, un éminent critique de la théorie des plaques tectoniques qu'il faut convaincre pendant l'activité) [12] et un problème mal défini ("trouvez des preuves pour étayer vos théories"), particulièrement adapté pour un scénario encourageant un mode de travail collaboratif [13].

L'activité était structurée en quatre tâches. Dans un premier temps, les groupes devaient lire et comprendre l'exercice. La deuxième tâche consistait à colorier la carte en fonction de l'âge du plancher océanique (figure 2, à gauche). La troisième tâche consistait à explorer les graphiques sismiques en les classant en fonction de l'intensité. Enfin, la quatrième tâche était de définir la direction du mouvement des plaques et d'expliquer les données "incohérentes" du plancher océanique devant la côte du Chili (plaques anciennes et récentes côte à côte).

L'application sur tablette proposait deux superpositions qui pouvaient être échangées en cliquant sur un bouton dans l'interface de la tablette : l'une avec les chiffres sur l'âge des fonds marins et l'autre avec une carte des séismes historiques. Cette dernière superposition est cliquable : pour chaque position, un clic ouvre une nouvelle fenêtre pour l'affichage d'une coupe verticale des séismes à cet endroit (voir figure 2, droite).

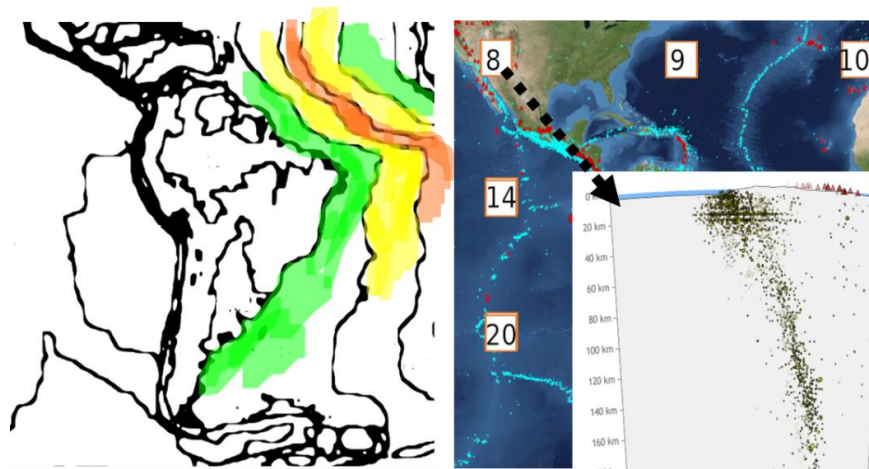


Fig. 2. Contenu de l'application / papier : carte de contours à colorier (gauche), carte d'activité sismique avec coupes verticales accessible par clique ou numéro de référence en version papier (droite)

3.3 Prototype SPART

Dans cette étude, la moitié des groupes a utilisé un prototype mécanique SPART. Ce dispositif se compose d'un cadre pour le smartphone ou la tablette auquel sont attachés deux fils. Deux bobines sont fixées au support et des potentiomètres sont placés à deux endroits en dehors de la zone de travail pour mesurer la distance du dispositif (longueur

des fils). Le résultat de la trilatération mécanique est ensuite envoyé à l'appareil connecté qui peut afficher la couche d'augmentation en fonction de sa position physique. Cette version de SPART coûte 50 € et permet d'augmenter une feuille A3 avec une précision moyenne de 0,5 cm et un taux de rafraîchissement de 20 Hz [8].



Fig. 3. Matériel fourni : marqueurs et tablette avec/sans SPART selon le type de groupe. Ici : groupe avec SPART

4 Analyse

L'apprentissage collaboratif peut être considéré comme un ensemble de processus. Dans un état de l'art sur la collaboration, nous avons identifié les trois principales catégories: **coordination**, **attention** et **participation** impliqués dans la collaboration [15]. Dans ce travail qui fait référence à 49 études sur les supports collaboratifs, nous avons identifié ces dimensions comme le dénominateur conceptuel commun dans le domaine. Par conséquent, nous utilisons ce classement pour l'analyse des vidéos dans cette section. Cette analyse porte sur les huit heures de matériel vidéo à double perspective et l'entretien d'auto-confrontation avec un des élèves.

4.1 Coordination

Parmi les huit groupes, peu de coordination a été constatée (par exemple changement de stratégie, recherche d'informations manquantes), au-delà du suivi linéaire des exercices. Seul le groupe 4-SPART a fait preuve de coordination, et était aussi le seul groupe à avoir identifié correctement les mouvements latéraux et verticaux des plaques tectoniques ainsi que les différences de vitesse.

Dans les groupes Contrôle, comme dans les groupes SPART, la tablette elle-même ne semble pas jouer un rôle majeur dans la coordination. SPART semble même avoir introduit une difficulté de coordination pour la tâche de coloriage, car les élèves devaient déplacer la tablette pour colorier la carte en dessous.

Les groupes SPART ont passé globalement plus de temps sur les tâches de coloriage et de classification que les groupes Contrôle, ce qui confirme le surcoût de temps lié à l'intégration de l'outil dans l'activité (figure 5). Par conséquent, ces groupes ont eu moins de temps pour émettre et valider des hypothèses, à l'exception du groupe 4-SPART, qui a passé beaucoup moins de temps à colorier que les autres groupes SPART. Ce groupe se servait de la carte plus petite fournie séparément, sur laquelle était imprimé l'âge des fonds marins, pour colorier, évitant ainsi d'avoir à déplacer la tablette chaque fois qu'il voulait colorier une partie de l'image couverte par la tablette.

Si les groupes SPART ont été plus lents à accomplir les tâches, l'interaction elle-même n'a guère posé de problèmes. Aucune augmentation considérable de la charge cognitive n'a été remarquée ou signalée. L'élève interviewé a décrit l'interaction comme étant "naturelle" et "simple à utiliser". De temps en temps, les utilisateurs ont essayé de faire glisser l'écran avec leurs doigts avant de se rappeler qu'ils devaient déplacer la tablette. La seule difficulté que nous avons remarquée était que les utilisateurs devaient parfois tenir l'appareil afin de l'empêcher d'être rétracté par les ressorts des bobines.

4.2 Attention

SPART semble fonctionner comme un repère visuel pour les membres du groupe qui sont concentrés sur une tâche personnelle ou à des activités sans lien avec l'activité principale. En effet, après avoir interrogé l'un des élèves de 4-SPART, celui-ci a souligné le rôle de SPART pour l'aider à suivre l'activité de ses coéquipiers à distance, à la fois pendant les phases de coopération et lors de la transition vers les phases collaboratives.



Fig. 4. Deux filles avec SPART pendant que les deux garçons ont une conversation hors sujet.

Dans le groupe 1-SPART, deux garçons se sont laissés emporter par une discussion sur les jeux vidéo (figure 4, droite). Cependant, au moins l'un des deux a régulièrement jeté un coup d'œil sur SPART. Au bout de vingt minutes, les deux filles ont décidé qu'elles s'étaient suffisamment investies et ont ordonné aux garçons de faire les exercices restants. Il est intéressant de noter que les garçons ont pu prendre le relais sur les exercices effectués par les filles et qu'ils ont été en mesure d'effectuer correctement les tâches suivantes sans revenir sur le travail précédent.

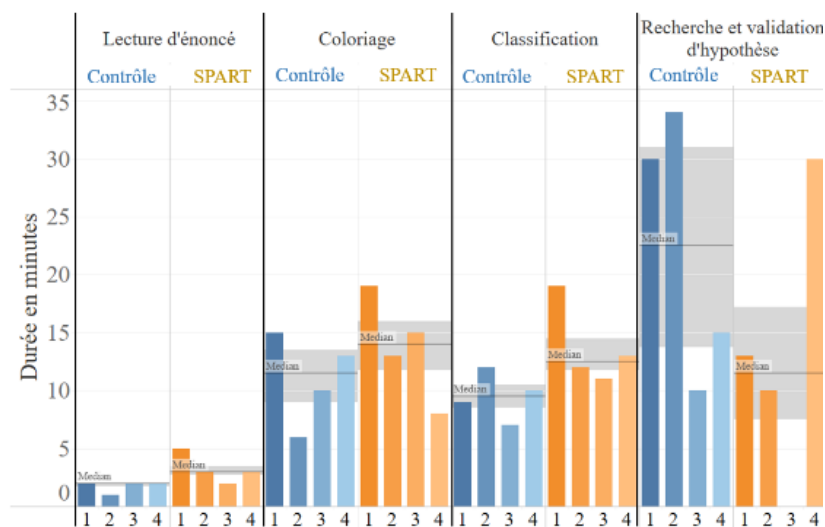


Fig. 5. Durée par tâche et groupe (SPART : orange, Contrôle : bleu)

Inversement, dans le groupe 4-Contrôle, la monopolisation de l'appareil a posé problème, car les autres membres du groupe ne pouvaient temporairement pas suivre le membre du groupe qui tenait la tablette dans ses mains en se promenant. Des situations similaires se sont produites lorsque les membres ont tenu la tablette (dans les conditions de contrôle) dans une direction spécifique, bloquant ainsi l'accès aux autres membres (2,3,4-Contrôle).

En outre, nous avons remarqué que la force du mécanisme de rétraction de SPART obligeait souvent les élèves à maintenir la tablette en position. Ce défaut de conception a, au final, eu un effet bénéfique, puisqu'il a forcé les membres du groupe à s'entraider (démontrant la présence d'attention comportementale). Ce comportement a été le plus présent dans 4-SPART lorsque deux ou trois élèves manipulaient la tablette à transition fluide pour la mettre en position, afficher des profils et échanger les couches virtuelles.

L'attention cognitive était rare : les membres du groupe faisaient rarement référence aux compétences ou aux connaissances de leurs camarades. Le groupe 4-SPART était, encore une fois, l'exception. Dans une séquence, un des garçons (A) s'est souvenu d'une leçon précédente et un autre membre du groupe (B) s'est souvenu que A avait conservé

un modèle en carton d'un mouvement de plaque tectonique. Ce modèle leur a servi d'artefact pour se rappeler et partager leurs connaissances.

En ce qui concerne l'attention sociale, les groupes ont globalement bien fonctionné en termes de temporalité pour les interventions orales, à l'exception d'un membre de 4-SPART qui a parfois pris la parole en même temps que les autres, mais n'a pas été écouté par ses pairs.

4.3 Participation

Nous avons mesuré le nombre de mots liés à l'activité pédagogique par groupe. Le groupe 4-SPART a parlé 30 % de plus que les autres groupes avec une participation équilibrée. Le groupe 3-Contrôle a présenté un schéma de participation asymétrique au cours de la première moitié de l'expérience : une seule personne travaillait et monopolisait les ressources (accès aux outils et à l'espace). Les filles du groupe 4-Contrôle ont contribué beaucoup moins que leurs homologues masculins, à la fois en termes de participation orale et non verbale. L'écart de participation s'est accompagné d'une monopolisation de la tablette (un des garçons a pris la tablette et a interagi avec celle-ci à l'écart du reste du groupe). La participation dans 1-SPART et 1-Contrôle était déséquilibrée : la première moitié était complètement dominée par les deux filles et la seconde moitié par les deux garçons. 2-SPART a été caractérisé par une symétrie participative, mais peu de contributions orales. La valeur médiane globale n'a pas varié de manière significative entre les groupes Contrôle et SPART.

En général, en raison de l'espace limité autour de la table, l'un des membres du groupe était systématiquement limité dans son accès à la tablette (groupe Contrôle et SPART). Lors de l'entretien, le participant a confirmé qu'il était conscient du manque d'espace et d'accès à l'outil, ajoutant "...il est important que tout le monde ait un accès égal à l'outil, tout le monde devrait pouvoir l'utiliser". Au-delà de la prise de conscience de l'importance de l'équité dans la participation, il a déclaré qu'il jouait un rôle actif dans la régulation de l'accès en signalant les déséquilibres dans l'accès aux ressources. "Ce n'était pas le cas dans cette activité. Je me souviens avoir beaucoup parlé, B a beaucoup parlé, les autres étaient un peu plus passifs, mais je pense que tout le monde avait la possibilité de participer".

5 Discussion

Cette section présente nos interprétations du rôle de SPART dans les séquences de collaboration observées pendant le travail de groupe. Dans un premier temps, nous examinons le rôle de SPART dans les trois catégories de processus collaboratif (coordination, attention et participation). Nous explorons ensuite son impact en tant que support de mémorisation et de communication avant d'émettre l'hypothèse de son rôle en tant que support d'apprentissage à la collaboration.

5.1 Coordination, attention et participation

Attention. L'analyse présentée dans la section 4 indique que SPART soutient les processus de prise de conscience comportementale et la dynamique de groupe collaborative. En effet, SPART semble servir de point d'ancrage visuel pour les autres membres du groupe, à la fois dans les séquences collaboratives synchronisées et dans les contextes de sous-groupes ou dans les phases de réflexion individuelle. La position de la tablette permet de déduire rapidement sur quelles parties travaillaient les autres. À plusieurs reprises, nous avons observé que des élèves qui s'engageaient dans des conversations hors sujet arrivaient à reprendre sans problème le travail de leurs camarades.

Participation. Nous avons également observé que SPART semble réduire la monopolisation de l'outil par un des membres du groupe, car il est fonctionnellement lié à la surface sur laquelle il est placé. Les élèves des groupes Contrôle se sont souvent déplacés avec la tablette en main ce qui a mené à sa monopolisation par un seul élève (et par conséquent un déséquilibre en termes de participation).

Coordination. Nous n'avons pas trouvé de preuves de soutien pour d'autres dimensions de la collaboration, telles que la coordination. Si une plus grande prise de conscience a conduit à une plus grande participation ou à des efforts de coordination, cela n'a pas été perceptible.

5.2 Soutien à la communication

Nos observations nous amènent à penser que SPART pourrait soutenir la communication non verbale. En effet, l'emplacement et le mouvement de la tablette communiquent une intention. La position indique la zone de travail actuelle du groupe. Le déplacement de la tablette souligne l'intention et les idées de l'utilisateur sur l'hypothèse de la tâche, la validation ou la recherche d'informations. Cette hypothèse a été renforcée par les interactions au moment où le groupe 4-SPART a vérifié et validé l'hypothèse de la subduction (et les exercices précédents : identification des limites des plaques tectoniques, vitesse de déplacement des plaques et hypothèse sur les mouvements verticaux). Pendant cette séquence, SPART illustre le discours de l'auteur de la théorie correcte. Son discours seul étant incompréhensible (due à la surcharge cognitive de finir sa réflexion et devoir la communiquer), les gestes et les interactions avec la tablette complétaient sa communication et donnaient un point de départ pour les questions de ses camarades.

L'avantage principal de SPART semble être le lien entre l'emplacement et l'information (par exemple, pour un accès rapide aux informations locales sur les séismes, comme le montre la figure 2 droite). La littérature suggère que cet avantage est lié à la mémoire spatiale et gestuelle à laquelle l'interaction fait appel [10]. Une fois adoptée, la recherche d'informations est rapide et ciblée. Ainsi, elle semble utile pour un usage avec des cartes géographiques, permettant de contextualiser les informations. Ce phénomène présente d'abord un avantage métier qui baisse la charge cognitive lié au processus de recherche d'informations. L'avantage pour l'apprentissage collaboratif réside encore dans le fait que ce processus d'association est visuel et demande une action gestuelle facilement perceptible par le groupe entier.

L'association d'informations à des positions spécifiques est utilisée dans d'autres contextes tels que les techniques d'amélioration des capacités de mémorisation (mnémotechniques). McCabe a montré l'utilisation bénéfique des cartes pour construire des structures mentales à haute capacité (palais mental) [16]. Une telle approche pourrait être bénéfique pour les activités de collaboration dans le secteur de l'éducation. Nous avons remarqué que certains étudiants avaient oublié les leçons précédentes de géographie et qu'ils étaient donc désavantagés. Si le contenu peut être transmis par le biais de promenades mentales collaboratives, ceci pourrait favoriser la récupération de la mémoire individuelle. SPART peut contribuer à la réflexion en donnant accès à des artefacts collaboratifs créés au cours d'activités collaboratives antérieures (photos, croquis, etc.) liées à la position exacte de la carte pour une meilleure performance de la mémoire.

La deuxième caractéristique distinctive de SPART est la superposition, qui permet d'augmenter la couche physique. Bien qu'il soit possible de réaliser cette fonctionnalité avec plusieurs vues de la même carte imprimée, le fait d'avoir une superposition partielle sous la forme d'une tablette, qui peut être facilement déplacée telle qu'une loupe, augmente l'aspect pratique. Lors d'un atelier précédent, avec des enseignants de la maternelle à la terminale, ces derniers ont d'ailleurs souligné le potentiel de SPART pour permettre aux élèves d'accéder à autant de visualisations intermédiaires que nécessaire entre l'abstraction (par exemple une carte) et la réalité, pour améliorer leurs compétences en matière de lecture de cartes. Cela correspond à la suggestion spontanée de l'élève interviewé, qui souhaitait une carte intermédiaire avec plus de couleurs distinctes (que les trois couleurs fournies lors de l'exercice).

5.3 Apprendre à collaborer

Sur la base de certaines limitations de SPART, telles que les mécanismes de rétraction trop puissants (qui tirent la tablette vers l'arrière lorsqu'elle est trop éloignée du mécanisme), nous voyons un potentiel pour une collaboration fondée sur les gestes, nécessitant l'engagement conjoint de plusieurs utilisateurs pour utiliser une fonctionnalité et, par conséquent, augmenter la participation globale (activités qui nécessitent physiquement la participation de tous les membres par le biais d'une interdépendance positive), la coordination et la prise de conscience. Ces activités de collaboration pourraient être destinées à sensibiliser explicitement les étudiants au fonctionnement et à l'importance des processus et des compétences de collaboration.

6 Limites

Les conditions dans lesquelles les groupes ont participé à l'expérimentation n'étaient pas parfaitement identiques. Comme les étudiants se connaissaient, ils avaient des relations préexistantes qui ont eu inévitablement un impact sur leur comportement en groupe. Les caméra(wo)men interagissaient parfois avec les étudiants et certains groupes recevaient des conseils de l'enseignant.

En outre, l'espace de travail disponible était insuffisant pour quatre étudiants et des tensions ont pu découler de la difficulté à travailler autour des tablettes. De plus, l'activité était centrée sur une partie de la carte (l'Amérique du Sud) et a donc favorisé l'interaction avec SPART pour la personne se trouvant proche de cet emplacement.

Des entretiens avec tous les groupes auraient permis d'obtenir une vision plus complète, mais ils n'ont pas pu être réalisés en raison de contraintes de temps.

Enfin, le matériel vidéo a été analysé par un seul chercheur, qui a également mené l'entretien, ce qui l'a exposé à un biais de confirmation lors des questions.

7 Conclusion

Dans cette étude comparative, nous avons exploré l'impact de l'interaction *peephole* **dynamique horizontale SPART** sur l'apprentissage collaboratif. Les recherches antérieures sur les interactions similaires sont rares, car elles sont limitées par des défis technologiques et sont coûteuses à mettre en œuvre.

L'étude exploratoire a été menée dans un collège français avec 32 élèves et une analyse séquentielle ultérieure. Les résultats indiquent que SPART s'est avéré robuste et intuitif à utiliser, entraînant une faible charge cognitive chez les utilisateurs. SPART semble aussi avoir eu un impact positif sur l'attention comportementale et la participation équitable entre les membres d'un groupe.

Bien que son impact direct sur la collaboration semble limité, un certain nombre de perspectives intéressantes ont été identifiées pour des recherches futures telles que le soutien aux promenades mentales, l'augmentation de la conscience de la tâche et l'apprentissage de la collaboration. L'interaction présente notamment un potentiel pour améliorer la mémoire et pour apprendre à mieux collaborer.

Le faible coût de l'appareil (20 € pour la dernière version) et sa portabilité ouvrent la voie à des expériences à grande échelle et à une adoption future potentielle au-delà du secteur de l'éducation. D'autres expériences, menées lors de sorties scolaires de collègiens sont en cours d'analyse pour confirmer les résultats de cette étude. L'étude constitue une première étape de la validation de la question de recherche de cette thèse sur la possibilité de concevoir des outils à la fois collaboratifs et mobiles.

Remerciements. Un grand merci à Guy Théard **et à ses élèves** pour nous avoir permis de tester nos prototypes. Cette étude est financée par l'Agence Nationale de Recherche française (ANR-20-CE38-0012). Merci à Guillaume Boucher pour l'illustration SPART (figure 1).

Références

1. Roschelle, J., Teasley, S.D.: The Construction of Shared Knowledge in Collaborative Problem Solving. In: O'Malley, C. (ed.) Computer Supported Collaborative Learning. pp. 69–97. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg (1995).
2. Stahl, G.: Group Cognition: Computer Support for Building Collaborative Knowledge a book by Gerry Stahl. (2006).

3. Johnson, D.W., Johnson, R.T.: Cooperation and the Use of Technology. In: Cooperation and the Use of Technology. pp. 785–811. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, US (2004).
4. Pereira, A., Miller, T., Huang, Y.-M., Odell, D., Rempel, D.: Holding a tablet computer with one hand: effect of tablet design features on biomechanics and subjective usability among users with small hands. *Ergonomics*. 56, 1363–1375 (2013).
5. Ahmad Chowdhury, S., Arshad, H., Parhizkar, B., Obeidy, W.K.: Handheld Augmented Reality Interaction Technique. In: Zaman, H.B., Robinson, P., Olivier, P., Shih, T.K., and Velastin, S. (eds.) *Advances in Visual Informatics*. pp. 418–426. Springer International Publishing, Cham (2013).
6. Kaufeld, M., Mundt, M., Forst, S., Hecht, H.: Optical see-through augmented reality can induce severe motion sickness. *Displays*. 74, 102283 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102283>.
7. Mehra, S., Werkhoven, P., Worring, M.: Navigating on handheld displays: Dynamic versus static peephole navigation. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 13, 448–457 (2006).
8. Simon, S., Marfisi-Schottmann, I., George, S.: Spart - An Affordable Mobile Augmented Reality Alternative to Interactive Tabletops in Education. In: *Mobile Learning Proceedings*. IADIS International Association for Development of The Information Society, Porto, Portugal (2024).
9. Sanneblad, J., Holmquist, L.: Ubiquitous Graphics: Combining hand-held and wall-size displays to interact with large images. Presented at the Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces January 1 (2006).
10. Kaufmann, B., Ahlström, D.: Studying spatial memory and map navigation performance on projector phones with peephole interaction. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp. 3173–3176. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2013).
11. Miyazaki, M., Komuro, T.: AR Peephole Interface: Extending the workspace of a mobile device using real-space information. *Pervasive and Mobile Computing*. 78, 101489 (2021).
12. Hürst, W., Bilyalov, T.: Dynamic versus static peephole navigation of VR panoramas on handheld devices. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. pp. 1–8. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2010).
13. Stahl, G.: Investigation 1. Advancing a CSCL Vision. In: Stahl, G. (ed.) *Theoretical Investigations: Philosophical Foundations of Group Cognition*. pp. 3–26. Springer International Publishing, Cham (2021).
14. Laal, M.: Positive Interdependence in Collaborative Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 93, 1433–1437 (2013).
15. Simon, S., Marfisi-Schottman, I., George, S.: Towards Linking Tool Functionalities to Processes of Collaborative Learning. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning - CSCL 2023*. pp. 204–208. ISLS, Montréal, Québec, Canada (2023).
16. McCabe, J.A.: Location, Location, Location! Demonstrating the Mnemonic Benefit of the Method of Loci. *Teaching of Psychology*. 42, 169–173 (2015).