



**HAL**  
open science

## **SPART – Une technologie mobile de positionnement sur surface pour favoriser l'apprentissage collaboratif**

Sebastian Simon, Iza Marfisi-Schottman, Sébastien George

### ► **To cite this version:**

Sebastian Simon, Iza Marfisi-Schottman, Sébastien George. SPART – Une technologie mobile de positionnement sur surface pour favoriser l'apprentissage collaboratif. IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, AFIHM; Sorbonne Université, Mar 2024, Paris, France. hal-04497156

**HAL Id: hal-04497156**

**<https://hal.science/hal-04497156>**

Submitted on 9 Mar 2024

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

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

## **SPART – A Mobile, On-Surface Positioning Technology to Support Collaborative Learning**

### **SPART – Une technologie mobile de positionnement sur surface pour favoriser l'apprentissage collaboratif**

SPART

Sebastian, SS, Simon

LIUM, Le Mans Université, 72085 Le Mans, Cedex 9, France, [sebastian.simon@univ-lemans.fr](mailto:sebastian.simon@univ-lemans.fr)

Iza, IMS, Marfisi-Schottman

LIUM, Le Mans Université, 72085 Le Mans, Cedex 9, France, [iza.marfisi@univ-lemans.fr](mailto:iza.marfisi@univ-lemans.fr)

Sébastien, SG, George

LIUM, Le Mans Université, 72085 Le Mans, Cedex 9, France, [sebastien.george@univ-lemans.fr](mailto:sebastien.george@univ-lemans.fr)

Large interactive tabletops have proven to enhance collaborative learning. Nonetheless, being heavy, stationary and expensive, this technology has its limits for use in educational settings and particularly mobile learning. Dynamic peephole interactions, that allow to augment static surfaces, such as maps or tables, with tablets or smartphones, promise similar benefits for collaboration. However, due to technological and financial challenges related to the implementation of these interactions, little research has been conducted on them. In this paper we present how we were able to overcome these challenges by developing SPART, a mobile and affordable technology compatible with off-the-shelf smartphones and tablets to explore its potential benefits for collaboration.

CCS CONCEPTS • Tactile and hand-based interfaces • Wireless devices • Electro-mechanical devices

**Additional Keywords and Phrases:** mCSCL, Collaboration, Augmented Reality, DIY, Positioning System

Plusieurs recherches démontrent le potentiel des grandes tables interactives pour améliorer l'apprentissage collaboratif. Néanmoins, leur poids et taille importants, ainsi qu'un coût d'investissement non négligeable, limitent leurs usages dans le cadre éducatif et particulièrement pour l'apprentissage situé, lors de sorties pédagogiques par exemple. Les interactions dynamiques, de type « *peephole* », qui permettent d'augmenter des surfaces statiques, telles qu'une carte ou une table, avec des tablettes ou des smartphones, semblent apporter les mêmes bénéfices. Cependant, en raison des défis technologiques et financiers liés au développement de ce type d'interactions, peu de recherches ont exploré leurs potentiels. Dans cet article nous présentons comment nous avons relevé ces défis en développant SPART, une technologie mobile et abordable, compatible avec les smartphones et les tablettes disponibles dans le commerce, afin d'explorer les potentiels bénéfiques qu'elle apporte à la collaboration.

**Mots-clés additionnels :** mCSCL, Collaboration, Réalité augmentée, DIY, Système de positionnement

#### **Reference:**

Sebastian Simon, Iza Marfisi-Schottman et Sébastien George. SPART – Une technologie mobile de positionnement sur surface pour favoriser l'apprentissage collaboratif. *IHM'24 : Actes étendus de la 35ème conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, March 25–29, 2024, Paris, France*

## 1 INTRODUCTION

Dans les années 2010, le développement des technologies de fabrication de grands écrans tactiles (50 pouces et plus) a considérablement accéléré la recherche sur les usages de ces outils et notamment leurs impacts sur l'apprentissage collaboratif. Cependant, dû aux contraintes physiques du matériel et le processus de fabrication complexe, ces dispositifs sont disponibles à un prix élevé (minimum 1.500 €) et donc rarement déployé dans les écoles. Par ailleurs, peu de logiciels exploitent pleinement les fonctionnalités de ces écrans pour favoriser le travail collaboratif [1]. De plus, ces dispositifs ne sont guère adaptés aux certains styles d'enseignement (sorties scolaires, enseignement à distance, etc.) puisqu'ils ne sont ni portables (15 kg et plus) ni autonomes (alimentation sur secteur).

L'usage des tablettes déjà disponibles dans les écoles ou des smartphones des élèves (mouvance du *Bring Your Own Device*) offre une alternative mobile et sans investissement majeur [4]. Cependant, la petite taille de ces écrans ne permet pas d'afficher autant de contenu que les tables interactives. L'**interaction peephole** [3] est une alternative prometteuse puisqu'elle permet d'afficher une partie du contenu sur le petit écran d'une tablette ou du smartphone, mais aussi d'accéder au contenu en dehors de l'écran grâce à une technique d'interaction. Il existe deux variantes à cette interaction. La variante **peephole statique** permet à l'utilisateur de naviguer dans le contenu virtuel via un geste ou un périphérique pour accéder aux éléments au-delà de l'écran. C'est le cas des applications qui permettent de déplacer ou agrandir une carte avec des interactions tactiles (*swipe, pinch*) par exemple. La variante **peephole dynamique** consiste à déplacer le dispositif (smartphone ou tablette) lui-même et ainsi lier le contenu virtuel à une position réelle. Cette dernière interaction est déployée dans les applications smartphone permettant d'afficher les constellations dans le ciel nocturne, ou dans les applications qui déplacent des cartes automatiquement en fonction de la position GPS du dispositif.

L'interaction *peephole* dynamique est celle qui s'approche le plus d'une table interactive, car elle offre potentiellement des avantages similaires pour la mémoire spatiale et l'espace collaboratif [2] en limitant les inconvénients de coût de non-mobilité des tables interactives [6]. Cependant, le transfert des bénéfices d'une table interactive nécessite que le smartphone ou la tablette soit posée à plat, sur la surface à augmenter, afin que les membres du groupe puissent visionner et interagir avec le même contenu (figure 1, gauche). Or, les capteurs intégrés dans les smartphones et les tablettes actuelles ne permettent pas une précision suffisante. De plus, la précision n'est pas la seule contrainte : l'interaction doit également être fluide pour une expérience utilisateur satisfaisante (afin que l'augmentation suive les mouvements du smartphone/tablette). À ces contraintes principales s'ajoutent encore des contraintes de robustesse (l'interaction doit fonctionner dans un environnement extérieur), de coût bas et de fabrication simple (pour développer les usages en classe). Or, implémenter cette interaction et notamment identifier la position du dispositif, de façon très précise et rapide, s'avère très complexe, dû au manque de capteurs adéquats dans les smartphones et tablettes actuelles.

Après avoir conçu et développé une dizaine de prototypes pour explorer le potentiel de différentes technologies de localisation et les capteurs disponibles (magnétomètre, puces NFC, triangulation sonore...), nous avons développé une variante mécanique suffisamment précise, rapide, mobile et peu coûteuse pour satisfaire toutes ces contraintes liées à un usage en classe. Dans les sections suivantes, nous détaillons ce prototype, nommé SPART-ME (*on-Surface Positioning system for Augmented Reality - MEchanical*), ainsi que le matériel, la technologie utilisée et les décisions de conception ayant permis sa mise en place avec une attention particulière sur la facilitation de sa fabrication et sa pérennité. La dernière partie est dédiée à la conclusion et les perspectives de recherches ouvertes grâce à ce nouveau prototype.

## 2 SPART-ME

### 2.1 Matériel

Comme illustré sur la figure 1 (centre), le dispositif mobile (smartphone ou tablette) est connecté, par un fil en nylon, au prototype SPART-ME, qui mesure 8 cm en diamètre et 4 cm de hauteur. SPART-ME (figure 1, droite) est composé d'un boîtier inférieur (en bleu) qui héberge une bobine rétractable pour le fil, un bras qui suit l'orientation du fil pour déterminer son angle et un interrupteur pour allumer et éteindre le prototype. Ce boîtier intègre également des connecteurs pour fixer le prototype sur un support solide. Dans le boîtier supérieur (en rouge) se trouvent la batterie, le microcontrôleur et les capteurs. Pour finir, le couvercle amovible (en vert) peut accueillir un microcontrôleur ou des capteurs supplémentaires. Les pièces peuvent être imprimées (voir l'annexe A.2 pour plus de détails) avec une imprimante 3D en PLA ou ABS. La charge d'une batterie 3200 mAh permet d'alimenter l'appareil pendant 10 h.

### 2.2 Technologie

Le prototype repose sur le principe d'un système de coordonnées polaires : en mesurant l'angle et la longueur du fil attaché au smartphone/tablette à localiser, il est possible d'estimer la position de ce dernier avec une simple transformation des coordonnées en système cartésien. Sa précision est en moyenne de 0,5 cm sur la surface d'un demi-cercle d'un rayon de 50 cm. La distance et l'angle du fil sont mesurés par des encodeurs rotatifs magnétiques, imprimés en 3D également, qui fonctionnent avec des capteurs Hall SS49e. Ces capteurs détectent la rotation des aimants néodymes de 3 mm placés sur chaque axe (l'axe de l'enrouleur du fil et l'axe de la branche de rotation du fil). Le microcontrôleur utilisé est doté d'une puce BLE (*Bluetooth Low Energy*) qui permet l'envoi de la position établie à l'appareil connecté.

### 2.3 Logiciel

Au démarrage de SPART-ME, un serveur Bluetooth GATT démarre et envoie des jetons Bluetooth pour communiquer son nom et son adresse. SPART-ME commence alors la prise des mesures et les met à disposition à travers un *service de positionnement*, composant du protocole BLE. Ce service permet de notifier le dispositif connecté d'une nouvelle position (en mm). La vitesse de prise de mesure pour chacun des capteurs (100  $\mu$ s) permet d'obtenir la position en moins d'une milliseconde (et donc d'obtenir un rendu immédiat même avec un mouvement rapide du dispositif connecté). Les mesures sont lissées avec un filtre passe-bas qui calcule la moyenne mobile des 20 dernières mesures. La position est mise à jour dans le serveur lorsque SPART-ME détecte un changement de position. La fréquence de mesure peut être configurée à la fois pour le module supplémentaire (NFC ou autre) et les capteurs rotatifs.

Sur le smartphone connecté, un logiciel permet d'exploiter la position fournie afin de déplacer une couche virtuelle en fonction des déplacements du smartphone. L'utilisateur peut ainsi visionner des augmentations en fonction du plan sous-jacente et interagir avec ces augmentations. Le plan physique peut-être identifié par un tag NFC collé sur ce dernier que le smartphone lit en début d'activité.



Figure 1: Illustration de l'interaction du *peephole* dynamique (gauche), une illustration du fonctionnement de SPART-ME (centre) et les différents modules du prototype (droite)

## 2.4 Accessibilité & durabilité

SPART-ME peut être produit directement par les utilisateurs finaux puisqu'il suffit d'une imprimante 3D et de compétences de soudage basique. De plus, son prix total, d'environ 15-20 €, reste très accessible : le microcontrôleur coûte 10-15 €, les aimants peuvent être achetés sur des sites dédiés pour 1 €, le ressort à tension vient d'un enrouleur automatique à badge à 1 €, l'accumulateur LiPo 18650 coûte 2-3 € et les quatre capteurs Hall SS49 peuvent être obtenus à 40 centimes la pièce.

En outre, le choix des matériaux assure sa durabilité dans le temps. En effet, le microcontrôleur est un modèle de l'entreprise NFX, acteur majeur du marché et populaire auprès des amateurs d'électronique et l'industrie. Si, malgré ces facteurs favorables de disponibilité prolongée, le microcontrôleur venait à disparaître du marché, le logiciel, développé avec des bibliothèques Arduino standards et l'architecture électronique simple (voir annexe A.3) permettront le basculement sur un autre modèle. Dans le même esprit, l'accumulateur 18650 est utilisé dans de nombreux autres contextes, comme les cigarettes électroniques, assurant ainsi sa disponibilité.

Enfin, la possibilité de décomposer entièrement l'appareil facilite à la fois sa réparation ou le remplacement des composants selon l'usage ou la disponibilité de mise à jour, mais également le développement d'extensions personnalisées. Enfin, les pièces imprimées peuvent être entièrement recyclées dans un dispositif de recyclage de fil d'impression 3D.

## 2.5 Expérimentations

Différentes versions de SPART-ME ont été testées lors de deux expérimentations. La première expérimentation a été réalisée en classe avec 32 collégiens pendant une activité sur les plaques tectoniques. Dans cette étude, les élèves étaient amenés à déterminer le mouvement relatif des plaques à base de données fournies : Une augmentation d'une carte mondiale indiquant l'âge du plancher marin et une deuxième avec les séismes enregistrés. Sur cette dernière, les élèves ont pu accéder à des coupes verticales de l'activité sismiques par un appui de leur doigt sur la tablette à la position souhaitée. Les résultats de cette étude qualitative pointent vers un rôle du dispositif en tant que support de communication et de passage entre les différents styles de collaboration [5]. En effet, lors de la construction d'hypothèses sur le comportement des plaques, les élèves ont exploité la fonctionnalité de croiser les données des cartes et des coupes verticales par position pour compléter leur discours. Puisque la position de la tablette ou smartphone représente un indicateur sur le sujet et le travail en cours, les élèves en phase de réflexion ont confirmé le rôle de SPART étant un

moyen visuel de suivi de l'activité du groupe sans implication directe. L'analyse complète fait l'objet d'un article récemment accepté lors de la conférence CSEDU 2024.

La deuxième expérimentation menée avec une version mobile de SPART-ME avait comme sujet l'identification des types d'arbres dans la cour du collège. Des groupes de trois élèves équipés d'une clé de détermination et SPART-ME avaient comme tâche de positionner des symboles des arbres de la cour sur un plan en papier. SPART-ME permettait l'affichage d'une carte satellite, la visualisation de « feuilles virtuelles » selon la position (l'expérimentation ayant eu lieu en hiver, cette fonctionnalité permettait d'effectuer l'activité malgré l'absence de feuilles par terre ou inaccessible par la hauteur des arbres) et un indice sur la position des arbres. Ces trois fonctionnalités étaient uniquement accessibles par des jetons NFC individuels, obligeant les élèves à collaborer et à communiquer. Les analyses de cette expérimentation sont en cours.

### 3 LIMITES ET PERSPECTIVES

**SPART-ME permet une localisation 2D, rapide, haute précision et mobile, à la portée de chaque individu avec une imprimante 3D et un fer à souder pour un coût d'investissement de 15 à 20 €.** Le prototype a été testé, lors de deux activités pédagogiques de 45 minutes, auprès de 38 collégiens. Les premiers résultats, décrits dans un autre article en cours de soumission, montrent que SPART pourrait améliorer l'attention et apporter une aide visuelle pour le travail d'équipe.

Le dispositif SPART-ME peut encore être amélioré, notamment en ajoutant une étape d'initialisation pour faciliter le calibrage initial du champ magnétique hétérogène des aimants qui, dus à leur forme rectangulaire, ne produisent pas de champ adéquat pour un calcul trigonométrique.

Une autre amélioration pour l'expérience utilisateur peut être apportée au niveau logiciel sur l'appareil connecté : SPART ne fournit pas de données de rotation. Les « unités de mesure inertielle » (ensemble de capteurs, typiquement accéléromètre, gyroscope et magnétomètre) des appareils mobiles actuelles (03/2024) permettent de mesurer la rotation sans recours à un dispositif supplémentaire. Pour améliorer l'ergonomie de SPART, le logiciel dédié à l'appareil mobile connecté pourra donc intégrer ces données pour fournir une augmentation fidèle à la rotation de l'appareil.

D'un point de vue collaboratif, la question d'un usage multi-appareil se pose. SPART, dans sa forme actuelle, permet l'utilisation de plusieurs portables localisés. Néanmoins, un nombre élevé de dispositifs risque de contraindre les mouvements en vue du nombre de fils tendus à travers l'espace collaboratif.

De plus, l'interaction peephole sous cette forme a d'autres potentiels. En utilisant la position de l'appareil comme interaction, les gestes sur l'écran tactile, typiquement exploitées pour déplacer du contenu (par exemple une carte virtuelle, peuvent désormais prendre en charge d'autres fonctionnalités. Dans leur travail sur les fonctionnalités des tables interactives et leur impact sur la collaboration, Buisine et al. ont implémenté une simulation physique pour « jeter » les objets virtuels à travers une table interactive avec des gestes tactiles. Une telle fonctionnalité pourra servir à facilement déplacer des objets virtuels dans l'espace collaboratif. Si plusieurs appareils sont impliqués, l'objet « lancé » pourra réapparaître sur l'autre appareil et ainsi permettre un échange de documents et informations ciblées (avec une orientation automatique par exemple pour une meilleure lisibilité des acteurs autour de l'espace).

Ce travail vise aussi à contribuer à avancer la recherche et faciliter l'accès à des technologies de localisation pour le déploiement d'applications collaboratives en classe. Les fichiers 3D et les schémas électroniques, bientôt disponibles sur le site web du projet SPART, permettent à d'autres chercheurs de valider et d'étendre les résultats prometteurs de nos études. La modularité de SPART-ME permet également l'étude d'autres phénomènes de collaboration comme l'interdépendance positive et l'usage de jetons tangibles. Nous avons d'ailleurs intégré une puce NFC dans la dernière version du prototype expérimenté lors d'une expérimentation d'apprentissage collaboratif et situé. SPART-ME a également pour ambition de susciter la créativité de la communauté *maker* et encourager ses utilisateurs à l'adapter à leurs besoins. À cette fin, nous avons prévu des publications sur les plateformes Hackaday et une stratégie de communication visant à développer une communauté de développement collaboratif.

#### Remerciements

Ce travail fait partie du projet SituLearn, financé par l'agence nationale de recherche. Référence ANR-20-CE38-0012. Merci à Guy Théard d'avoir expérimenté les différents prototypes avec sa classe.

## REFERENCES

- [1] Pierre Dillenbourg and Michael Evans. 2011. Interactive tabletops in education. *Computer Supported Learning* 6, 4 (December 2011), 491–514.
- [2] Bonifaz Kaufmann and David Ahlström. 2013. 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 (CHI '13)*, April 27, 2013, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 3173–3176.
- [3] Sumit Mehra, Peter Werkhoven, and Marcel Worring. 2006. Navigating on handheld displays: Dynamic versus static peephole navigation. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 13, 4 (December 2006), 448–457.
- [4] A. R. Sattarov and N. F. Khaitova. 2019. Mobile learning as new forms and methods of increasing the effectiveness of education. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences Vol7*, 12 (2019). Retrieved December 19, 2023 from <http://www.idpublications.org/wp-content/uploads/2019/12/Full-Paper-MOBILE-LEARNING-AS-NEW-FORMS-AND-METHODS-OF-INCREASING-THE-EFFECTIVENESS.pdf>
- [5] Anthony Tang, Melanie Tory, Barry Po, Petra Neumann, and Sheelagh Carpendale. 2006. Collaborative coupling over tabletop displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, April 22, 2006, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1181–1190.
- [6] Johannes Zagermann, Ulrike Pfeil, Roman Rädle, Hans-Christian Jetter, Clemens Klokmose, and Harald Reiterer. 2016. When Tablets meet Tabletops: The Effect of Tabletop Size on Around-the-Table Collaboration with Personal Tablets. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*, May 07, 2016, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 5470–5481.