



HAL
open science

TurtleTablet : un jeu collaboratif et tangible sur tablette pour l'initiation à la programmation

Iza Marfisi-Schottman, Sébastien George, Marc Leconte

► **To cite this version:**

Iza Marfisi-Schottman, Sébastien George, Marc Leconte. TurtleTablet : un jeu collaboratif et tangible sur tablette pour l'initiation à la programmation. Didapro – DidaSTIC, Feb 2020, Lille, France. pp.92-101. hal-02466479

HAL Id: hal-02466479

<https://hal.science/hal-02466479v1>

Submitted on 4 Feb 2020

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

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

TurtleTablet : un jeu collaboratif et tangible sur tablette pour l'initiation à la programmation

Iza Marfisi-Schottman, Sébastien George et Marc Leconte

Le Mans Université, LIUM - EA 4023, 72085 Le Mans, France
{Iza.Marfisi, Sebastien.George, Marc.Leconte}@univ-
lemans.fr

Abstract. Les jeux numériques sont souvent utilisés au collège pour initier les élèves aux bases de la programmation informatique. Par ailleurs, le travail en groupe tient une place très importante dans l'apprentissage des sciences et ces jeux sur ordinateur sont couramment effectués en groupe de deux élèves. Cependant, les interactions clavier-souris ou tactile, et la conception même de ces jeux freinent la collaboration. Le plus souvent, seul un élève est engagé dans l'activité à un moment donné. Pour favoriser une réelle pédagogie s'appuyant sur la collaboration, nous proposons *TurtleTablet*, un jeu sur tablette pour aider les élèves à comprendre comment se déroule l'exécution d'un algorithme. Les activités de ce jeu sont conçues pour un binôme d'élèves, de façon à ce que chacun ait un rôle actif. De plus, les élèves doivent manipuler des objets tangibles pour interagir avec la tablette. Ce mode d'interaction, déjà éprouvé sur tables interactives, est inédit sur tablette.

Keywords : informatique, programmation, algorithme, objet tangible, collaboration, serious games

1 Jeu numérique collaboratif pour s'initier aux concepts de la programmation

Depuis septembre 2016, les principes de la programmation informatique sont inscrits au programme des collèges en France. Le CAPES "Numérique et sciences informatiques" venant tout juste d'être mis en place en 2019, les enseignants qui donnent actuellement les cours d'informatique sont, le plus souvent, non-spécialistes. Pour les aider, il existe de nombreux blogs d'enseignants ou d'associations [1][2] qui proposent des fiches d'activités à réaliser, notamment des animations débranchées, qui peuvent se faire sans ordinateur ni matériel spécifique [3]. On y trouve par exemple le jeu collaboratif du *robot idiot* qui se joue à trois : un élève construit un algorithme avec des cartes « avancer », « tourner-droite » et « tourner-gauche », un autre l'exécute en pointant la carte en cours et le dernier élève effectue les déplacements sur un plateau ou un sol carrelé.

À l'image de ce jeu, toutes les activités débranchées sont faites en équipe de deux ou trois élèves et donnent une part importante à la **collaboration**. En effet, comme il

est inscrit dans le décret du 31 mars 2015, définissant le socle commun de connaissance, de compétences et de culture : « l'élève travaille en équipe, partage des tâches, s'engage dans un dialogue constructif, accepte la contradiction tout en défendant son point de vue, fait preuve de diplomatie, négocie et recherche un consensus » [4]. Cette démarche collaborative accroît la motivation et améliore les résultats des élèves de façon significative [5]. De plus, la collaboration est également inscrite dans le programme officiel du collège dans la section sciences et technologie [6].

Les enseignants utilisent également des **outils numériques** gratuits pour que les élèves apprennent à programmer à partir de dessins [7], d'organigrammes [8], de blocs [9] ou même directement dans un vrai langage [10]. Ces outils reposent, en grande partie, sur des activités ludiques dont le but est d'écrire un programme pour déplacer une entité (un robot, un personnage ou un animal) dans un environnement. Ces outils numériques ont l'avantage de corriger automatiquement les élèves et de leur proposer plusieurs niveaux de difficulté, ce qui permet de rendre les élèves autonomes et de libérer du temps pour les enseignants afin qu'ils puissent aider les groupes en difficulté.

Cependant, les activités et les interactions clavier-souris proposées par ces applications numériques ne favorisent pas la collaboration au sein d'un groupe. En effet, lorsque deux élèves sont assis devant l'ordinateur, les activités ne sont pas conçues pour donner un rôle à chacun et seul l'élève qui tient la souris ou le clavier est actif [11]. Le constat est le même pour les applications tactiles sur tablette : l'expérience que nous allons décrire dans la suite montre qu'au bout d'un certain temps, un seul des élèves va prendre le contrôle intégral de la tablette. **Peut-on garder les avantages du numérique tout en ayant des activités qui encouragent la collaboration entre élèves ?**

Dans cet article, nous présentons *TurtleTablet* : un jeu collaboratif sur tablette pour s'initier aux concepts de base de l'algorithmique. Le jeu se joue par groupe de deux élèves en autonomie, même si un enseignant peut superviser une classe pour inciter à la discussion et mieux ancrer les apprentissages. Dans les parties suivantes, nous expliquons comment la conception du jeu et l'utilisation d'objets tangibles ont été pensées pour favoriser la collaboration.

2 Conception du jeu collaboratif TurtleTablet

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction, les activités collaboratives peuvent améliorer l'appropriation de concepts, mais les applications numériques pour l'initiation à l'informatique ne supportent pas vraiment une pédagogie de l'apprentissage collaboratif. Dans la suite de cet article, nous présentons le principe du jeu *TurtleTablet* et la façon dont il a été conçu pour favoriser la collaboration.

2.1 Un jeu pour apprendre à exécuter un programme pas à pas

L'objectif pédagogique de *TurtleTablet* est d'apprendre à exécuter un programme pas à pas. Le principe, inspiré du jeu du robot idiot, est simple : exécuter un programme présenté (sur la gauche de l'interface de la fig. 1) en déplaçant les objets sur une grille

(à droite sur la fig. 1). Le fait de s'entraîner à exécuter un programme pas à pas, comme une machine, est complémentaire aux activités d'écriture d'algorithmes proposées par les autres outils numériques [12]. Dans *TurtleTablet*, le programme est écrit en pseudo langage et contient des instructions introduites selon une difficulté croissante : des instructions simples (ex. *déplacer obj_1 de 3 cases vers l'avant, tourner obj_2 de 45° vers la gauche*), des variables (ex. $y = 3$), des conditions (ex. *si $x < 2$ {...}*) et des boucles (ex. *pour i allant de 1 à 3 {...}*).

Si les élèves ne déplacent pas l'objet correctement, une animation indique que l'objet doit être déplacé à nouveau. *TurtleTablet* offre plusieurs types d'aides visuelles : l'instruction en cours est en blanc, celle exécutée avec une erreur est en rouge et celles qui ont été exécutées correctement sont en vert. Toutes ces aides sont optionnelles et peuvent être désactivées par l'enseignant, ce qui rend les niveaux beaucoup plus complexes, surtout ceux avec des boucles.

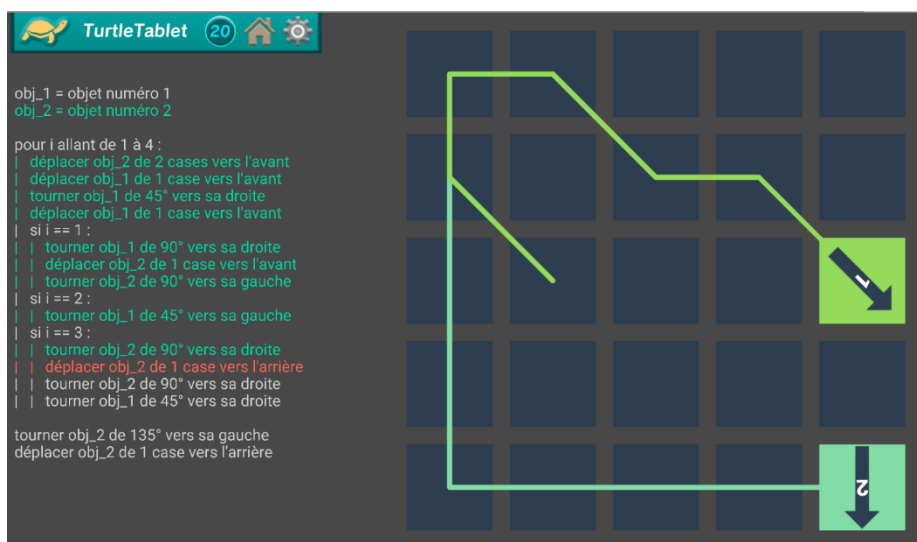


Fig. 1. Interface du niveau 20 de TurtleTablet

Chaque niveau possède un compteur d'erreurs. L'objectif est d'inciter les élèves à prendre le temps de réfléchir et à se concerter avant de déplacer les objets. Une fois que toutes les instructions sont réussies, les joueurs gagnent un quart de dessin qui correspond aux lignes tracées par les objets sur la grille (eg. le niveau 20 correspond à la tête d'un caméléon). Ils peuvent alors passer au niveau suivant. Quand les quatre quarts d'un dessin sont gagnés, le dessin complet apparaît dans le menu (fig. 2). Ce principe de récompenses est un ressort ludique qui fonctionne bien avec un public jeune.

TurtleTablet est composé de 20 niveaux de jeu avec des difficultés progressives (fig. 2). Les notions d'algorithmiques (variables, boucles et conditions) sont introduites progressivement avec des fenêtres de tutoriel. Pour introduire ces concepts du programme officiel, nous nous sommes inspirés des tutoriels des jeux de *CODE.org*

[13], qui sont largement utilisés dans les écoles américaines notamment. La difficulté augmente également avec des codes de plus en plus longs et des concepts qui se combinent (comme dans le dernier niveau présenté sur la fig. 1).

Afin d'inciter les élèves à refaire les niveaux sans erreur, le menu affiche les niveaux qui peuvent être améliorés en orange ainsi de leur nombre d'erreurs. Le jeu affiche également des messages d'encouragement pour les inciter au sans-faute.

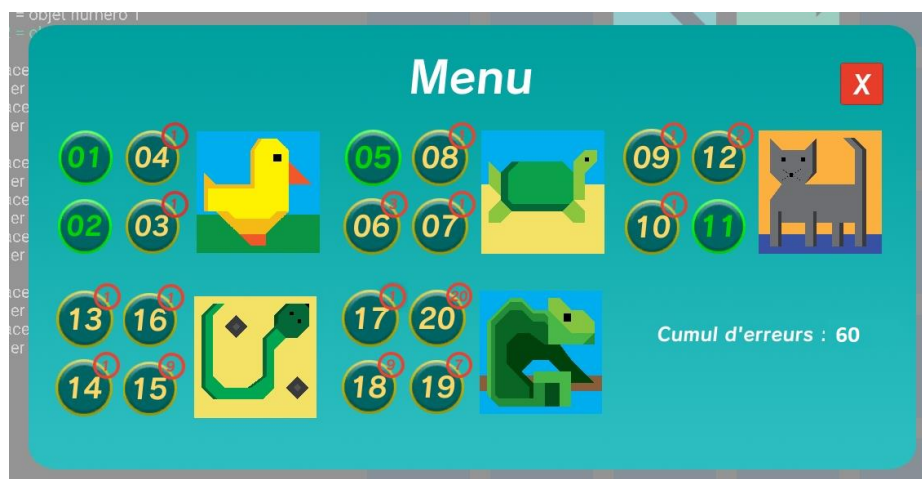


Fig. 2. Interface du menu avec les 20 niveaux finis

2.2 Un jeu collaboratif

TurtleTablet intègre des mécaniques de jeu qui favorisent la réflexion et la concertation entre les deux équipiers pour réussir les niveaux avec le moins d'erreurs possible. Tous les niveaux sont conçus pour que chaque élève ait un rôle à jouer en manipulant un objet particulier (objet_1 ou objet_2). Le niveau de difficulté et le type d'instruction sont répartis équitablement entre les deux joueurs. Pour finir, afin que les deux joueurs prennent le temps de comprendre chaque nouveau concept, les fenêtres de tutoriel se ferment uniquement quand les deux ont indiqué qu'ils sont prêts.

TurtleTablet est conçu pour favoriser la collaboration, mais cela ne suffit pas toujours à engager les deux élèves dans l'action. Dans la suite de cet article, nous présentons le mode d'interaction innovant proposé par le jeu pour renforcer l'engagement et la collaboration de la part des deux élèves.

3 Interactions avec des pièces tangibles

Les interactions classiques clavier-souris sont des freins à la collaboration entre les élèves. Plusieurs études ont montré qu'il est possible de favoriser la collaboration en proposant les interactions avec deux ou trois souris [11]. Les équipiers ont alors une souris chacun, mais contrôlent toujours le même curseur sur l'écran. Comme nous

allons voir dans la suite de cet article, la collaboration sur une tablette n'est pas non plus forcément facilitée ni incitée, car une personne peut être tentée de réaliser toutes les actions mêmes si des consignes sont données pour se répartir le travail. D'autres études en Interaction Homme Machine (IHM) ont prouvé que l'utilisation d'objets tangibles (i.e. objet 3D qui interagissent avec l'application) pouvait également faciliter la collaboration et l'appropriation de concepts, de par l'engagement corporel et l'invitation à l'action [14]-[18]. L'utilisation d'éléments physiques est particulièrement efficace pour les enfants qui ont l'habitude d'apprendre en manipulant des objets.

L'utilisation de ces pièces tangibles se fait habituellement sur une table avec un système de Réalité Augmentée par projection [19] ou en posant directement les pièces sur une table interactive. Ces surfaces offrent l'avantage d'être large et donc de faciliter le travail collaboratif en groupes [20].

Dans la section suivante, nous présentons *TurtleTable*, la première version du jeu développée pour table interactive avec des pièces tangibles ainsi que les résultats obtenus sur l'impact de ses interactions concernant la collaboration et la motivation des élèves. Cependant, l'achat et l'installation de système de projection en réalité augmentée (environ 1 500 euros pour le kit projecteur et camera de profondeur) ou d'une table interactive (environ 7 000 euros) ne sont pas abordables pour une diffusion large dans les établissements d'enseignement. Par contre, la plupart des collègues en France disposent déjà de tablettes. Nous expliquons alors comment nous avons conçu une version de l'application sur tablette en conservant le principe d'interaction par objets tangibles.

3.1 *TurtleTable* : objets tangibles sur table interactive

TurtleTable reprend le même principe de jeu que celui présenté précédemment, mais avec des grilles de 8 sur 8 cases (alors que celles de *turtletablet* font seulement 5 sur 5 cases). Cette différence de taille a eu un impact sur le *game design* puisque que les élèves effectuaient un dessin complet à la fin de chaque niveau alors qu'ils doivent compléter quatre niveaux dans *turtletablet* avant de voir un dessin complet. De plus, les niveaux non pas deux mais trois objets puisqu'une table interactive est assez grande pour accueillir aisément une équipe de trois élèves. Pour faire tourner et avancer les objets, les élèves doivent faire glisser une pièce tangible sur la surface de la table (fig. 3 en haut à gauche.). Nous avons mis à disposition trois pièces numérotées 1, 2 et 3 sur chaque table et les élèves ont naturellement choisi une pièce pour bouger l'objet virtuel portant le même numéro. Afin de mesurer l'impact de ce mode d'interaction sur l'apprentissage, nous avons développé trois autres modes d'interactions : un mode tactile sur table interactive, un mode tactile sur tablette et un mode clavier-souris sur ordinateur (fig. 3). Pour bouger les objets avec les interactions tactiles, les apprenants doivent cliquer dessus, pour le sélectionner, puis cliquer sur les cases devant ou derrière. La rotation des objets est faite avec deux doigts, comme un compas. Avec les interactions clavier-souris, la rotation de l'objet se fait avec les flèches directionnelles du clavier.

Afin de mesurer l'impact des interactions sur la motivation, la collaboration et l'apprentissage, nous avons expérimenté ses différentes versions de *TurtleTable* avec une soixantaine de collégiens. Plusieurs types de données ont été collectés. Premièrement, nous avons conçu des pré-tests et des post-tests afin de mesurer le niveau de connaissances des élèves sur les concepts vus dans le jeu (variables, boucles, conditions). Ce test se compose de 10 exercices, qui sont similaires aux niveaux dans le jeu : l'objectif est d'exécuter le programme en dessinant le chemin parcouru par les objets sur la grille. Les groupes ont également été filmés afin d'analyser les interactions entre sujets. Certains groupes ont également été questionnés en *focus group* pour comprendre leurs interactions. Pour finir, les sujets ont également répondu à un questionnaire final dans lequel on leur a demandé de classer les versions par ordre de préférence et de les qualifier avec des mots clés.



Fig. 3. TurtleTable avec ses 4 modes d'interactions

L'expérimentation a été conduite sur 59 collégiens du collège La Salle (Laval, France), dont 30 filles et 29 garçons, de 14 à 16 ans. Ils sont venus au laboratoire, dans une salle d'innovation pédagogique équipée de caméra, pendant une demi-journée en décembre 2017. Seul cinq des sujets avaient déjà des connaissances en

programmations, puisqu'ils suivaient des cours pendant la pause de midi. Pour tous les autres, il s'agissait de leur première initiation à la programmation.

Les sujets ont été séparés en quatre groupes et assignés une version spécifique de TurtleTable. Les enseignants ont composé les groupes de façon à ce qu'ils soient équitables en termes de niveau. L'expérimentation été planifiée comme suit :

- 15 minutes pour répondre au pré-test
- 60 minutes pour jouer à *TurtleTable*, sur la version assignée, sans l'aide des enseignants
- 15 minutes pour répondre au post-test
- 20 minutes pour tester les autres versions de TurtleTable, avec l'aide des enseignants, s'ils le souhaitaient
- 20 minutes pour répondre au questionnaire final

Tout d'abord, le jeu semble avoir beaucoup plus aux élèves et aux enseignants. Presque tous les groupes ont réussi à finir les 20 niveaux de jeu en 60 minutes et étaient en compétition pour faire le moins d'erreurs possible en refaisant les niveaux. Les post-tests montrent qu'après le jeu, plus de la moitié des sujets maîtrisaient les concepts des variables et des boucles. Étant donné que seul cinq des élèves avaient des connaissances en algorithmique, c'est un résultat qui semble satisfaisant pour un premier cours. Les résultats détaillés de cette expérimentation sont décrits dans un autre article [21] mais nous reprenons ici, les points importants.

Du point de vue de la **motivation**, 2/3 des élèves ont préférèrent la version avec les objets tangibles, 1/5 la version sur tablette et les quelques élèves restant les versions sur ordinateur et Table avec les interactions tactiles. Ces résultats sont cohérents avec les mots qu'ils ont utilisés pour qualifier ces versions : la version avec les objets tangibles est qualifiée d'« amusante », « intéressante » alors que ces termes disparaissent progressivement, au profit de « difficile » et « ennuyeux » pour les autres versions.

D'un point de vue de l'**apprentissage**, les tests statistiques montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les pré-tests et les post-tests des quatre groupes, même si, les sujets ayant joué sur tables interactives (avec les objets tangibles ou avec les interactions tactiles) ont déclaré avoir plus appris que les autres.

Pour finir, la différence la plus significative entre les versions se trouve dans la **collaboration**. En effet, les sujets sur tables interactives ont beaucoup plus interagi avec leurs coéquipiers. De plus, seuls les sujets ayant joué avec les objets tangibles ont utilisé les mots « convivial » et « travail d'équipe ». Le fait que les sujets aient un objet tangible assigné semble leur apporter beaucoup plus d'assurance et de légitimité pour participer à l'activité, même s'ils ne sont pas sûrs d'eux. Cette observation est cohérente avec une étude, dans laquelle les élèves étaient assignés soit le clavier, soit la souris lors d'un travail collaboratif sur ordinateur [22]. Ce contrôle individuel d'une entité semble favorable à l'engagement des sujets dans la tâche collaborative. Ce mode d'interaction semble également éviter qu'un élève ne fasse le niveau tout seul. Dans l'expérience réalisée, un seul élève a pris les pièces des mains de ses coéquipiers pour faire à leur place. Le comportement le plus courant observé est des échanges et des conseils apportés pour aider à réaliser le bon mouvement. Inversement, les élèves utilisant le mode tactile, sur table interactive ou sur tablette, ont plus eu tendance à

faire les manipulations à la place de leur coéquipier au lieu de leur expliquer. La collaboration s'est avérée être la pire chez les groupes utilisant le mode clavier-souris : dans le meilleur des cas, les élèves faisaient les niveaux chacun leur tour pendant que les autres regardaient ailleurs, y compris quand il fallait lire les tutoriels introduisant les nouveaux concepts algorithmiques.

Le mode d'interaction avec les pièces tangibles sur la table interactive montre donc des avantages en termes de motivation et de collaboration, mais les établissements scolaires n'ont pas les moyens d'acheter de telles tables. Afin de favoriser une diffusion large du jeu pour apprendre les bases de l'algorithmique, nous avons eu pour objectif de recréer les mêmes conditions d'interactions tangibles sur des dispositifs déjà existants dans les collèges : les tablettes.

3.2 TurtleTablet : objets tangibles sur tablette

L'utilisation de pièces tangibles sur tablette est très récente et concerne essentiellement des jeux vidéo ou des jeux de société qui proposent une extension numérique [23].



Fig. 4. Interactions avec des pièces tangibles sur tablette

D'un point de vue technique, les mouvements des pièces tangibles sont reconnus par la tablette grâce à la position de ses pieds. La pièce est recouverte d'une couche de peinture conductrice [24] qui conduit la charge électromagnétique, produite naturellement par le corps humain, vers l'écran capacitif de la tablette. Des petits patins en mousse conductrice sont également collés en dessous des pieds pour éviter de rayer l'écran. Seuls trois pieds sont utiles pour reconnaître les mouvements de la pièce. Nous utilisons l'API fourni par *Volumique* [23] pour détecter la position de ces trois points de contact comme étant une pièce. Il est possible de créer des pièces avec des positionnements de pieds uniques de façon à ce que l'objet virtuel n°1 ne puisse être déplacé qu'avec la pièce n°1. Cependant, les premiers tests menés lors de la fête de la science 2019 montrent que l'inscription des numéros sur les pièces suffit à dissuader les joueurs d'utiliser la même pièce pour déplacer les deux objets virtuels (même si cela est possible). Les pièces que nous avons utilisées pour *TurtleTablet* (Fig. 4) sont imprimées avec une imprimante 3D, mais il est possible de fabriquer des pièces avec carton recouvert d'aluminium, qui possède les mêmes propriétés conductrices. Afin

de stabiliser les pièces, nous avons ajouté un quatrième pied sans le recouvrir de peinture conductrice.

L'application et le guide de création des pièces, à imprimer en 3D, ou à faire en carton, sont disponibles sur le site du projet [25].

4 Conclusion et perspectives

Les applications numériques offrent de nombreux avantages pour l'apprentissage de l'informatique : ils permettent aux élèves de travailler en autonomie en leur proposant des exercices adaptés à leurs niveaux. Comme la plupart des activités en sciences et technologies, les enseignants souhaitent que les élèves travaillent sur ces applications par petit groupe, afin de favoriser la collaboration, qui est une compétence clé du cursus scolaire. Cependant, les interactions proposées par un ordinateur ou une tablette ne facilitent pas la collaboration. Dans cet article, nous avons présenté *TurtleTablet*, une application numérique sur tablette, pour apprendre les bases de la programmation. Ce jeu, qui se joue par équipe de deux, permet de comprendre comment un programme s'exécute pas à pas, en introduisant les notions de variables, boucles et conditions. *TurtleTablet* vise à favoriser la collaboration de deux façons. Tout d'abord, les activités du jeu sont conçues de façon à impliquer les deux joueurs en leur demandant de bouger chacun un objet à tour de rôle. Ce jeu propose également une Interaction Home-Machine qui consiste à glisser des pièces tangibles sur l'écran de la tablette pour bouger les objets virtuels. Ce type d'interaction a déjà montré sa capacité à favoriser la collaboration des élèves sur une table interactive. Nous allons prochainement conduire des expérimentations pour évaluer *TurtleTablet* afin de mesurer si, malgré une taille d'écran plus petite, l'application tangible conserve des propriétés propices à une collaboration entre élèves.

Par la suite, nous envisageons également d'ajouter une interface d'édition à *TurtleTablet* pour que les enseignants ou les élèves puissent eux-mêmes créer de nouveaux niveaux. Il serait également intéressant d'afficher le programme sous différentes formes (organigrammes, blocs de type Scratch ou différents langages tels que python ou java) pour introduire la notion de syntaxe propre à chaque langage et proposer un plus grand éventail de niveau de difficulté.

References

1. Site Web de Pixees, Ressources pour les sciences numériques, <https://pixees.fr/utiliser-une-ressource/>, vu le 16/10/2019.
2. Site Web du Concours Castor, <http://concours.castor-informatique.fr/>, vu le 16/10/2019.
3. Calmet C., Hirtzig M., et Wilgenbus D., *1, 2, 3... codez ! enseigner l'informatique à l'école et au collègue*, Le pommier, Paris, France, 358 p., (2016).
4. Journal officiel de la République française (2015), Décret n° 2015-372 relatif au socle commun de connaissances, de compétences et de culture, <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2015/3/31/2015-372/jo/texte>

5. Johnson D., Murayama G., Jonson R.T., Nelson D. et Skon L., « Effects of cooperative, competitive, and individualistic goal structures on achievement: A meta-analysis », In: *Psychological Bulletin*, vol. 89, pp. 47–62, (1981).
6. Site officiel du programme du collège français, <https://www.education.gouv.fr/cid81/les-programmes.html>, vu le 16/10/2019.
7. Site Web de Lightbot, <https://lightbot.com/>, vu le 16/10/2019.
8. Site Web de RobotProg, <http://www.physicsbox.com/demorobotprog.html>, vu le 16/10/2019.
9. Sites Web de Scratch, <https://scratch.mit.edu/>, vu le 16/10/2019.
10. Site Web de la tortue-logo, <http://tortue-logo.fr/fr/tortue-logo>, vu le 16/10/2019.
11. Scott S. D., Shoemaker G. B. D., et Inkpen K. M., « Towards Seamless Support of Natural Collaborative Interactions », In: *Proceedings of Graphics Interface*, pp. 103–110, (2000).
12. George S., Marfisi-Schottman I., et Leconte M., « TurtleTable : apprendre les bases de la programmation avec des interfaces tangibles », In: *Atelier Apprentissage Instrumenté de l'Informatique, Orpheu RDV*, Font-Romeu, France, (2017).
13. Site Web de CODE.org, <https://code.org/learn>, vu le 16/10/2019.
14. Schneider B., Jermann P., Zufferey G. et Dillenbourg P., « Benefits of a Tangible Interface for Collaborative Learning and Interaction », In: *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 4, n° 3, pp. 222–232, (2011).
15. Price S. et Pontual Falcão T., « Where the attention is: Discovery learning in novel tangible environments », In: *Interacting with Computers*, vol. 23, n° 5, pp. 499–512, (2011).
16. Kubicki S., Wolff M., Lepreux S., et Kolski C., « RFID interactive tabletop application with tangible objects: exploratory study to observe young children' behaviors », In: *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 19, n° 8, pp. 1259–1274, (2015).
17. Da costa J., Szilas N., et Müller A., « Réalité augmentée pour l'apprentissage conceptuel en sciences : quels principes de conception pour les EIAH ? Cas du dispositif DEAPE Learn en électromagnétisme », In: *Actes d'Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, EIAH*, Paris, France, pp. 181–192, (2019).
18. Palaigeorgiou G., Tsolopani X., Liakou S., et Lemonidis C., « Movable, Resizable and Dynamic Number Lines for Fraction Learning in a Mixed Reality Environment », In: *The Challenges of the Digital Transformation in Education*, pp. 118–129, (2019).
19. Laviolle J. et Hachet M., « PapARt : interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation », In: *Proceedings of the IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, Costa Mesa, CA, United States, pp.3–6, (2012).
20. Shaer O. *et al.*, « The design, development, and deployment of a tabletop interface for collaborative exploration of genomic data », In: *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 70, n° 10, pp. 746–764, (2012).
21. Marfisi-Schottman I., George S., et Leconte M., « TurtleTable: Learn the Basics of Computer Algorithms with Tangible Interactions », In: *Proceedings of the Games and Learning Alliance Conference, GALA*, Palermo, Italy, pp. 291–300, (2018).
22. Angeli C., Tsaggari A., « Examining the effects of learning in dyads with computer-based multimedia on third-grade students' performance in history », In: *Computers & Education*, vol. 92-93, pp. 171-180, (2016).
23. Site Web de l'entreprise Volumique, <https://volumique.com/>, vu le 16/10/2019.
24. Page Web du produit *Conductive Paint*, vendu par Bare Conductive <https://www.bareconductive.com/shop/electric-paint-50ml/>, vu le 16/10/2019.
25. Page Web du projet TurtleTable, <https://lium.univ-lemans.fr/en/turtletable/>, vu le 16/10/2019.