



## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

#### Les tables interactives comme outil de sensibilisation à la Smart City

Dardenne, Thomas; Deremiens, Caroline

*Award date:*  
2021

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



FACULTÉ D'INFORMATIQUE

ANNÉE ACADÉMIQUE 2020-2021

---

# LES TABLES INTERACTIVES COMME OUTIL DE SENSIBILISATION À LA SMART CITY

---

DEREMIENS Caroline - DARDENNE Thomas

**Promoteur** : DUMAS Bruno

**Co-Promoteur** : CLARINVAL Antoine

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE  
MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES.

## Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions avant tout nos deux promoteurs, le professeur Bruno Dumas et son assistant Antoine Clarinval, pour leur expertise et l'aide précieuse qu'ils ont su nous apporter tout au long de ce projet. Les nombreux conseils qu'ils nous ont prodigués au cours de nos discussions nous ont permis d'aiguiller correctement notre recherche bibliographique, le développement de notre table interactive et la rédaction de ce mémoire.

Nous remercions également Valentin Eggermont pour le temps qu'il nous a accordé. Sa disponibilité et les réponses complètes qu'il a fournies à nos questions nous ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de la table interactive qu'il a construite et que nous n'avons malheureusement pas pu utiliser concrètement.

Nous remercions le Confluent des Savoirs et le TRAKK qui se sont montrés disposés à nous consacrer de leur temps afin de nous permettre de réaliser la partie matérielle de ce mémoire et qui ont accepté avec bienveillance l'annulation de leur participation à ce projet au vu des circonstances épidémiologiques.

Nous remercions l'ensemble du personnel de la faculté d'informatique de l'Université de Namur qui nous a permis, au cours de ces dernières années, d'acquérir les connaissances et les compétences nécessaires pour mener à bien un projet de cette ampleur. Nous remercions plus particulièrement Benjamine Lurquin pour sa disponibilité, sa réactivité et son soutien à toute épreuve qui nous ont permis de traverser ces années avec plus de sérénité.

Nous remercions également tous les étudiants qui nous ont accompagnés depuis le début de cette aventure. Ils nous ont aidés à progresser et à donner le meilleur de nous-même, mais aussi et surtout, ils nous ont permis de rendre ces années de formation plus agréables. Nous remercions plus particulièrement Olivier Chevalier et Audrey Gilson qui, au cours de notre parcours, ont été nos complices et alliés durant nos nombreux projets.

Enfin, nous remercions nos familles pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce mémoire et de toutes ces années d'études.

À toutes ces personnes, nous présentons notre respect et notre gratitude.

## Résumé

Alors que les approches traditionnelles de la gestion de nos villes montrent leurs limites face aux bouleversements qui s'y opèrent, la Smart City s'impose peu à peu comme la clé qui nous permettra d'affronter les défis de demain. Le concept s'articule autour de la participation citoyenne et des nouvelles technologies et nécessitera un changement de paradigme qui passera avant tout par l'éducation.

Ce travail a pour objectif d'intégrer une table interactive au sein d'un atelier de sensibilisation à la Smart City organisé auprès de jeunes élèves francophones. La table devant pallier le manque d'interactivité de l'une des activités proposées, nous avons tenté de savoir si les tables interactives pouvaient apporter une plus-value dans la sensibilisation à ce concept. Pour ce faire, nous avons conçu une application et une collection d'objets tangibles. Le résultat obtenu et l'évaluation d'experts en UX réalisée ont apporté des premiers éléments de réponse encourageants mais de futures évaluations devront être menées au sein des écoles afin de pouvoir apporter des réponses plus circonstanciées.

**Mots-clés** : smart city, tables interactives, apprentissage par le jeu.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Etat de l’art</b>	<b>7</b>
2.1	La Smart City . . . . .	8
2.1.1	Qu’est-ce que la Smart City? . . . . .	9
2.1.2	Les 6 dimensions de la Smart City . . . . .	9
2.1.3	La participation citoyenne . . . . .	13
2.1.4	Les jeux supports existants pour la Smart City . . . . .	14
2.2	Les tables interactives . . . . .	21
2.2.1	Une table interactive, qu’est ce que c’est? . . . . .	21
2.2.2	Les tables interactives dans l’éducation . . . . .	22
2.2.3	Les tables interactives éducatives existantes . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Analyse</b>	<b>33</b>
3.1	Contexte . . . . .	33
3.2	Analyse des contraintes de réalisation . . . . .	34
3.2.1	L’atelier préexistant . . . . .	34
3.2.2	La table interactive choisie . . . . .	34
3.2.3	Les enseignements tirés de notre état de l’art . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Développement</b>	<b>38</b>
4.1	Conception . . . . .	38
4.1.1	L’emploi d’un simulateur . . . . .	39
4.1.2	Les filtres . . . . .	41
4.1.3	Les infrastructures . . . . .	49
4.2	Implémentation . . . . .	51
4.2.1	La base de données . . . . .	51
4.2.2	Le client . . . . .	52
4.2.3	Le gui . . . . .	53

<b>5</b>	<b>Évaluation</b>	<b>55</b>
5.1	Évaluation par le biais d'experts en UX . . . . .	55
5.2	Evaluation par le biais des utilisateurs finaux . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Perspectives</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>61</b>
	<b>Références</b>	<b>63</b>
	<b>Annexes</b>	<b>I</b>
<b>A</b>	<b>Tableaux des valeurs associées aux infrastructures</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Sketchs papier des filtres</b>	<b>IV</b>
<b>C</b>	<b>Table et application en situation "réelle"</b>	<b>VI</b>
<b>D</b>	<b>Installation de l'application</b>	<b>XIII</b>

## 1 Introduction

Le monde s'urbanise à une vitesse sans précédent. Alors que plus de la moitié de la population globale vit aujourd'hui en ville, les projections des Nations Unies annoncent que, d'ici 2050, ce sont près de 7 personnes sur 10 qui devront opter pour un environnement de vie urbain [3].

Une urbanisation aussi intensive ne manquera pas de s'accompagner d'un besoin en services publics et en ressources conséquent. Les challenges auxquels devront faire face les villes de demain seront d'une complexité sans précédent tant les problèmes économiques, sociaux et écologiques s'entremêleront de manière indissociable [3]. Face à des changements aussi drastiques, l'approche traditionnelle de la gestion de nos villes commence déjà à montrer ses limites [25, 11]. L'adoption d'un nouveau modèle, plus en phase avec les réalités actuelles, semble donc de mise. C'est ici qu'entre en jeu la Smart City.

La clé du concept réside dans l'emploi combiné de la participation et des nouvelles technologies [36]. La première a pour objectif l'obtention d'une ville aux citoyens impliqués, tant dans la prise de décisions que dans les actions concrètes qui en résultent, tandis que les secondes apportent le support nécessaire à cette ambition.

Placer les individus au coeur de leur ville constitue un paradigme nouveau qui implique de remettre de grandes responsabilités entre leurs mains. Il convient de les tirer du rôle passif au sein duquel ils ont été depuis trop longtemps enfermés et de leur permettre de se transformer en véritables citoyens compétents. Cette compétence implique pour tout un chacun d'apprendre à formuler des avis éclairés et de considérer les problématiques dans toute leur complexité systémique, afin que les décisions prises aujourd'hui aient encore un sens demain.

La transition vers la Smart City passera donc avant tout par l'éducation. C'est dans ce cadre qu'a été créé un atelier de sensibilisation à la Smart City à destination de jeunes élèves francophones. Donné à de multiples reprises, celui-ci a fait l'objet d'évaluations documentées dans l'article en cours de parution *"Introducing the Smart City to children : Lessons learned from practical workshops in classes"* [19]. Les auteurs y rapportent le succès globalement encourageant de l'atelier, mais mettent également en évidence la principale lacune que comporte l'une des activités proposées. Cette partie consiste à demander aux élèves de se plonger dans le rôle d'urbanistes amateurs et de concevoir ensemble leur ville idéale. Parmi un éventail d'infrastructures en carton, ils effectuent en groupe les choix de sélection et de placement sur une carte en papier représentant une ville. L'activité a pour but de provoquer les débats et chacun est invité à argumenter en cas d'opinions divergentes. L'absence de feedback inhérent aux outils employés impacte toutefois la qualité de ces débats. Les élèves ne pouvant s'appuyer sur des faits concrets quant aux impacts des infrastructures sur la ville, ce sont souvent les préférences personnelles seules qui dictent finalement les choix.

Le manque d'interactivité de cette activité semblant être l'unique élément à déplorer, il est intéressant d'imaginer sa dynamique appliquée sur un medium qui parviendrait à gommer cette lacune. Les tables interactives semblent offrir une piste prometteuse. L'environnement qu'elles proposent est propice à stimuler une dynamique de groupe productive et les feedbacks interactifs qui la caractérisent ouvrent des opportunités d'enrichissement des débats. De par ces caractéristiques, les tables interactives pourraient-elles dès lors apporter une plus-value dans la sensibilisation d'un jeune public à la Smart City ?

Le présent travail a pour objectif de transposer l'activité existante de placement d'infrastructures sur une carte, depuis l'utilisation d'artefacts en papier vers l'emploi d'une table interactive et de ses objets tangibles. Le travail devra pallier le manque d'interactivité actuellement identifié et fournir des représentations visuelles dynamiques et pertinentes afin d'offrir comme plus-value directe l'enrichissement des débats tenus par les élèves lors des choix effectués en groupe. Nous devons également nous assurer que la table s'intègre dans l'atelier existant et qu'elle n'en dégrade pas les valeurs éducatives, ludiques et participatives.

Afin de réaliser ce travail, nous essayerons dans un premier temps de déterminer l'essence de la Smart City et de ses enjeux. Nous nous intéresserons aux jeux existants dont elle est le sujet et identifierons les dynamiques intéressantes ainsi que celles qu'il est préférable d'éviter. Nous nous dirigerons alors vers le domaine des tables interactives. Notre point de départ sera l'article de Pierre Dillenbourg intitulé "*Interactive tabletops in education*" [24] au sein duquel il offre, en guise de piste de réflexion, trente-trois points d'attention qu'il est selon lui utile de considérer lorsque l'on prétend donner au medium une valeur pédagogique avérée. Armés de ce savoir théorique, nous passerons en revue une sélection de tables interactives éducatives et tirerons des enseignements des évaluations réalisées. Nous passerons alors à la phase d'analyse de notre projet, et étudierons le contexte et les contraintes de réalisation qui nous sont imposées. La phase de développement suivra ensuite, au cours de laquelle nous présenterons nos choix de conception et de réalisation. La phase de validation permettra de vérifier la pertinence de ces choix et informera les pistes d'amélioration possibles. Nous concluerons finalement ce travail par une rétrospective de ce qui a été réalisé et une liste de perspectives de recherches futures.

## 2 Etat de l'art

Dans cette première partie du mémoire, nous allons effectuer un tour d'horizon de ce qu'est une Smart City, afin de prendre la pleine mesure de ses enjeux et du moteur qui l'anime : la participation citoyenne. Nous nous efforcerons alors de trouver des pistes permettant de sensibiliser les citoyens à ce concept clé. Nos recherches nous mèneront naturellement à nous concentrer sur une tranche fondamentale de la population : les enfants, qui constituent les citoyens de demain. Nous laisserons de côté les méthodes d'éducation traditionnelles, qui ne mettent pas assez l'accent sur la collaboration et la participation active, et nous orienterons vers l'apprentissage par le jeu. Nous établirons alors une sélection de jeux éducatifs ayant pour sujet la Smart City. Nous dresserons un bilan de leurs caractéristiques essentielles et tenterons d'identifier leurs principales lacunes.

Nos besoins identifiés, nous nous tournerons alors vers un medium qui nous semble tout indiqué afin de les combler : les tables interactives. Après avoir exploré les différentes formes sous lesquelles elles se présentent, nous essayerons de jeter la lumière sur les perspectives éducatives qu'elles peuvent apporter. Une sélection de tables interactives éducatives sera finalement établie et analysée afin de nous permettre de déceler les points d'attention spécifiques au medium.

## 2.1 La Smart City

La prédilection pour la vie urbaine est un développement récent dans l'histoire de l'humanité. Alors que l'Homme a depuis toujours vécu au sein de milieux ruraux à faible densité, l'urbanisation fait figure de nouvelle tendance sur l'échelle du temps.

Avant 1600, moins de 5% de la population globale est établie au sein des villes. En 1800, la situation change peu, avec un pourcentage de 7% de citadins à l'échelle de notre planète. 1900 marque un premier tournant, alors que 16% de la population globale a maintenant opté pour un environnement de vie urbain.

Ces augmentations, bien qu'impressionnantes, ne sont toutefois rien en comparaison de l'urbanisation intense qui s'est déroulée au cours des 50 dernières années (voir figure 1). Ce sont ainsi aujourd'hui près de 4 milliards de personnes qui vivent dans un milieu urbain, soit plus de la moitié de la population globale. Si cette croissance continue à ce rythme, les projections nous indiquent que près de 70% de l'humanité vivra en ville d'ici 2050. Un pourcentage qui représentera pas moins de 7 milliards d'individus [3].

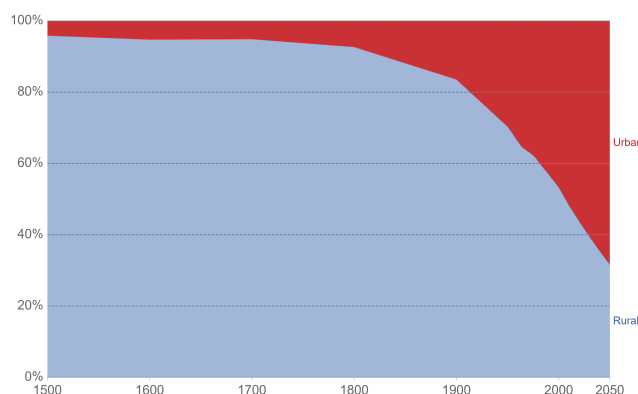


FIGURE 1 – Projection de la proportion en populations urbaines et rurales dans le monde [2].

Ce changement, aussi rapide que radical, bouleverse complètement les systèmes établis. Les besoins en services et en ressources gagnent à la fois en importance et en complexité, d'autant que le spectre du "déclin des villes" plane toujours sur de nombreuses villes européennes [13, 21]. Lié à la désindustrialisation massive des pays développés, ce phénomène a pour effet la désertion progressive des centre-villes au profit des périphéries. En proie à un nombre d'habitants déclinant, de nombreux bâtiments se retrouvent alors peu à peu laissés à l'abandon, provoquant une augmentation non négligeable de la précarité et du taux d'insécurité.

Les défis que doivent aujourd'hui relever les villes sont d'une complexité sans précédent. De nouveaux équilibres doivent sans cesse être trouvés afin de résoudre des problèmes dont les racines économiques, sociales et écologiques s'entremêlent de manière indissociable [3]. Les approches traditionnelles de la gestion de nos villes ont déjà commencé à montrer leurs limites, et la confiance des citoyens s'érode peu à peu face à des institutions qui dictent des

modes de vie au sein desquels ils ne se retrouvent plus [25, 11]. L'adoption d'un nouveau modèle, centré sur l'humain et plus en phase avec les réalités actuelles, semble plus que jamais nécessaire. C'est là qu'intervient le concept de la Smart City.

### 2.1.1 Qu'est-ce que la Smart City?

Aucun consensus clair n'existe au sein de la littérature quant à la définition exacte de la Smart City [9]. Les premières évocations font état de villes au sein desquelles la technologie serait prédominante. L'accent y est ainsi particulièrement mis sur l'augmentation de l'accès aux technologies de l'information, afin de permettre aux villes de prendre des décisions plus éclairées quant aux problèmes auxquels elles font face.

Cette vision étriquée s'est toutefois rapidement heurtée aux réalités du terrain, car elle oubliait l'aspect le plus important de l'équation : le capital humain [22]. Alors que l'un des principaux objectifs que se fixe la Smart City est la diminution des inégalités, elle est rapidement apparue comme moteur de la polarisation sociale, de par la fracture numérique qu'elle contribuait à creuser [53].

Les technologies de l'information ne pouvant à elles seules constituer la solution, un changement de paradigme est apparu quant à la vision de ce qui peut rendre une ville smart [36]. Dans cette nouvelle vision, c'est désormais l'humain qui est remis au coeur du débat, et la participation citoyenne qui sert de pierre angulaire. Les technologies de l'information n'y sont plus qu'un moyen, et non une fin en soi. Un moyen d'éduquer, dans un premier temps, mais aussi, et surtout, un moyen de permettre à tous de s'impliquer dans le débat politique qui dicte l'évolution des vies des citoyens et de l'environnement urbain au sein duquel ils évoluent.

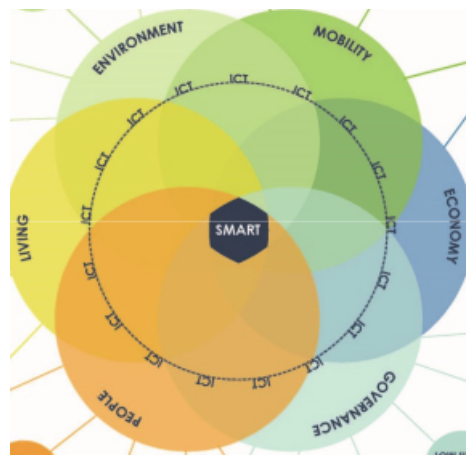
La vision actuelle de la Smart City, c'est donc une ville qui peut employer la technologie afin de résoudre ses problèmes et de fournir des services à l'ensemble de sa population [27]. C'est une ville qui vise l'amélioration de ses transports, de son accessibilité et de ses services sociaux, qui promeut la durabilité et le respect de l'environnement. C'est une ville capable d'adapter son approche à l'unicité des défis auxquels elle fait face. Enfin, et plus que tout, c'est une ville qui donne une voix à ses citoyens en les plaçant au centre du processus décisionnel [16], avec l'idée que ce sont les citoyens qui créent leur ville, et non la ville qui crée ses citoyens.

Une telle ville se trouve alors en mesure d'anticiper plus facilement ses problèmes et de leur apporter des solutions qui gagnent en efficacité et en adoption citoyenne.

### 2.1.2 Les 6 dimensions de la Smart City

Quelle que soit la définition choisie par les différents auteurs contribuant à la recherche sur le sujet, une grande majorité d'entre eux s'accordent sur le dégagement de six dimensions caractérisant une ville intelligente. Issue de la publication d'Andres Monzon "*Smart Ci-*

*ties Concept and Challenges - Bases for the Assessment of Smart City Projects*" [50], l'illustration ci-dessous permet de situer la position centrale de la Smart City au sein de ces 6 dimensions ainsi que le support de l'IT dans son développement.



**FIGURE 2** – Visualisation des 6 dimensions des Smart Cities avec le support de l'ICT [50].

Dans son article de 2010 [30], Rudolf Giffinger détaille un ensemble de critères permettant de catégoriser et mesurer l'investissement des villes dans 6 dimensions, avec pour objectif de les comparer entre elles. Nous allons nous servir de cette base de critères, en les enrichissant des principaux défis des villes européennes de taille moyenne [50], afin de définir les contours de ces 6 dimensions.

### 1. L'environnement intelligent (Smart Environment)

La dimension "Smart Environment" englobe la construction et la gestion d'environnements naturels afin d'améliorer le bien-être des citoyens. Cela passe par une gestion intelligente et durable des ressources naturelles mais aussi du patrimoine afin de pouvoir protéger l'environnement. Cette dimension inclut tout ce qui concerne la production et l'utilisation d'énergies renouvelables, ainsi que l'utilisation de la technologie afin de mieux gérer les ressources.

Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont les économies d'énergie, la mise en place d'une approche systémique des besoins en énergie et ressources naturelles, la préservation/réintroduction d'un écosystème et d'une biodiversité, la diminution des effets du réchauffement climatique, et l'étalement urbain.

## 2. La mobilité intelligente (Smart Mobility)

La dimension "Smart Mobility" est un peu particulière de par l'inclusion des systèmes ICT en complément du transport. Le domaine d'action de la mobilité intelligente doit relever le défi de la mise en place d'un système de mobilité durable, innovant, sécurisé, inclusif et efficace pour les biens et les personnes. Ce défi devrait être relevé en mettant en place un système de transport public multimodal, en favorisant les alternatives à la mobilité automobile et en rendant les transports publics accessibles et disponibles pour tous les citoyens. L'objectif global est de réduire la congestion et la pollution dans les villes et d'améliorer la connectivité au sein de celles-ci. De par l'inclusion des systèmes IT, la disponibilité de leurs infrastructures est un point attaché aussi à cette dimension. Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont une mobilité durable et inclusive, un système de transport multimodal, les écosystèmes urbains sous pression, les congestions du trafic, la mobilité hors voiture, et l'obsolescence des infrastructures IT.

## 3. La gouvernance intelligente (Smart Governance)

Le terme "gouvernance" est à comprendre comme l'ensemble des règles, des procédures et des pratiques qui influent sur la façon dont les pouvoirs sont appliqués. La dimension "Smart Governance" ou, autrement dit, l'art du bien gouverner, doit lier les services et interactions publics, privés, civils et européens (législation et financement) dans un processus de décision. Il existe un besoin de changement du système actuel, les modèles de gouvernance devront donc relever le défi de se rendre plus flexibles en permettant de combiner leurs politiques "top-down" avec des initiatives "bottom-up". Les décisions devront être prises de manière plus transparente, ouverte et participative en tenant compte des changements démographiques et de la cohésion territoriale. Les nouvelles technologies peuvent venir supporter ces changements par l'e-service et une bonne gestion des données.

Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont une gouvernance flexible, le déclin des villes, la cohésion territoriale, la combinaison d'un gouvernement formel et informel.

## 4. L'économie intelligente (Smart Economy)

La dimension "Smart Economy" a pour contour des modèles économiques novateurs soutenant une compétitivité éco-durable, l'innovation, le développement d'une image économique positive, mais aussi l'interconnexion entre écosystèmes locaux et globaux. Les défis dans ce domaine sont principalement liés à la structure productive de la ville, cette dernière nécessitant une plus grande résistance aux crises économiques. Pour répondre à ce besoin de résistance, il est nécessaire de favoriser la création d'une économie multisectorielle et inclusive, de favoriser l'entrepreneuriat, de parvenir à une flexibilité du marché du travail, d'exploiter les conditions uniques de chaque agglomération urbaine

et d'interconnecter leurs réseaux de production.

Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont le chômage, le déclin des villes, le déclin économique, la cohésion territoriale, l'économie mono-sectorielle, l'économie locale et durable, la diversité sociale comme source d'innovation et l'obsolescence des infrastructures IT.

#### 5. **L'intelligence citoyenne (Smart People)**

La dimension "Smart People" est à comprendre au sens du capital humain et social. Le propos de ce domaine est d'obtenir une société inclusive avec les nouvelles technologies, d'augmenter les connaissances et le capital social, d'améliorer la cohésion sociale et la qualité de vie, de promouvoir l'éducation continue, la tolérance et le multiculturalisme au travers d'écosystèmes locaux et globaux. Certains critères d'évaluation proposés dans ce domaine permettant de mieux définir son contour sont le niveau de qualification, l'affinité pour l'apprentissage tout au long de la vie, la pluralité sociale et ethnique, la flexibilité, la créativité, le cosmopolitisme et l'ouverture d'esprit, et finalement la participation à la vie publique.

Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont le chômage, la cohésion sociale, la pauvreté, le vieillissement de la population, la diversité comme source d'innovation et la cybersécurité.

#### 6. **La vie intelligente (Smart Living)**

La dimension "Smart Living", qui pourrait se traduire par une qualité de vie intelligente, a pour ultime objectif une vie communautaire enrichissante. Pour y parvenir, il est nécessaire de prendre des initiatives pour résoudre les niveaux élevés de chômage dans les villes, d'utiliser les mouvements démographiques et la composition de la population comme une opportunité d'innovation, en tenant compte de tous les citoyens indépendamment de leur âge, sexe, culture ou condition sociale. Dans ce domaine, l'offre et la qualité des logements, les conditions de santé, le taux de criminalité et la cohésion sociale de la population sont les principaux enjeux pour que nous puissions parler d'une bonne qualité de vie. D'autres points, comme la culture et les infrastructures culturelles, la sécurité individuelle et sociale, ou encore le tourisme peuvent également rentrer dans cette dimension.

Les principaux défis et préoccupations actuels concernant cette dimension sont les logements abordables, la cohésion sociale, les problèmes de santé, la gestion des urgences, l'étalement urbain, la sûreté et la sécurité y compris la cybersécurité.

### 2.1.3 La participation citoyenne

Comme nous l'avons vu précédemment, la participation citoyenne constitue la pierre angulaire de la nouvelle approche de la Smart City [16].

Mais qu'est-ce que la participation citoyenne ? Il s'agit d'un processus d'inclusion qui permet aux citoyens d'une ville, d'une province, d'une région, voire même d'un pays entier de s'exprimer et d'agir concrètement au sein de leur milieu de vie. Parmi les modèles de participation existants, l'échelle d'Arnstein [12] est certainement le plus connu (voir figure 3). Composée de huit niveaux, elle constitue un guide permettant de déterminer le degré de décentralisation du pouvoir de prise de décision. Au plus bas de l'échelle, la participation citoyenne est faible voire inexistante. Au plus haut, la participation est pleine et investie : les citoyens incarnent alors de véritables acteurs du changement.

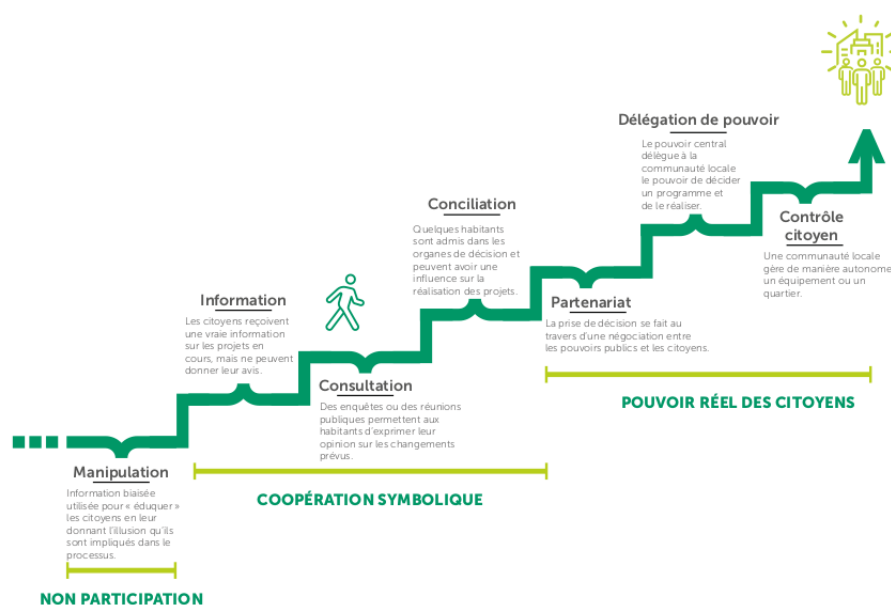


FIGURE 3 – L'échelle de participation d'Arnstein illustrée par le Smart City Institute [52].

Le premier échelon du schéma, qui regroupe la **manipulation** et la **thérapie**, n'est en rien participatif et devrait donc être évité. Les trois niveaux suivants ont une valeur symbolique forte. L'**information**, la **consultation** et la **conciliation** permettent aux voix des citoyens d'être entendues, mais ceux-ci n'y ont aucune prise sur l'élaboration des stratégies globales. Les trois derniers niveaux représentent le plein pouvoir et la forme la plus aboutie de la participation citoyenne. Le **partenariat**, la **délégation de pouvoir** et le **contrôle citoyen** produisent des citoyens qui s'impliquent dans l'ensemble du processus décisionnel : depuis la détermination de la vision jusqu'à la réalisation des actions concrètes qui en découlent.

Contrairement à l'idée que semble véhiculer le modèle, il serait erroné de toujours vouloir tendre vers le plus haut niveau [38]. À chaque situation, il conviendra d'appliquer le bon niveau de participation en fonction des spécificités rencontrées. Une situation d'urgence pourra

ainsi par exemple délaissier les derniers échelons, dont la mise en place est longue, et ne situer sa participation qu'au niveau de la coopération symbolique.

Les derniers niveaux de l'échelle ne pourront être réellement envisagés qu'à l'issue d'un travail préalable de formation de citoyens [29, 18] qui ont depuis trop longtemps été dissociés du processus décisionnel. Il est nécessaire d'apprendre à tout un chacun à formuler des avis constructifs et éclairés, à s'impliquer dans son milieu de vie et à analyser de manière systématique les problèmes qui se posent. De tels changements impliquent un nouveau paradigme qui ne pourra émerger qu'au travers de l'éducation.

Les enfants ont un rôle particulier à jouer. D'une part, ils représentent les citoyens du futur, et il est primordial de leur fournir aujourd'hui les armes qui leur permettront d'affronter les problèmes auxquels ils seront confrontés demain. D'autre part, ils constituent dès maintenant un puissant moteur du changement. La scolarité et leur jeune âge leur offrent le contexte et l'ouverture d'esprit propices à l'apprentissage de nouveaux courants de pensée. Ces connaissances peuvent ensuite se transmettre, par mimétisme et démonstration, vers leurs aînés.

Éduquer les enfants au concept de la Smart City et les sensibiliser à ses enjeux, c'est leur faire prendre conscience de la pleine mesure de leur pouvoir citoyen. C'est leur permettre de comprendre l'importance de la place qu'ils seront amenés à occuper dans les décisions futures [17]. C'est leur donner la voix nécessaire à l'exercice de leurs droits les plus fondamentaux. C'est, enfin, permettre à la ville toute entière de redynamiser sa vitalité démocratique [32].

Toutes ces raisons confortent notre choix de cibler les enfants dans le reste de ce travail.

#### **2.1.4 Les jeux supports existants pour la Smart City**

Actuellement nos méthodes d'enseignement consistent principalement en une transmission de savoir d'un enseignant debout à l'avant vers un groupe d'étudiant assis sur plusieurs rangées, ne laissant presque exclusivement la parole qu'au professeur. Cet enseignement classique rencontre de nombreuses difficultés lorsqu'il s'agit de maintenir les élèves motivés [37, 51]. À l'heure du tout numérique et de la surstimulation via les différents média technologiques, rester assis en classe pour écouter un professeur durant de nombreuses heures constitue une tâche fastidieuse pour de nombreux élèves.

Cette méthodologie d'apprentissage n'est pas très proche de nos facultés naturelles à apprendre. En effet, depuis notre plus tendre enfance nous emmagasinons les informations par le mimétisme et par l'expérimentation sensorielle, deux capacités innées qui ne sont actuellement pas mobilisées. C'est pourquoi depuis quelques années de nouvelles techniques d'apprentissage voient le jour, et sont de plus en plus testées à travers le monde. Parmi cette multitude de nouveaux systèmes d'apprentissage, nous allons nous intéresser aux possibilités qu'offrent les serious games, ou jeux sérieux. Ces jeux sont développés avec une vocation éducative en

plus de leur vocation ludique [23].

De nombreuses études ont déjà été menées sur le sujet et elles tendent toutes à montrer que l'apprentissage par le jeu permet d'augmenter la motivation des participants, de rendre l'apprentissage plus immersif et de concrétiser les matières vues en leur donnant un sens dans la vie hors cadre scolaire [39]. En opposition au travail, le jeu y est vu comme une activité divertissante et reposante, ce qui en augmente l'attrait pour les jeunes participants.

Mais ce ne sont pas les seuls points positifs que peut amener le jeu. La littérature montre qu'il permet également de faciliter la concentration, de stimuler la mémoire, d'activer simultanément plusieurs compétences, de démocratiser l'accès au savoir, de diminuer la peur de l'erreur ou de l'échec souvent paralysante pour l'apprentissage. En rompant l'organisation classique de la classe, il permet de rendre les élèves plus mobiles et plus actifs, les transformant ainsi en véritables acteurs de leur apprentissage. Ils ont la possibilité de créer leur réflexion, leurs stratégies, d'être plus collaboratifs et de partager davantage avec leurs co-apprenants en développant la verbalisation de leurs pensées et l'argumentation de leurs choix [28].

Ayant maintenant pris connaissance des avantages que comporte l'apprentissage par le jeu, nous allons analyser ce dont nous disposons actuellement pour sensibiliser un public de jeunes (12-14 ans) belges francophones scolarisés au concept de la participation citoyenne et aux enjeux de la Smart City. Il est à noter que les jeux présentés ci-après ne sont pas issus de la littérature scientifique mais de recherches sur le site internet de l'association "Réseau IDée" qui recense, entre autres, les jeux à vocation éducative en Belgique. Pour notre recherche, nous avons utilisé le mot-clé "smart city". Les jeux "cities skyline - green cities" et "prosperity" sont quant à eux issus de recherches sur des sites de jeux hors cadre scolaire avec le mot-clé "smart city" et "environnement". Notre choix de recherche hors du cadre de la littérature s'explique par notre public cible très spécifique et par la volonté de découvrir d'éventuelles nouvelles dynamiques permettant cette sensibilisation, et ce, même si le jeu n'a pas été créé explicitement avec une vocation éducative.

## Democracy



FIGURE 4 – Matériel du jeu Demacracity [4].

Democracy est un jeu à vocation éducative édité en 2008 par le service éducatif BELvue [4]. Il s'agit d'un jeu de type "jeu de rôle avec plateau" destiné aux élèves de fin de primaire/-début du secondaire qui dure de 80 à 150 minutes. Il se compose d'un plateau représentant la carte d'une ville et de bâtiments en 3D cartonnés avec socle en bois. L'activité se déroule avec un groupe de 12 à 28 élèves et a pour but d'initier les étudiants aux principes des systèmes politiques belges et aux difficultés que la prise de décision collective implique. Chaque joueur incarne un membre d'un parti politique et doit débattre des choix concernant les bâtiments nécessaires dans la ville, et ce, en fonction de ses convictions politiques.

## Prosperity



FIGURE 5 – Matériel du jeu Prosperity [43].

Prosperity est un jeu sans vocation éducative édité en 2013 par Ystari Games [43]. Il s'agit d'un jeu de type "jeu de plateau" destiné à un public d'adolescents (12-16 ans) et d'adultes (16 ans et +) qui dure environ 60 minutes. Il se compose d'un plateau commun représentant le niveau de prospérité, de recherche et de technologie, de 4 plateaux personnels représentant une nation avec ses infrastructures, son bilan environnemental, son niveau de pollution et sa consommation électrique et de divers jetons et tuiles permettant de symboliser l'avancement dans le jeu. Ce jeu de stratégie et de réflexion est initialement prévu pour 2 à 4 joueurs en solo mais est tout à fait réalisable à 2-3 personnes par groupe avec un maximum de 4 groupes. Le but du jeu est de réussir à prospérer sans mettre à mal la planète et en développant un niveau de recherche et technologie important mais réfléchi. Chaque joueur/équipe incarne le leader d'une nation en pleine expansion au cours de sept décennies, chacune d'entre elle ayant ses propres bâtiments accessibles. Ce jeu non éducatif permet tout de même au joueur de comprendre le côté multidimensionnel de la gestion d'une ville et de prendre conscience de l'importance d'une dimension écologique dans la prospérité.

### Urbaniste en herbe

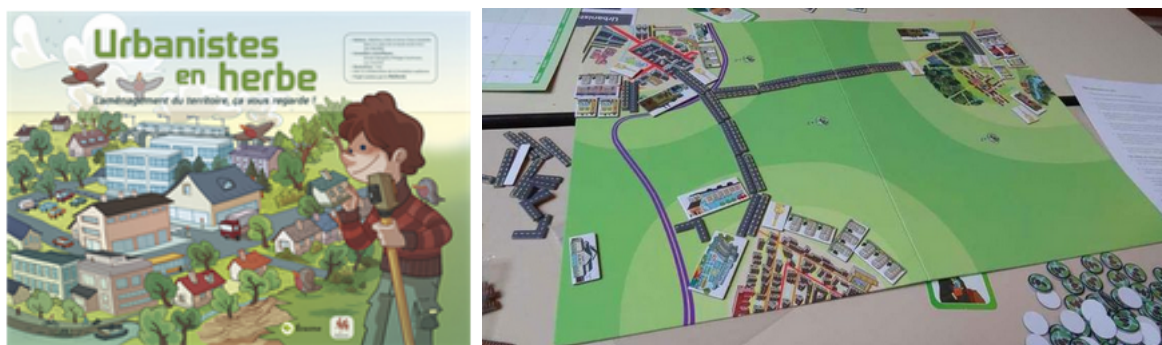


FIGURE 6 – Boîte et matériel du jeux Urbaniste en herbe [20].

Urbaniste en herbe est un jeu à vocation éducative édité en 2012 par les Editions Erasme [20]. Il s'agit d'un jeu de type "jeu de rôle avec plateau" destiné aux élèves du secondaire. Il se compose de 5 plateaux représentant chacun la même carte d'une ville et de ses alentours, d'un ensemble de pièces représentant des infrastructures et des bâtiments, et des jetons et billets servant de monnaie. Jusqu'à 5 équipes de minimum 3 élèves peuvent participer à l'activité, qui a pour but de sensibiliser aux contraintes de l'aménagement du territoire avec une vision de développement durable et un certain budget. Le scénario de départ du jeu est l'accueil au sein de la ville d'une centaine de personnes supplémentaires, la ville possédant un bâti et différentes zones de densité d'urbanisation ainsi que des zones de protection naturelle préexistants. Chaque élève incarne un membre du conseil communal au sein de sa ville et à la fin de l'activité les solutions des différents groupes sont comparées et discutées.

## Ecoville



FIGURE 7 – Visuel de l'application de jeux et zoom sur la barre d'indicateur [34].

Ecoville est un jeu à vocation éducative produit en 2010 par l'ADEME [34]. Il s'agit d'un jeu de type "simulation sur plateforme web" destiné aux élèves de 14 à 17 ans qui peut durer de 45 minutes à 6h si utilisé en séquence pédagogique. Il se compose d'un écran d'accueil, d'une carte interactive, de menus d'ajout de bâtiments et de différents indicateurs globaux (voir figure 7). L'activité se déroule, en fonction du nombre de PC disponibles, avec une classe et de 1 à 3 élèves par PC. L'objectif est de sensibiliser aux enjeux énergétiques et urbanistiques liés à la construction de bâtiments. L'élève doit gérer une ville en faisant augmenter son nombre d'habitants, pour ce faire il doit construire de nouveaux logements tout en veillant à traiter l'ensemble des déchets produits, à ne pas dépasser un certain taux fixé d'émissions de CO2 et à produire l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de l'ensemble du bâti. Les cahiers pédagogiques fournis en parallèle du jeu offrent également divers scénarii avec différents cahiers des charges à remplir.

## Cities Skyline - Green Cities

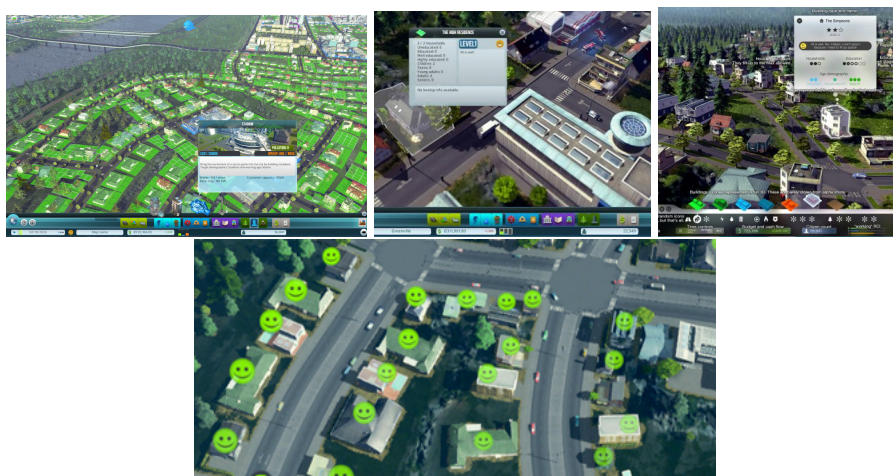


FIGURE 8 – Images issues du jeux Cities Skyline avec différents indicateurs présent sur les infrastructures [5].

Cities Skyline - Green Cities est un jeu sans vocation éducative édité en 2017 par Paradox Interactive [5]. Il s'agit d'un jeu de type "simulation sur console ou PC" destiné aux joueurs à partir de 12 ans qui peut durer de 25 à 116 heures en fonction du niveau de complétion souhaité. Il se compose d'une carte interactive avec différentes zones, de menus d'ajout de bâtiments/infrastructures évolutifs et de différents indicateurs globaux. L'activité se déroule seul chez soi avec comme objectif une ville prospère et où il fait bon vivre. Les constructions du joueur jouent sur le bien-être de la population mais également sur toute une autre série de paramètres comme l'énergie nécessaire, le besoin et le traitement des eaux, la gestion de la santé et de la mortalité, la pollution générale, le besoin en éducation, en logement et en travail de la population. Le jeu permet deux points de départ, soit une situation préexistante soit un plan complètement vide, ensuite les citoyens présents dans la ville feront évoluer le scénario. L'add-on Green Cities permet d'avoir un choix plus diversifié dans les paramètres d'attention (bruit, pollution environnementale, etc) et des constructions dans le secteur du développement durable avec ou sans support de la technologie (autre moyen de transport, autre zone de loisir, autre type de bâtiment/commerce, autre gestion des ressources possible, etc). Ce jeu non éducatif permet au joueur de comprendre le côté multidimensionnel et systémique de la gestion d'une ville tout en donnant des clés chiffrées afin de faire des choix éclairés. Toutefois, le nombre très important de paramètres ne rend pas toujours ce choix très aisé et allonge les temps de décisions.

### **Bilan de ces jeux**

Au travers de la littérature et des différents jeux étudiés, nous avons pu dégager une liste de caractéristiques qui nous paraissent essentielles dans la sensibilisation et l'apprentissage à la Smart City par le jeu.

Une caractéristique essentielle nous semble être la mise en place d'une **dynamique de groupe** qui, de par le débat qu'elle suscite inévitablement, amène une sensibilisation à la participation citoyenne.

Afin de pouvoir alimenter un débat intéressant, il est primordial que les bâtiments aient un **impact direct, visible, et mesurable** sur leur environnement immédiat. Les réponses du milieu par rapport aux éléments de jeu doivent idéalement être interactives afin de permettre au groupe d'apprécier rapidement le résultat de ses choix.

Une **visualisation 3D des bâtiments** permet de mieux apprécier l'espace occupé et d'enrichir le jeu d'impacts supplémentaires tels que la taille des ombres projetées. Idéalement, le jeu devrait débiter dans une **situation existante** afin de refléter au mieux les complexités des choix qui s'effectuent en situation réelle. Enfin, la présence de **solutions technologiques** dans le jeu est un avantage indéniable de par le rôle qu'elles sont amenées à jouer au sein des villes intelligentes de demain.

	Dimension de la Smart City						Sensibilisation à la Smart City						Apprentissage par le jeu		
	Environnement	Mobilité	Economie	Citoyen	Gouvernance	Vie	Participation et débat	Solution technologique	Importance de la localisation des bâtiments	Bati pré-existant	Visualisation 3D	Valeurs concrètes pour les bâtiments	Interactivité du milieu	Interaction entre joueurs	Implication du joueur
Democracy	!	✓	✓	!	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓
Prosperity	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	!	✗	✓	✗	!	✗	✓	✓
Urbaniste en herbe	!	✓	✓	!	✓	!	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓
EcoVille	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	!	✗	✗	✓	✓	✓	!	✓
Cities skyline - Green Cities	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	!	✓	✓	✓	✗	✓

✓ Présent     
 ! Présent sous certaines modalités     
 ✗ Absent

FIGURE 9 – Tableau comparatif des jeux en fonction des caractéristiques essentielles identifiées.

Le tableau ci-dessus établit le bilan des jeux étudiés et nous permet de mettre en évidence qu’aucun jeu ne parvient seul à aborder de manière pertinente l’ensemble des caractéristiques essentielles que nous avons identifiées. Les jeux de plateau pèchent ainsi de manière récurrente par un manque d’interactivité avec le milieu proposé et une absence de valeurs objectives sur lesquelles baser les débats.

Les jeux vidéo comblent ce manque, mais c’est alors la participation et le débat de groupe qui font cruellement défaut.

## 2.2 Les tables interactives

Nous venons de passer en revue les différents moyens actuellement disponibles afin de sensibiliser les élèves au concept et enjeux de la Smart City. Les principales lacunes que nous y avons constaté relèvent soit d'un manque de représentation 3D, d'une absence de dynamique de groupe pouvant favoriser les débats et les interactions, ou encore d'une trop faible présence de valeurs objectives sur lesquelles baser les choix.

Nous allons nous intéresser ici aux tables interactives afin de déterminer dans quelle mesure celles-ci pourraient répondre à ces besoins simultanés.

### 2.2.1 Une table interactive, qu'est ce que c'est ?

Une table interactive est typiquement constituée d'une surface horizontale qui sert à la fois d'interface d'entrée et de sortie [47]. Divers périphériques d'entrée peuvent être utilisés, individuellement ou en simultané, afin de communiquer avec la table. Ceux-ci se divisent en six grandes catégories :

- Interface tactile. Dans cette catégorie, la table détecte la position des doigts sur la surface de la table afin d'offrir des interactions de sélection, de rotation, de déplacement et de redimensionnement. Ces interfaces peuvent également supporter la détection synchrone de plusieurs points d'entrée.
- Objets tangibles. Dans ce cas-ci, ce sont la position horizontale et l'orientation des objets spécifiques qui sont détectées. Cela est rendu possible grâce aux marqueurs repères ou aux tags RFID qu'ils contiennent. L'apparence de ces objets peut être figurative, iconique ou symbolique.
- Stylo électronique. Il s'agit d'un objet tangible spécifique permettant de dessiner et écrire sur la table interactive.
- Interface papier. Ce type d'objet tangible peut non seulement être déplacé et retourné mais aussi plié et annoté.
- Interfaces gestuelles. Contrairement aux interfaces tactiles, ce type d'interface ne requiert pas d'interaction directe avec la table. Les mouvements sont capturés à l'aide de caméras et interprétés par le système. Dans ce contexte, la table interactive sert souvent essentiellement de panneau de contrôle.
- Clavier et souris. Ces interfaces sont moins utilisées dans le cadre des tables interactives, mais elles ont parfois leur place lors de certains types d'interaction qui requièrent vitesse et/ou précision.

La sortie d'une table interactive consiste en des images digitales affichées au travers d'un écran LCD ou via une projection sur sa surface. La projection peut être réalisée depuis le

dessus ou le dessous de la table ; chacune de ces deux techniques offrant ses avantages et ses inconvénients. Une projection par le dessus permet ainsi de projeter sur tout type de surface, de laisser une place à la réalité augmentée et de stabiliser certaines conditions d'éclairage. Par contre, contrairement à une projection par en-dessous, elle ne permet pas d'éviter les problèmes d'occlusion et d'ombres qui peuvent surgir.

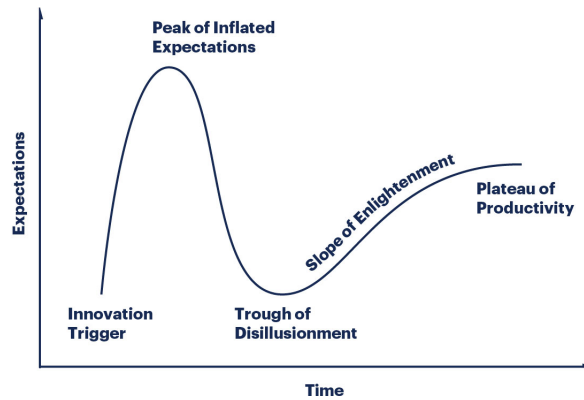
Nous pouvons trouver des tables interactives dont les modèles varient sur des critères liés à la taille, à la forme, à la texture, à la hauteur, à l'angle d'inclinaison ainsi qu'à certaines notions d'ergonomie [47]. Elles se distinguent également au travers des différentes applications qu'elles proposent. Inventer de nouvelles applications porteuses de valeur-ajoutée dans l'éducation est l'un des principaux challenges que tente de relever actuellement la communauté CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) [59].

### 2.2.2 Les tables interactives dans l'éducation

Le domaine des tables interactives à des fins éducatives est en pleine expansion [15]. Il convient toutefois d'être vigilant aux idéaux tronqués auxquels d'autres technologies introduites dans l'éducation auparavant ont déjà fait face, à savoir la surgénéralisation et la disproportion des attentes.

Nous pouvons parler de **surgénéralisation** lorsque nous attribuons à l'ensemble de la technologie les effets positifs constatés lors de l'utilisation d'une instance bien précise de cette technologie. C'est oublier que la réussite d'un apprentissage ne dépend pas tant de l'environnement employé que de la capacité du professeur à l'exploiter efficacement afin de permettre à ses élèves d'atteindre leurs objectifs d'apprentissage.

Nous devons également être attentifs à la **disproportion des attentes** qui peut survenir lorsque l'enthousiasme généré par l'introduction d'une nouvelle technologie est très important. Gartner nous parle ainsi d'un "cycle de la hype" (voir figure 10), au sein duquel les désillusions finissent toujours par succéder aux attentes exagérées [1]. De cette désillusion survient alors une illumination, au cours de laquelle des attentes plus modérées permettent de faire émerger les véritables avantages de la technologie. Ce n'est qu'alors que le plateau de productivité peut être atteint, et que la technologie trouve sa place dans des applications concrètes.



**FIGURE 10** – La courbe de Gartner, qui décrit l'évolution de l'intérêt pour une nouvelle technologie [1].

Cette disproportion des attentes est contre-productive car elle court le risque de mener à la déception et au scepticisme des utilisateurs.

Il convient donc de garder à l'esprit que les tables interactives, à l'instar de toutes les autres technologies, ne possèdent pas de propriétés éducatives intrinsèques. Les interactions plus "naturelles" qu'elles offrent en comparaison d'ordinateurs classiques ne permettent ainsi pas systématiquement de renforcer l'apprentissage. Les tables constituent avant tout un outil, dont le plein potentiel éducatif ne peut être réalisé qu'à la condition d'une conception et d'une utilisation intelligentes [10, 6].

### Les possibilités pédagogiques offertes par les tables interactives

Selon Pierre Dillenbourg, il est possible de comparer les différences profondes qui existent entre écrans d'ordinateurs et tables interactives afin de mettre en évidence quatre éléments pédagogiques spécifiques aux tables [24].

Le premier élément est la **co-localisation**. Contrairement aux ordinateurs, où chacun se concentre sur son propre écran, les utilisateurs d'une table interactive peuvent se voir, se toucher et échanger des objets entre eux. Cet élément induit une organisation spécifique de l'espace, qui nécessitera une grande attention lors de la conception d'une activité.

Le deuxième élément est la présence d'**utilisateurs multiples**. Alors que l'utilisation d'un ordinateur est une activité majoritairement solitaire, les tables interactives sont elles, par essence, des espaces sociaux. Les méthodes d'interaction sont clairement conçues pour des utilisateurs multiples, bien que ceux-ci ne possèdent que rarement une identité propre au sein des applications proposées. Cet élément, combiné au précédent, permet de développer des activités participatives ou, à défaut, de proposer des interactions et une coopération accrues.

Le troisième élément qui différencie l'ordinateur des tables interactives est l'**activité pratique**. Le modèle dominant d'interaction dans le cadre d'une table consiste à résoudre des problèmes en déplaçant des objets physiques sur une surface à l'aide de ses mains. Cette caractéristique ouvre la porte à des stratégies d'apprentissages multimodales.

Le quatrième élément, enfin, sont les **modes multiples de communication**. De par l'ensemble des trois éléments précités, différents modes de communication peuvent émerger tels que la parole, les gestes, le regard, les actions et la posture [28]. Les interactions s'en trouvent considérablement enrichies, au profit d'un apprentissage plus impliqué.

Ces quatre éléments offrent de nouvelles possibilités dans la construction d'activités qui introduisent la technologie dans les classes [6]. Si nous nous fions à ce qui vient d'être listé, la table interactive pourrait permettre d'allier les avantages d'une activité d'apprentissage en groupe et d'une activité avec un milieu interactif.

Les difficultés à surmonter lors de l'élaboration d'une table interactive sont toutefois nombreuses, et de multiples points d'attention doivent être pris en compte lorsque l'on prétend l'employer en tant qu'outil pédagogique [35, 39].

### **Les 4 cercles de Dillenbourg**

Afin de nuancer le postulat selon lequel les tables interactives seraient intrinsèquement porteuses de valeur éducative, Pierre Dillenbourg publie le 21 août 2011 un article intitulé "*Interactive tabletops in education*"[24].

Au sein de cet article, Dillenbourg bouscule le postulat et exhorte les créateurs de tables interactives éducatives à adopter une approche systématique dans la conception de leurs tables. En guise de piste de réflexion, il offre trente-trois points d'attention, divisés en 4 sous-ensembles (qu'il nomme Cercles), et qu'il est selon lui primordial de considérer afin de prétendre donner au médium une valeur pédagogique avérée. Ces 33 points ne sont pas exhaustifs mais ils permettent de fournir une première grille d'analyse à l'élaboration de notre projet de création de table interactive.

#### **Cercle 1 : Interactions étudiant-table interactive.**

Dans le premier cercle, l'auteur nous dit que les tables sont utilisées à leur plein potentiel dans des activités de réflexion, d'analyse, de prédiction et/ou de comparaison nécessitant une organisation spatiale des objets, une manipulation simple et fluide, et/ou une perception complète du problème pour sa résolution. À contrario, elles sont inefficaces dans des activités ou des domaines qui requièrent de prendre en compte un grand nombre d'objets et/ou de paramètres. Quelle que soit l'activité développée, elle devrait être intégrée à la table afin d'ac-

compagner l'activité cognitive de déplacement des objets sur la surface. Il met également en avant dans cette partie que l'apprentissage requiert souvent d'effectuer une transition d'une représentation concrète vers d'autres plus abstraites. La manière d'amener cette transition est donc un point critique, et le degré d'abstraction choisi pour les objets manipulés est de première importance. De plus, comme les objets physiques persistent, tandis que les objets virtuels disparaissent, ils permettent d'offrir un aperçu des actions possibles à réaliser. L'auteur nous met également en garde concernant le type de projection choisi. Pour rappel, les tables renvoient souvent de l'information de manière visuelle via l'une des 2 grandes catégories de projection (par dessus ou par dessous la table). Il faut dès lors tenir compte des contraintes liées à chacune de ces catégories. Les tables ont également la possibilité de s'agréments de sons ou de vibrations afin de créer une illusion de friction, ou encore d'un système permettant la détection horizontale sur leur surface, allant jusqu'à rendre possible la superposition de leurs objets. De manière générale, il faudra donc que l'ergonomie de la table prenne en compte les utilisateurs et le temps des activités auxquels elle est destinée tout en tenant compte des limites que cela engendre (expl : la table ne peut être dans un même temps adaptée à la taille des enfants et à la taille des professeurs).

### **Cercle 2 : Interactions sociales lors d'une activité.**

Dans ce deuxième cercle, l'auteur parle de l'un des principes de base des tables interactives, à savoir celui de l'espace partagé. Les utilisateurs travaillent au sein d'un espace commun et les détections multiples permettent notamment à plusieurs utilisateurs d'interagir simultanément avec la surface de travail. La collaboration est donc l'un des points forts des tables interactives. Malgré cela, elles ne permettent pas toujours de distinguer facilement les individus. Des rôles génériques ou spécifiques au problème étudié peuvent alors être assignés. Les tables permettent également aux utilisateurs de voir ce que les autres font et ce vers quoi leur attention se porte et, si elle est large, de diviser l'espace de travail, chaque groupe se concentrant alors sur une sous-tâche du problème posé. Quelle que soit la taille, les points de vue utilisateurs peuvent être uniques ou multiples selon la position autour de la table ou le choix effectué en terme d'affichage. En fonction de leur nature, la réalisation de certaines tâches nécessitera un point de vue unique tandis que d'autres pourront grandement bénéficier de points de vue multiples. Il conclut cette partie en nous disant qu'idéalement le placement des objets sur la surface devrait à tout moment représenter clairement l'état actuel du problème et agir dès lors en tant que mémoire fonctionnelle du groupe de travail.

### **Cercle 3 : Orchestration de la salle de classe.**

Pour le troisième cercle, l'auteur nous embarque dans la façon dont nous devrions intégrer la table interactive au sein de la salle de classe et du parcours pédagogique. L'activité liée à la table interactive ne devrait pas être une fin en soi, mais être pensée de manière à pouvoir faire l'objet d'une intégration dans un processus d'apprentissage plus global. Les professeurs vont donc devoir développer de nouvelles compétences afin d'animer ou orchestrer les classes avec ces dispositifs. La qualité de l'orchestration du professeur jouant un rôle primordial dans le processus d'apprentissage, il est donc nécessaire de s'assurer que l'utilisation de la table interactive n'entrave pas la vue d'ensemble qu'il peut avoir sur ses élèves et sur le travail qu'ils produisent. La quantité de lumière présente dans la pièce peut influencer sur cette vue d'ensemble ainsi que sur le bon fonctionnement de certaines tables. Nous devons donc être vigilants dans nos choix de matériel. Dans certains cas, plusieurs tables peuvent être utilisées en simultané, une collaboration inter-équipes ou un système de compétition entre les différentes tables pouvant alors également être instaurés. Il est également possible de développer des activités d'apprentissage personnalisées et évolutives en fonction de ce qui a été précédemment réalisé sur la table. L'auteur souligne aussi l'un des points les plus problématiques de l'introduction des tables interactives dans les salles de classe, à savoir la généralisation possible de ces tables. En effet, les tables devraient pouvoir supporter l'apprentissage de différents domaines de connaissance, et ce même si les objets tangibles sont souvent spécifiques à un domaine particulier.

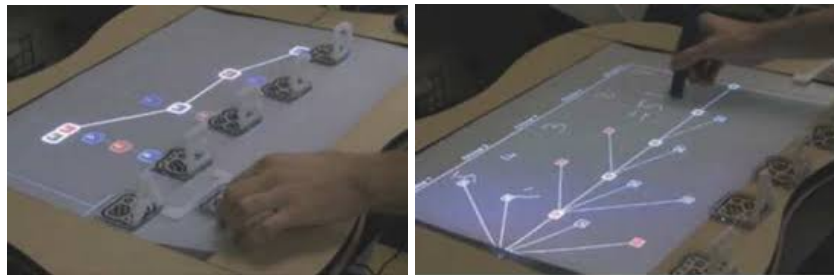
### **Cercle 4 : Contextes.**

Pierre Dillenbourg termine par ce quatrième cercle qui est axé sur les contextes spécifiques des activités liées à une table interactive. Dans un premier temps, il met en avant le fait que la nature des interactions offertes par les tables se prêtent particulièrement bien à l'apprentissage informel, mélangeant jeu, travail et apprentissage dans un environnement similaire au jeu. Par contre l'utilisation debout peut être un inconvénient pour la réalisation de tâches longues. Ensuite sont mises en avant les spécificités culturelles des utilisateurs, au sens large du terme, qui doivent impérativement être prises en compte dans le développement de l'application pour ne pas risquer de passer à côté du but originel de l'activité. Selon lui, le dernier point à mettre en évidence est la possibilité de voir les tables interactives comme un bon outil afin de briser les barrières entre divers domaines de compétences et favoriser la présentation des connaissances multi-disciplinaires de manière plus intégrée.

### 2.2.3 Les tables interactives éducatives existantes

Maintenant armés des concepts entourant la représentation d'une table interactive, de ses possibilités dans le milieu éducatif ainsi que des points d'attention théoriques auxquels nous devrions prendre garde afin de lui insuffler une valeur pédagogique, nous allons nous intéresser à ce qui existe actuellement dans le domaine. Le but de notre screening sera de déterminer si les tables interactives qui suivent les indications des 4 cercles de Dillenbourg sont réellement porteuses des valeurs pédagogiques que nous recherchons. Pour ce faire, la recherche dans la littérature scientifique s'est effectuée avec le mot-clé "interactive tabletop in education". Nous n'avons ensuite retenu que les articles concernant des tables interactives citant l'article de Dillenbourg et al. [24] comportant une évaluation concrète réalisée auprès d'élèves. Nous présentons ici des tables balayant un ensemble de technologies différentes afin de déterminer si elles ont un impact sur les apprentissages recherchés.

#### Combinatorix



**FIGURE 11** – Utilisation de la table avec les objets physiques pour la représentation concrète (gauche), avec le stylet pour la représentation abstraite (droite) [56].

Combinatorix est une table qui a été développée en 2012 au Royaume-Uni [56, 55]. Elle combine des objets tangibles et une table interactive afin de proposer aux étudiants une nouvelle approche de la découverte et de la compréhension de l'analyse combinatoire. Les utilisateurs forment des combinaisons à l'aide de lettres qu'ils placent sur une surface interactive. Sur un deuxième écran, un arbre de probabilité abstrait est automatiquement généré et modifiable en temps réel à l'aide d'un stylet numérique. Cette table utilise donc des objets tangibles sous forme de lettres de l'alphabet possédant un marqueur repère sur leur socle ainsi qu'un stylet numérique. Elle peut supporter jusqu'à 10 objets physiques et 20 virtuels. Cela se fait grâce à une camera placée sous la table qui détecte la localisation des marqueurs repères. Une wiimote est utilisée pour le traquage du stylet infrarouge. Un projecteur, placé lui aussi sous la table, affiche des informations additionnelles autour des objets tangibles. L'application est écrite en Java et fait appel au moteur ReactIVision.

## ChemicAble

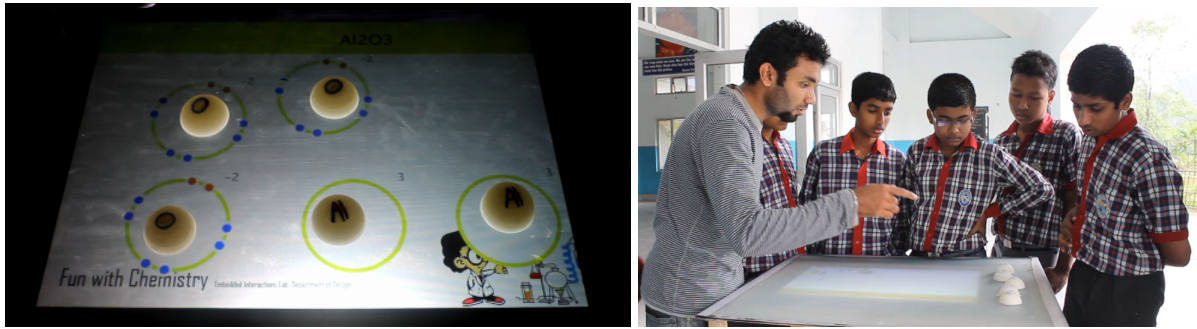


FIGURE 12 – Vue d’ensemble du dispositif (gauche) en condition d’utilisation (droite) [7].

ChemicAble est une table interactive développée en Inde en 2013, elle a été conçue afin d’offrir aux enfants de 8 à 10 ans une meilleure compréhension du transfert des électrons au sein des composés ioniques simples [7]. Les utilisateurs placent des demi-sphères représentant les vingt premiers éléments du tableau périodique sur une surface interactive. Le symbole ainsi qu’un cercle contenant les électrons de valence de ces éléments apparaissent alors automatiquement sur son pourtour. En rapprochant deux éléments, une simulation de l’échange de leurs électrons se produit alors en temps réel et le nom du composé formé s’inscrit sur la table. D’un point de vue matériel, un projecteur connecté à un PC extérieur à la table et une caméra récupérant les informations de déplacement des marqueurs repères situés sous les objets sont utilisés. L’application utilise Processing et ReacTIVision.

## EarExplorer

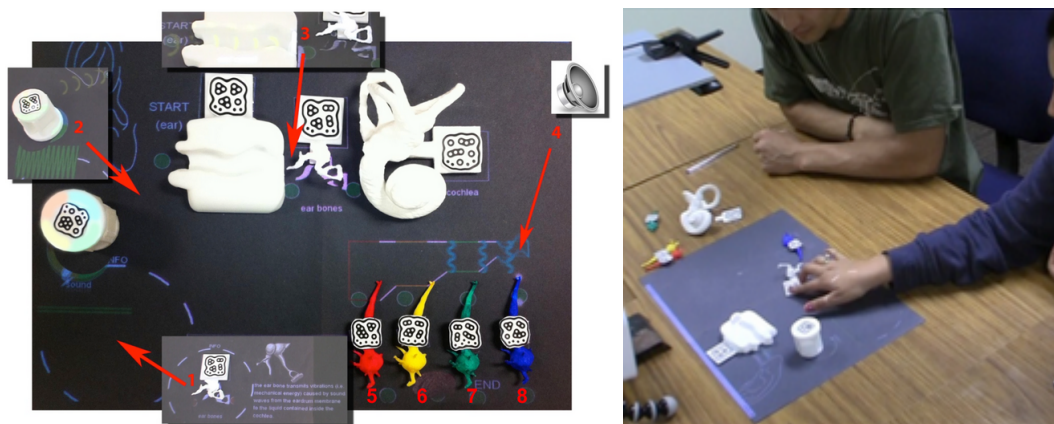


FIGURE 13 – Vue d’ensemble du dispositif (gauche) en condition d’utilisation (droite) [57].

EarExplorer est une table interactive développée en 2015 au Royaume-Uni qui exploite les principes de l’apprentissage par découverte afin d’enseigner le fonctionnement du système auditif humain [57]. La table permet aux utilisateurs de manipuler les éléments du système auditif humain et de les connecter entre eux afin de parvenir à recréer une structure fonctionnelle. Afin de les aider dans leur tâche, une couche de réalité augmentée affiche en temps

réel la propagation des ondes sonores au sein du système ainsi que la manière dont elles sont transformées par chacun des éléments qui le composent. La table comporte 8 objets tangibles : un haut-parleur qui génère les ondes sonores sur la table, un conduit auditif, des osselets, la cochlée, ainsi que quatre neurones. Les différents objets sont affublés d'un marqueur repère Reactivision, tantôt sur leur face supérieure, tantôt attaché sur leur côté mais toujours visible par l'utilisateur. Un projecteur affiche une couche de réalité augmentée en reflétant son image sur un miroir maintenu au-dessus de la table. Une caméra est attachée au miroir et détecte la localisation des marqueurs sur les objets tangibles.

## Jeu des Tours



**FIGURE 14** – Vue d'ensemble du dispositif (gauche) en condition d'utilisation (2 photos de droite) [45, 46].

Le Jeu des Tours est une table développée en France en 2016 qui a pour objectif de développer les capacités de raisonnement spatial et de résolution des problèmes chez les jeunes enfants [45, 46]. Le jeu consiste à placer des tours formées de 1, 2 ou 3 blocs sur une grille. Sur les bords de cette grille se trouvent des informations quant au nombre de tours qui peuvent être visibles sur chaque rangée par un observateur situé à cet endroit. Le jeu est gagné lorsque la grille est complétée suivant le respect des règles. Deux objectifs pédagogiques sont visés par cette activité. Premièrement, apprendre aux enfants que lorsque deux objets possèdent la même forme mais des hauteurs différentes, l'un peut masquer l'autre. Deuxièmement, apprendre à utiliser des informations numériques dans un cadre spatial pour résoudre un problème mathématique. La table comporte neuf objets tangibles sous forme de tours : trois tours de couleur bleue d'une hauteur de un cube, trois de couleur jaune d'une hauteur de deux cubes et trois de couleur rouge d'une hauteur de trois cubes. La table contient aussi des objets "interacteurs" : un objet "vérificateur" qui vérifie la position des tours sur la grille et attire l'attention sur les erreurs éventuelles, un objet "validateur" qui vérifie l'intégralité de la grille et annonce si la solution finale est correcte ou non, et un objet "aide" qui suggère une ligne ou une colonne suite à une erreur. Il s'agit d'objets construits à l'aide de Lego sur lesquels sont collés un émetteur RFID. L'émetteur est placé sous le socle de la tour et des objets interacteurs. La table est constituée de 384 détecteurs RFID répartis en dalles (24) de 15 x 15 cm pour une surface totale de 90 x 60 cm. Les dalles sont interconnectées grâce à une interface de contrôle reliée à

l'ordinateur via un bus Ethernet. Chacune de ces dalles contient son processeur Digital Signal Processor qui permet de traiter la lecture des antennes RFID, mais également son multiplexeur et son processeur de communication. La table est constituée d'un écran LCD de 47 pouces.

## TangibleTens

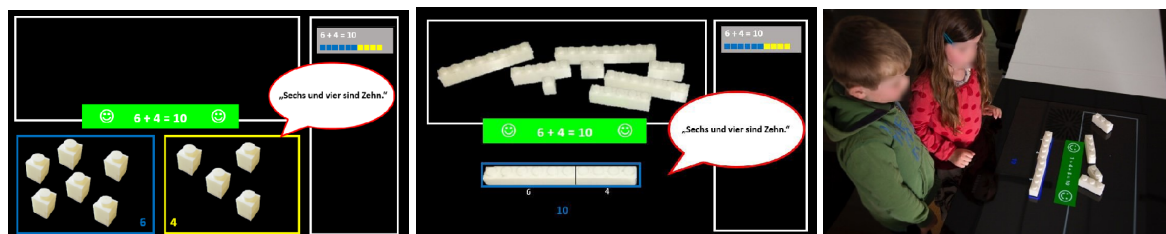


FIGURE 15 – Vue d'ensemble du dispositif (2 photos de gauche) en condition d'utilisation (droite) [54].

TangibleTens a été développé en Allemagne en 2018 avec pour objectif d'apprendre aux jeunes enfants les compétences de base nécessaires à l'utilisation des mathématiques en leur proposant des activités liées au partitionnement des nombres [54]. La table fait appel au concept des nombres partenaires (les nombres qui, une fois additionnés, permettent d'obtenir le nombre 10), qui est inscrit dans le parcours pédagogique des écoles primaires allemandes. Les objets tangibles utilisés sont des blocs similaires aux blocs LEGO créés à l'aide d'une imprimante 3D. Ce choix a été effectué afin d'apporter un caractère ludique aux activités proposées. Le dispositif utilisé est la table d'interaction tangible Samsung SUR40 qui utilise le système d'exploitation Windows 10. Le suivi des objets est assuré par l'application SUR40Tracker. L'application utilisée pour l'affichage des tâches d'apprentissage et l'évaluation des actions de l'utilisateur est TangibleMath.

## Bilan des tables interactives éducatives

Il ressort de l'analyse des différentes tables qu'elles mettent toutes en avant les aspects importants que sont la co-création et la participation à l'élaboration d'un résultat commun. Les évaluations font toutes état de l'enthousiasme et de la motivation des élèves pour l'apprentissage. Ce point, comme le soulignent certaines évaluations, pourrait toutefois être attribué à l'attrait de la nouveauté et il convient donc de le relativiser. EarExplorer fait état d'un apprentissage perturbé par le hardware visible. Les élèves n'ayant jamais été confrontés à ce type de dispositif ont focalisé une partie de leur attention sur la compréhension du fonctionnement de la table au détriment de l'activité proposée.

La majorité des tables rapportent de bonnes interactions entre les étudiants grâce à une gestion des manipulations simultanées qui permet de voir émerger des dynamiques de groupe intéressantes. L'étude de ces tables démontre qu'un large éventail de matières peut être abordé au travers de ce medium. Bien qu'elles soient plus efficaces dans la résolution de problèmes ré-

solubles par des manipulations simples, les tables interactives peuvent également aborder avec succès des sujets à l'apprentissage parfois complexe. Elles favorisent toutes l'apprentissage transversal de compétences telles que la collaboration, l'émulation, l'autonomie, la concentration, l'attention, l'exploration, la gestion des conflits ou encore l'entraide.

La totalité des tables considérées s'inscrivent dans un parcours pédagogique où elles servent de support à un cours. L'aspect ludique est peu mis en avant, le Jeu des Tours étant la seule table à proposer un jeu cadre à son apprentissage. Dans tous les cas, un professeur ou un animateur dispose d'une bonne visibilité sur l'activité, ce qui lui permet d'en assurer le bon déroulement.

De manière surprenante, certaines tables ne sont pas prévues pour être utilisées depuis leurs quatre côtés. Ce choix limite considérablement le nombre d'élèves potentiellement impliqués dans l'activité. Seuls ChemicAble et le Jeu des Tours font figure d'exception. ChemicAble se targue d'offrir un point de vue unique, permettant aux élèves de se positionner de n'importe quel côté et de disposer de la même information que ses co-apprenants. Le Jeu des Tours exploite quant à lui la dynamique de points de vue multiples offerte par les tables interactives, obligeant les élèves à collaborer pour trouver la réponse commune à un problème.

L'un des éléments clés mis en avant par l'ensemble des évaluations est le rôle joué par l'exploration. En fournissant aux élèves un cadre de travail au sein duquel les erreurs sont permises, les tables interactives apportent une plus-value réelle à l'apprentissage. Cette exploration est encouragée par une identification aisée de l'ensemble des actions pouvant être réalisées. L'activité proposée via la table doit être facilement compréhensible afin de ne pas décourager les élèves avec des explications préalables trop nombreuses. Enfin, une prise en main rapide est essentielle.

Toutes les évaluations s'accordent sur l'importance que joue le feedback au sein des activités proposées. Un feedback doit accompagner les actions des élèves afin de leur permettre d'en apprécier les conséquences directes. Si aucun feedback n'est donné par la table, il peut être fourni par l'enseignant ou l'animateur. Des lignes directrices doivent être fixées afin d'expliquer ce qui est attendu et de définir un cadre strict autour de l'activité de la table. Les évaluations mettent toutefois en garde de ne pas proposer d'activités trop dirigistes, qui pourraient casser toute notion d'exploration et impacter négativement l'apprentissage.

L'ensemble des évaluations font état du rôle bénéfique du groupe dans l'apprentissage. Les élèves ayant compris peuvent expliquer aux autres en usant de leurs mots et de démonstration. Collectivement, les apprentissages plus complexes sont intégrés plus rapidement. La majorité des évaluations ont séparé leurs échantillons en deux groupes, l'un employant un apprentissage oral classique et l'autre se servant d'une table. Dans tous les cas, il ressort que l'apprentissage avec table fournit les meilleurs résultats. Les évaluations attribuent ces bénéfices à la collaboration et à l'exploration. Il a été constaté qu'inclure une phase d'introduction

avant de se lancer dans l'activité de la table permettait d'apporter une plus-value supplémentaire à l'apprentissage. Ces résultats, bien qu'encourageants, doivent être nuancés par le fait qu'il est difficile de s'assurer de l'homogénéité des groupes témoins. Les capacités cognitives variant d'un enfant à l'autre, il n'est pas certain que les différents groupes ont été évalués sur un même pied d'égalité.

Enfin, il est à noter que l'entièreté des tables étudiées ont mené leurs évaluations avec des échantillons dont la taille variait de 1 à 5 élèves en simultané. Ce nombre est très éloigné de celui que l'on peut attendre d'une classe typique de secondaire en Belgique (environ 20 élèves). Il conviendra donc d'apprécier certains des points soulevés à la lueur de la situation que nous serons amenés à rencontrer.

## 3 Analyse

Dans cette section, nous allons détailler le processus d'analyse préalable au développement de notre table interactive. Nous établirons le contexte dans lequel s'introduit l'ensemble de notre travail afin de mieux en cerner les enjeux. Nous analyserons ensuite les contraintes de réalisation auxquelles nous serons amenés à faire face. Celles-ci se déclineront en trois groupes, en fonction de leur origine : l'atelier préexistant, la table interactive choisie et les enseignements tirés de notre état de l'art.

### 3.1 Contexte

Notre travail fait suite à l'article en cours de parution *"Introducing the Smart City to children : Lessons learned from practical workshops in classes"* écrit par Antoine Clarinval et al. [19]. Les auteurs y documentent un atelier d'introduction au concept de la Smart City qu'ils ont eu l'occasion de donner à plusieurs reprises auprès de classes de jeunes étudiants francophones. Les évaluations réalisées au cours de l'atelier mettent en évidence des perspectives d'évolution auxquelles nous allons nous efforcer de répondre.

L'atelier, d'une durée totale de 2 x 100 minutes (4 heures de cours), est composé de trois activités principales [60]. La première activité est consacrée à l'introduction des termes et dimensions inhérents au concept de la Smart City. Au cours de celle-ci, les élèves ont l'occasion d'associer des solutions concrètes à la dimension correspondante. La deuxième activité consiste en un jeu de rôle qui propose aux élèves de se placer dans la peau d'urbanistes amateurs. L'accent est placé sur le débat et la participation, alors que le groupe essaie ensemble d'établir un consensus quant aux bâtiments essentiels que devrait contenir leur ville idéale. La troisième activité vient enfin clôturer l'atelier. Cette dernière consiste à trouver une solution à un problème qui aura été rencontré lors de l'élaboration de la ville de la deuxième activité. C'est ici que l'apport de solutions technologiques est abordé.

Les auteurs soulignent dans leurs évaluations que la deuxième activité, qui consiste au placement des bâtiments au sein d'une ville, présente certaines lacunes. La carte en papier et les bâtiments en carton n'offrent aucun retour concret aux étudiants quant à l'impact de leurs choix. Cela a un effet direct sur la qualité des discussions qui en découlent, les étudiants se trouvant dès lors peu armés dans l'argumentation de leurs décisions. Les auteurs déplorent ainsi que, trop souvent, les choix ne se trouvent motivés que par les préférences personnelles des étudiants. Le travail de réalisation de notre table interactive devra donc combler les lacunes identifiées.

## 3.2 Analyse des contraintes de réalisation

### 3.2.1 L'atelier préexistant

Comme nous l'avons vu précédemment, notre travail doit s'intégrer dans un atelier pré-défini. Son rôle y est de fournir un visuel qui permettrait d'enrichir les débats de données concrètes autour desquelles formuler les opinions. En ce sens, l'application n'a pas pour but de sensibiliser par elle-même à la participation citoyenne. Son rôle est de combler les lacunes de l'activité de placement des bâtiments actuelle en fournissant des informations plus riches permettant de mieux comprendre les impacts occasionnés. Nous savons d'ores et déjà que la carte devra supporter la présence d'au moins douze bâtiments différents ainsi que la visualisation de diverses informations relatives à chacun d'entre eux.

L'atelier cible de jeunes francophones scolarisés, et se déroule sur une durée fixe relativement courte. Cela implique que la table devrait proposer une prise en main aisée afin de ne pas perdre inutilement un temps précieux. L'atelier se déroulant avec une classe entière, les dimensions de la table devraient être suffisantes pour permettre à tous d'y avoir accès.

Le déroulement de l'atelier suppose un point de vue unique sur la ville pour l'ensemble des utilisateurs. L'espace ne devrait pas y être divisé afin de coller au mieux à l'activité de participation citoyenne qui consiste à amener un groupe à prendre des décisions communes sur une ville unique. Une identification individuelle des actions réalisées serait préjudiciable à la dynamique de groupe.

Enfin, la solution que nous proposons devrait être aisément modifiable et extensible afin de permettre d'y intégrer constamment des changements pertinents en fonction des retours sur le terrain.

### 3.2.2 La table interactive choisie

Dans le cadre de son mémoire de 2019 intitulé "*L'attractivité des tables interactives tangibles dans les environnements accessibles au grand public*", Valentin Eggermont, étudiant à l'UNamur, a développé en collaboration avec le Confluent des Savoirs une table interactive fonctionnelle, qu'il a nommée Table Périodique [26]. Nous avons reçu de leur part l'aimable autorisation de pouvoir réutiliser cette table afin d'y faire tourner notre propre application.

Nous allons dans un premier temps en fournir une description sommaire avant d'identifier les contraintes qu'elle nous impose.

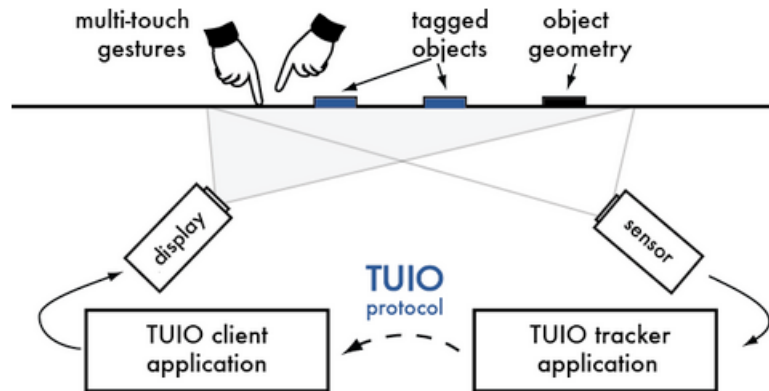


FIGURE 16 – Architecture d’une table reactTIVision [41].

La table qui a été conçue est une table reactTIVision [41][42]. Les tables de ce type reposent toutes sur une architecture similaire (voir figure 16). Une caméra placée en-dessous ou au-dessus de la table capte les mouvements de marqueurs repères spécifiques. Un ordinateur contenant l’application client capte ces mouvements et les interprète. Via un projecteur, une représentation visuelle est enfin produite et diffusée sur l’écran de la table. reactTIVision est un framework open source qui définit une API commune pour les surfaces interactives. L’abstraction qu’il propose permet de développer rapidement des interfaces fonctionnelles pour ce type de medium.

Le tableau ci-dessous relève les principales caractéristiques techniques de la table.

Paramètre de la table Périodique			
Dimensions de la table	120 x 80 x 75 cm (L x l x h)	Projecteur	Optoma GT1080 Darbee avec courte focale
Matériaux de la table	Coffre en bois (MDF) fermé	Ordinateur	Raspberry Pi 3 Modèle B
Dimensions de l’écran	95 x 55 cm (L x l)	Eclairage	Ruban LED infrarouge autour de l’écran
Matériaux de l’écran	2 plaques de plexiglas superposées (sablée de 2mm d’épaisseur et transparente de 8mm d’épaisseur)	Caméra	Caméra pour Raspberry avec un capteur ov5647 (60 fps - 720 p - angle de vision de 150°). Ajout d’un filtre infrarouge (objectif d’appareil photo de 52mm)

TABLE 1 – Caractéristiques techniques de la Table Périodique.

La table consiste en un coffre de bois fermé qui contient l’ensemble du matériel (voir figure 17). Le MDF a été privilégié afin de permettre à la table d’être démontée et transportée facilement. La plaque vitrée où sont placés les objets sert également d’écran pour le projecteur.

Elle fait une épaisseur de 1cm afin de ne pas s'affaisser sous le poids des objets tangibles. La surface translucide permet que les marqueurs repères ne soient détectés qu'à partir du moment où ils entrent en contact avec la table.



FIGURE 17 – Montage de la Table pré-existante [26].

L'utilisation d'une table existante nous permet de gagner un temps non négligeable dans le développement de notre projet. Le problème important de généralisation des tables se voit également adressé, puisqu'il sera dès lors possible de passer aisément d'une activité à une autre sur le Raspberry. L'utilisation de marqueurs repères et d'une projection par le bas signifie qu'une superposition des objets tangibles sera rendue impossible. L'absence d'espace vide sous la table implique une utilisation debout et nous devons donc nous montrer attentifs à ne pas proposer une activité trop longue, qui risquerait de susciter un inconfort auprès des utilisateurs. Enfin, il est difficile de configurer reactIVision de manière à obtenir à la fois de bons résultats dans la détection des marqueurs repères et des gestes tactiles. La Table Périodique ayant été configurée afin de capter au mieux les objets tangibles, l'emploi du tactile ne paraît pas être une solution réellement envisageable dans notre application.

L'accès à la table ayant été rendu impossible par la situation sanitaire que nous traversons, des zones d'ombre subsistent dans notre analyse. Nous n'avons ainsi pas pu prendre connaissance de la taille minimale que doivent avoir les marqueurs repères afin d'être correctement détectés. Le concepteur de la table n'a pas non plus été en mesure de nous fournir la réponse. Il est également à noter que des limitations dans les possibilités d'affichage sont documentées, du fait de l'utilisation d'un Raspberry aux performances limitées. Ici encore, nous ne serons pas en mesure de tester notre application en situation réelle. De légers réglages seront probablement nécessaires afin qu'elle y fonctionne de manière optimale.

### 3.2.3 Les enseignements tirés de notre état de l'art

Des recherches effectuées au cours de notre état de l'art, nous pouvons constater qu'il est primordial de proposer une visualisation qui toucherait l'ensemble des six dimensions de

la Smart City. Il est nécessaire de mettre en évidence pour l'utilisateur l'importance de ses choix de placement des infrastructures, afin de lui permettre de mieux les motiver. Les conséquences qui découlent d'un placement devraient être immédiates. Les impacts devraient se refléter à la fois dans l'environnement local de l'infrastructure, mais également au niveau plus global de la ville tout entière. Des valeurs concrètes devraient être fournies quant aux impacts occasionnés afin de permettre aux utilisateurs d'effectuer des comparaisons et d'étoffer leurs argumentaires. Offrir la possibilité d'utiliser un bâti préexistant serait un avantage permettant de proposer des situations initiales complexes collant davantage avec la réalité.

Il a été démontré que les tables interactives offraient une valeur éducative intéressante lorsqu'elles proposaient de résoudre des problèmes qui ne nécessitaient que des manipulations simples de la part des utilisateurs. Une application démontrant une trop grande complexité pourrait nuire à l'atelier, d'autant que nous avons ici affaire à un public jeune. Il est également primordial de limiter le nombre de paramètres proposés, afin de maintenir des temps de réflexion raisonnables. L'ensemble des actions possibles devrait être immédiatement identifiable par les utilisateurs, et la prise en main des éléments visibles devrait être intuitive. Douze bâtiments et un nombre de paramètres non imposé seront utilisés au cours de l'activité. Il nous faut donc également tenir compte d'éventuels problèmes d'encombrement qui pourraient survenir du fait qu'un nombre relativement important de marqueurs fiduciaux est à prévoir.

## 4 Développement

Dans cette section, nous allons exposer le processus de développement de notre projet. Nous présenterons d'abord les solutions que nous avons retenues afin de combler les besoins identifiés dans la section Analyse. Nous détaillerons alors notre implémentation et présenterons l'architecture logicielle que nous avons mise en place.

### 4.1 Conception

Il était primordial tout en long du processus de conception de maintenir bien définis les objectifs de notre application. La table s'inscrit dans un atelier de sensibilisation à la participation citoyenne, et y représente un outil autour duquel articuler les débats. Son rôle est d'offrir une illustration des impacts occasionnés par les bâtiments sur leur environnement. L'activité de réflexion stimulée par les animateurs constitue le complément élémentaire de la table puisque c'est elle qui permet avant tout de sensibiliser les étudiants à la participation citoyenne. L'application ne se positionne pas quant à la validité des choix effectués. Elle montre et quantifie, mais ce sont les étudiants qui apprécient entre eux la validité de leurs actions. La sensibilisation aux technologies, qui constitue l'un des pans principaux de la Smart City, se déroule au cours de la troisième activité de l'atelier. Nous ne devons donc pas tenir compte de cet aspect dans notre développement.

Pour rappel, l'activité propose à une classe de jeunes étudiants de jouer le rôle d'un groupe de citoyens qui prendraient des décisions afin d'améliorer leur ville. Afin de renforcer cette idée, nous avons décidé de ne pas permettre l'identification individuelle des utilisateurs au sein de l'application. Un tel choix aurait été préjudiciable à la nécessité de fonctionner en tant que groupe dans la prise des décisions. Toujours dans le même ordre d'idée, nous avons choisi de ne pas diviser l'espace de la table interactive. Le point de vue de l'ensemble du groupe y est unique et il est prévu que tous aient accès à l'ensemble de la table et des objets tangibles.

Afin de ne pas complexifier inutilement les interactions réalisées avec la table, nous proposons une version édulcorée des divers effets que peuvent produire les bâtiments sur leur environnement au sein d'un milieu urbain. Les effets visuels restent ainsi volontairement simples. Nous avons également décidé que la carte de la ville ne ferait office que d'arrière-plan passif au sein de l'application afin encore une fois de simplifier les interactions et de ne pas saturer un Raspberry aux performances limitées. Les marqueurs fiduciels sont utilisés comme point d'entrée unique des interactions effectuées avec la table. Le tactile a lui été mis de côté afin de dédier l'espace entier à la carte et aux bâtiments et d'éviter de l'encombrer de menus supplémentaires.

#### 4.1.1 L'emploi d'un simulateur

La Table Périodique sur laquelle nous sommes censés déployer notre application n'est disponible qu'au sein du Confluent des Savoirs. Chaque utilisation doit être précédée d'une prise de rendez-vous, rendue compliquée par la crise sanitaire que nous traversons et le temps consommé par nos emplois respectifs. Très tôt, nous avons pris conscience que nous ne disposerions que d'un accès restreint à cette table interactive.

Afin de nous assister dans notre développement, nous avons pris l'initiative de concevoir un mockup à taille réelle de la Table Périodique (voir figure 18). Celui-ci consiste en une carte imprimée de la ville de Namur, telle qu'utilisée dans la version actuelle de l'activité. Des marqueurs repères apposés sur des rouleaux en carton font office d'objets tangibles (voir figure 19). Une webcam combinée à un client reactTIVision sont utilisés afin de capter les déplacements de ces marqueurs.



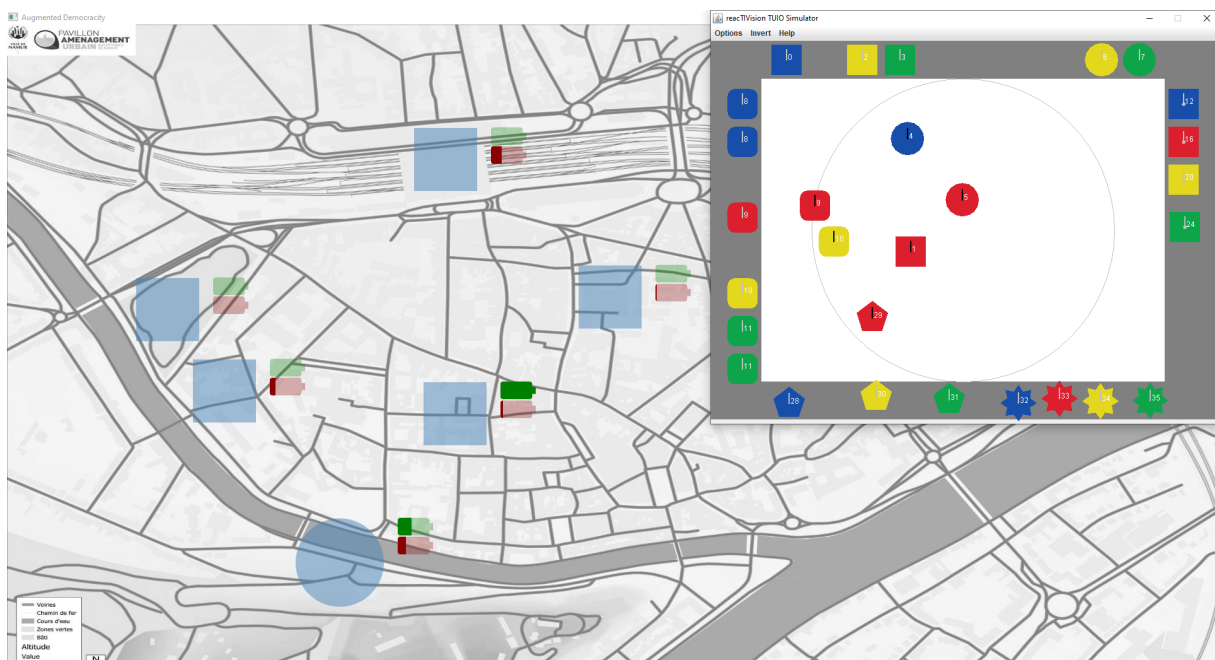
**FIGURE 18** – Le mockup de la table interactive et de ses objets tangibles, vu du dessus.

Ce mockup nous a permis de mieux appréhender l'élaboration de notre concept et de nous assurer que les dimensions de nos objets tangibles ne provoqueraient pas de problèmes d'encombrement une fois placés en nombre sur la table. Les faibles performances de la webcam utilisée combinées aux problèmes de luminosité inhérents au captage visuel des marqueurs repères nous ont toutefois rapidement imposé leurs limites. Nos tentatives de réglages ne nous ont permis au final de capter de manière optimale qu'une petite portion de la table, et ce à des niveaux de luminosité bien spécifiques. Ces conditions de travail ne convenant pas à un développement à horaires variables tel que le nôtre, nous nous sommes tournés vers une autre solution.



**FIGURE 19** – Le mockup des objets tangibles. Des objets de taille réduite, aux marqueurs noirs, sont utilisés pour représenter les filtres (à gauche). Des objets de taille plus élevée, aux marqueurs blancs, représentent les infrastructures (à droite).

Au terme de nos recherches, nous avons décidé d'employer le *TUIO Simulator* (voir figure 20), qui fournit une interface graphique sur laquelle manipuler des objets tangibles fictifs. La zone blanche du simulateur représente la surface de la table qui peut être, au choix, de forme circulaire ou rectangulaire. Les formes de couleur représentent quant à elles les objets tangibles. Un nombre est associé à chacune d'entre elles, qui équivaut à l'identifiant unique des marqueurs repères dans une situation réelle. Les formes et les couleurs ne contiennent aucune valeur sémantique et témoignent uniquement d'un choix esthétique de la part des concepteurs. Le simulateur capte les mouvements et les signale de la même manière que le ferait une table *reactIVision*. Le comportement de la Table Périodique ne devrait donc pas montrer de différences notables lorsque l'application y sera déployée.



**FIGURE 20** – Le simulateur TUIO (en avant plan) et le résultat obtenu sur notre application (en arrière plan).

Le visuel de notre application a été légèrement revu afin de permettre une meilleure appréhension du résultat final que nous sommes censés obtenir. Des placeholders ont été ajoutés afin de représenter la place que prendraient les objets tangibles sur la surface de la table (voir figure 21). Un carré bleu transparent indique la présence d'une infrastructure tandis que les cercles bleus transparents signalent l'existence d'un filtre. Il va de soi que ces placeholders n'apparaîtront pas dans la version physique finale de la table.



**FIGURE 21** – Le placeholder d'une infrastructure (à gauche) et celui d'un filtre (à droite).

#### 4.1.2 Les filtres

Afin de refléter les divers impacts que peuvent avoir les infrastructures sur leur environnement, nous avons développé un concept de filtres. Au nombre de huit, chacun d'entre eux permet, une fois posé sur la table, d'afficher un visuel spécifique permettant d'appréhender un domaine particulier parmi l'Economie, l'Energie, l'Environnement, la Santé, la Mobilité, le Bruit, la Sécurité et le Bien-être. Ces domaines ont été sélectionnés par nos soins car ils complètent les infrastructures afin de couvrir, ensemble, l'entièreté des six dimensions de la Smart City.

À chacun des filtres correspond un objet tangible spécifique (voir figure 22). Ce choix permet aux étudiants de pouvoir distinguer rapidement la liste des actions possibles, tout en évitant l'encombrement qu'aurait provoqué l'ajout de menus et de boutons supplémentaires. Nous avons opté pour une représentation iconique de ces filtres afin de les rendre identifiables indépendamment du point de vue adopté autour de la table. Leur forme circulaire permet de les repérer immédiatement parmi les autres objets tangibles. Ils possèdent chacun leur propre couleur vive dominante et sont ornés d'une icône représentative du domaine qu'ils se proposent d'illustrer. Le nom français de chaque filtre accompagne l'icône, levant ainsi tout doute éventuel.



FIGURE 22 – Maquettes des objets tangibles utilisés pour représenter les filtres.

Lorsqu'un filtre est posé sur la table, les retours visuels sont de deux types. Autour de chaque infrastructure, s'affiche une représentation de son impact individuel tandis qu'apparaît autour du filtre l'impact combiné des bâtiments sur leur ville. La carte de la ville passe quant à elle au noir et blanc pour mieux distinguer ces effets visuels.

Nous avons décidé qu'un seul filtre serait actif à tout moment. Cette décision est motivée à la fois par un souci de clarté, mais aussi par une volonté de concentrer au mieux les discussions. Si plusieurs filtres sont placés en simultané sur la table, l'application est prévue pour fonctionner selon une règle FIFO. Le deuxième filtre ne deviendra dès lors actif qu'après que le premier ait été enlevé de la table, et ainsi de suite jusqu'au dernier.

### Le filtre Bien-être

Le filtre Bien-être a été choisi pour représenter le taux de satisfaction des citoyens fictifs de la ville bâtie par les utilisateurs. Ces citoyens ont été répartis en trois catégories selon leur tranche d'âge : moins de 18 ans, âgés de 18 à 65 ans et plus de 65 ans. Ces catégories ont été choisies afin de pallier l'homogénéité générationnelle des groupes qui seront amenés à choisir les infrastructures. En leur permettant de visualiser la satisfaction de personnes aux intérêts divergents des leurs, nous espérons les amener à pousser leur réflexion au-delà de leurs simples préférences personnelles.

Trois types de smileys ont été choisis afin de représenter une gradation de la satisfaction avec, par ordre d'intérêt croissant : un smiley sceptique rouge, un smiley sceptique jaune et un smiley souriant vert. Le taux de remplissage des contours de ces smileys permet d'apporter une granularité supplémentaire.

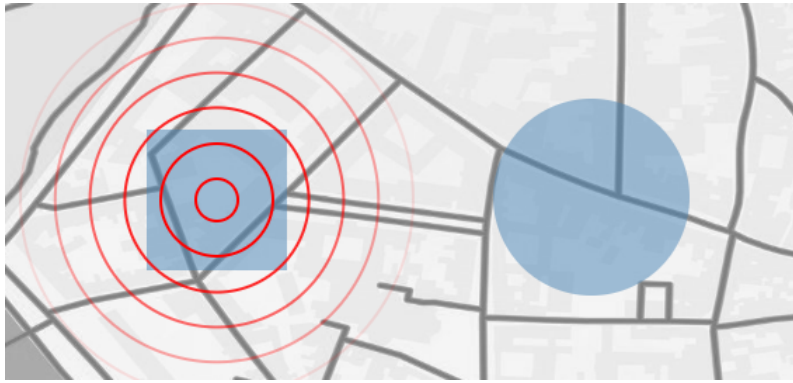


**FIGURE 23** – Un exemple de représentation du Bien-être au niveau de l'infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Sur la représentation (Voir figure 23), chaque smiley correspond à l'une des tranches d'âge spécifiées ci-avant. La légende figurant sur l'objet tangible du filtre permet de lier le smiley à la tranche correspondante. Lorsque le filtre est placé sur la carte, chaque infrastructure indique alors les taux de satisfaction qu'elle procure. Un récapitulatif s'affiche également au-dessus du filtre afin de fournir une vision globale du taux de satisfaction de la ville. Enlever ou ajouter des infrastructures de la table permet de faire évoluer ce score en temps réel.

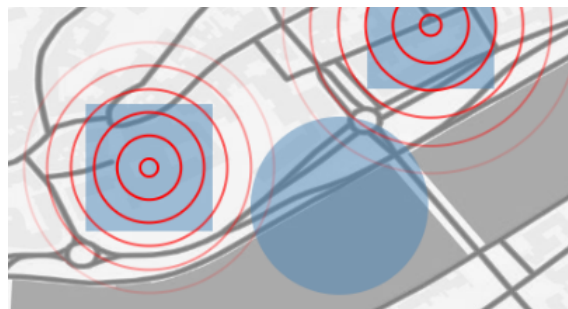
### **Le filtre Bruit**

Le filtre Bruit a pour but de refléter l'impact sonore que peuvent avoir les infrastructures sur leur environnement immédiat. Cet impact illustre à la fois la pollution sonore provoquée par l'infrastructure en elle-même mais aussi celle, annexe, de l'activité humaine qu'elle suscite. Sa représentation est celle d'une onde rouge animée qui émane en continu depuis le centre de l'infrastructure (Voir figure 24). La taille maximale qu'atteint cette onde varie d'un cas à l'autre selon le niveau de pollution sonore engendré.



**FIGURE 24** – Un exemple de représentation du Bruit au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

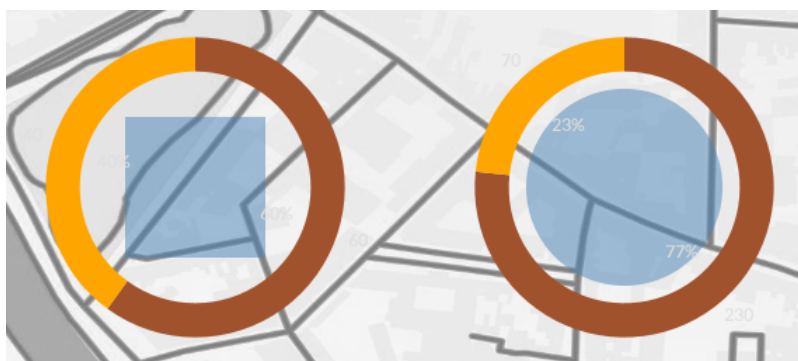
Le filtre ne possède pas de visualisation particulière, car nous avons opté pour une représentation sonore, qui semblait plus intuitive. Lorsque le filtre est placé sur les ondes produites par les infrastructures, une bande son de brouhaha urbain est jouée par la table. Le volume de ce son dépend de la taille et de la fréquence de croisement des ondes (Voir figure 25). Les utilisateurs peuvent alors apprécier de manière plus consciente l’impact sonore que produisent leurs choix sur une zone spécifique de la carte. Il est à noter que cette fonctionnalité nécessitera de brancher un périphérique de sortie sur le port audio du Raspberry.



**FIGURE 25** – Un exemple illustrant le filtre Bruit utilisé afin d’apprécier la pollution sonore combinée de deux infrastructures.

### **Le filtre Economie**

Le filtre Economie sert à illustrer les origines de financement des infrastructures. Le domaine a été simplifié afin de n’en illustrer que deux pans : le financement public d’un côté, et le privé de l’autre. Sa représentation est un cercle qui entoure l’infrastructure (Voir figure 26). La couleur orange y représente la part publique. La couleur brune sert, elle, à illustrer la part consacrée au privé. Une légende figure sur l’objet tangible du filtre afin de spécifier la signification des deux couleurs.

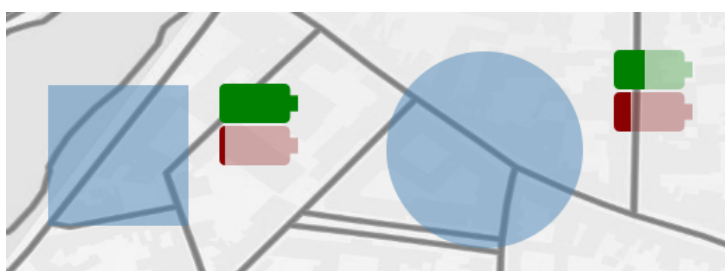


**FIGURE 26** – Un exemple de représentation de l’Economie au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre est identique à celui des infrastructures. Les valeurs associées aux infrastructures présentes sur la table y sont combinées afin d’offrir une vue globale des origines de financement de la ville.

### Le filtre Energie

Le filtre Energie sert à illustrer la consommation et la production d’énergie des infrastructures. Sa représentation est celle de deux batteries superposées (Voir figure 27). Celle supérieure, verte, représente l’énergie produite tandis que celle inférieure, rouge, indique l’énergie consommée. Au sein de chaque batterie, une gradation permet d’apprécier visuellement les quantités. Si une infrastructure ne produit aucune énergie, la batterie supérieure sera simplement affichée vide.



**FIGURE 27** – Un exemple de représentation de l’Energie au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre permet de s’enquérir du bilan énergétique de la ville entière. Les utilisateurs peuvent ainsi à tout moment constater les conséquences qu’ont leurs choix en terme d’énergie. L’ajout ou la suppression d’infrastructures entraînent une mise à jour automatique du filtre. Des utilisateurs qui auraient mené leur ville en situation de déficit énergétique seraient donc capables de constater immédiatement les effets des mesures correctives qu’ils prendraient.

### Le filtre Environnement

Le filtre Environnement sert à illustrer l'impact écologique des infrastructures. Sa représentation est un nuage brun transparent animé, qui émane du centre de l'infrastructure (Voir figure 28). La taille du nuage dépendra de la valeur estimée du bilan carbone de l'infrastructure. Au plus celle-ci sera importante, au plus le nuage sera étalé sur la carte.



**FIGURE 28** – Un exemple de représentation de l'Environnement au niveau de l'infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre permet d'estimer si le bilan carbone global de la ville reste raisonnable. Cette échelle est gradée sur trois couleurs avec, du plus au moins raisonnable : le vert, le jaune et le rouge. La valeur correspondant à chaque gradation est un nombre fixe encodé au sein de l'application.

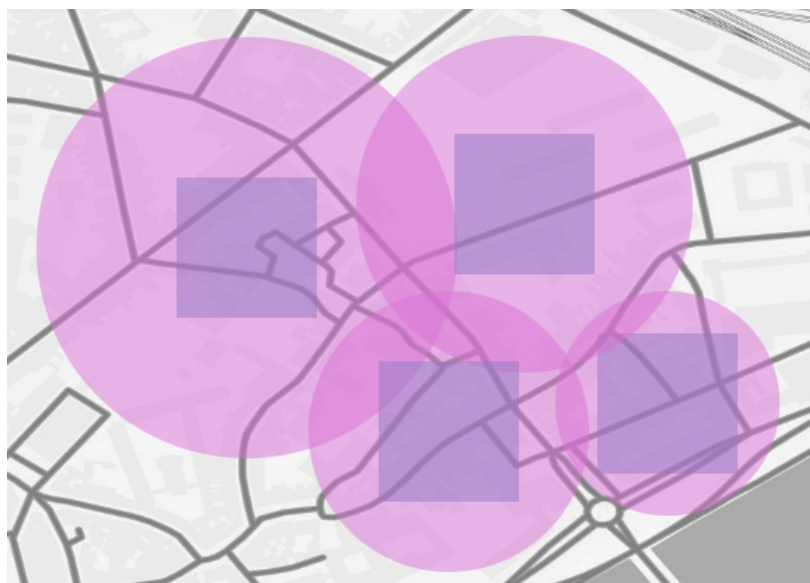
### Le filtre Mobilité

Le filtre Mobilité sert à illustrer la manière dont les infrastructures impactent la mobilité de leur environnement immédiat. La représentation choisie pour chaque infrastructure est celle d'un cercle violet transparent qui l'entoure (Voir figure 29). La taille de ce cercle varie d'une infrastructure à l'autre selon l'impact provoqué. La valeur de cet impact dépend de la quantité de foule et de circulation que l'infrastructure est susceptible de générer. Lorsque plusieurs cercles se trouvent à proximité les uns des autres, les parties superposées prennent une couleur plus foncée afin d'offrir un repère visuel permettant d'identifier les zones les plus problématiques (Voir figure 30).



**FIGURE 29** – Un exemple de représentation de la Mobilité au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre permet d’estimer si les problèmes de mobilité engendrés à l’échelle de la ville atteignent un niveau raisonnable. L’échelle fonctionne comme celle employée par l’Environnement et est gradée sur trois couleurs avec, du plus au moins raisonnable : le vert, le jaune et le rouge. La valeur correspondant à chaque gradation est un nombre fixe encodé au sein de l’application.



**FIGURE 30** – Un exemple de superposition de l’impact en mobilité de plusieurs infrastructures.

### **Le filtre Santé**

Le filtre Santé sert à illustrer le bonus santé offert par une infrastructure. La représentation choisie pour chaque infrastructure est celle d’un cercle vert qui l’entoure (Voir figure 31). Au plus le bonus offert est élevé, au plus le cercle sera rempli. Les infrastructures n’offrant aucune valeur ajoutée en terme de santé présenteront donc un cercle vide.

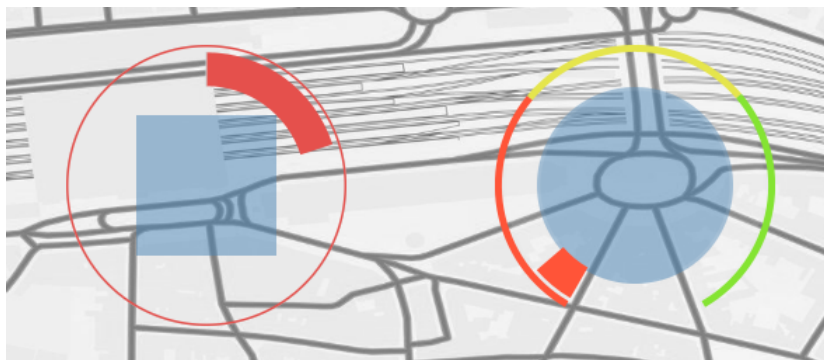


**FIGURE 31** – Un exemple de représentation de la Santé au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre permet d’estimer si la ville offre une couverture de soins de santé suffisante. L’échelle employée est gradée sur trois couleurs avec, depuis une couverture insuffisante jusqu’à une couverture suffisante : le rouge, le jaune et le vert. La valeur correspondant à chaque gradation est un nombre fixe encodé au sein de l’application.

### **Le filtre Sécurité**

Le filtre Sécurité sert à illustrer le degré de sécurité offert par une infrastructure. La représentation choisie pour chaque infrastructure est celle d’un cercle rouge qui l’entoure (Voir figure 32). Au plus le degré de sécurité offert est élevé, au plus le cercle sera rempli. Les infrastructures n’offrant aucune valeur ajoutée en terme de sécurité présenteront donc un cercle vide.



**FIGURE 32** – Un exemple de représentation de la Sécurité au niveau de l’infrastructure (à gauche) et du filtre (à droite).

Le visuel lié au filtre permet d’estimer si la ville offre un degré de sécurité suffisant. L’échelle fonctionne comme celle employée par la Santé et est gradée sur trois couleurs avec, depuis un degré insuffisant jusqu’à un degré suffisant : le rouge, le jaune et le vert. La valeur correspondant à chaque gradation est un nombre fixe encodé au sein de l’application.

### 4.1.3 Les infrastructures

Nous proposons un choix de 26 infrastructures différentes (Voir annexe A page I). Ce nombre nous permet de couvrir l'ensemble des 6 dimensions de la Smart City tout en proposant une variété qui devrait provoquer des dilemmes intéressants chez les utilisateurs. Chaque infrastructure possède des caractéristiques communes (voir tableau 2), dont la valeur peut varier de 0 à 100.

<b>Caractéristiques d'une infrastructure</b>
Pollution sonore
Impact négatif sur la mobilité
Impact positif sur la mobilité
Impact positif sur la sécurité
Impact positif sur la santé
Taux de satisfaction des moins de 18 ans
Taux de satisfaction des 18-65 ans
Taux de satisfaction des plus de 65 ans
Proportion de financement public
Proportion de financement privé
Énergie consommée
Énergie produite
Bilan CO2

**TABLE 2** – La liste des caractéristiques communes à toutes les infrastructures.

Pour chacune de ces caractéristiques, la méthodologie que nous avons appliquée afin de déterminer les différentes valeurs a été la suivante :

1. Déterminer parmi nos infrastructures celles qui, pour cette caractéristique donnée, afficheraient le score le plus bas
2. Déterminer parmi nos infrastructures celles qui, pour cette caractéristique donnée, afficheraient le score le plus haut
3. Établir peu à peu une échelle de gradation dans les scores en comparant les autres infrastructures entre elles et en nous servant des limites définies au cours des étapes précédentes

À chacune des infrastructures correspond un objet tangible spécifique (Voir figure 33). Nous avons décidé de leur donner une représentation figurative, ce qui permet une identification visuelle rapide. Toutes les infrastructures sont de couleur blanche, afin de les différencier des filtres, de couleurs vives, plus aisément. La superposition n'est pas prise en compte au sein de l'application, de par les limitations techniques imposées par la table. La table et l'application gèrent les interactions multiples et le placement de plusieurs infrastructures en simultané est donc permis. Lorsqu'une infrastructure est posée sur la surface de la table et qu'aucun filtre

n'est actif, une animation de surbrillance s'affiche autour de l'objet tangible (Voir figure 34) afin de confirmer à l'utilisateur que son action a bien été prise en compte.



FIGURE 33 – Maquettes de 12 objets tangibles utilisés pour représenter les infrastructures.

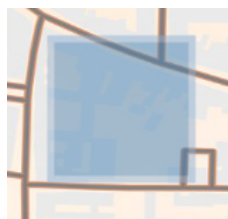


FIGURE 34 – L'effet de surbrillance qui s'affiche autour d'une infrastructure lorsqu'aucun filtre n'est actif.

L'activité peut, au choix, démarrer d'une situation initiale vide ou d'un bâti préexistant. Il suffirait, pour cette dernière, que les animateurs placent des infrastructures au préalable sur la table et imposent aux élèves de ne pouvoir y toucher. De facto, ils devraient alors apprendre à composer avec une situation initiale. À l'aide des différents filtres, les élèves pourraient analyser leur contexte de départ avant d'entamer l'activité de placement de leurs propres bâtiments (exemple : voir annexe C page VI).

## 4.2 Implémentation

Notre application est entièrement codée en Java, ce langage répondant à des besoins de rigueur et de portabilité. Nous avons opté pour une architecture monolite, afin de faciliter le développement et le déploiement. L'application se découpe ainsi en trois modules principaux qui sont :

- Le **launcher**, qui sert au packaging de l'application.
- Le **client**, qui se charge de capter les messages TUIO et d'agrémenter les fiduciaux des informations issues de la base de données.
- Le **gui**, qui se charge de la partie visuelle de l'application.

Toujours afin de faciliter le développement, nous avons employé deux frameworks au sein de notre application :

### SpringBoot

Un framework open source pour construire et définir l'infrastructure d'une application Java, dont il facilite le développement et les tests. Ce framework a été utilisé afin de bénéficier de ses mécanismes d'injection de dépendances et de gestion des événements : deux éléments qui nous permettent de réduire fortement le couplage entre nos différents composants. SpringBoot nous a également permis d'éliminer une grosse partie du boiler plate code en ce qui concerne la mise en place de certaines technologies telles que le data access. Enfin, ce framework bénéficie d'une grosse communauté, ce qui facilite la résolution de problèmes et la réutilisation de solutions qui ont déjà été éprouvées.

### JavaFX

Un framework permettant de créer des interfaces graphiques en Java ; un choix principalement motivé par la quantité de solutions mises à disposition par son énorme communauté.

#### 4.2.1 La base de données

Chacun des marqueurs fiduciaux reconnus par l'application possède une représentation dont les informations sont stockées dans une base de données. Outre l'identifiant technique et l'identifiant unique de chaque marqueur fiduciaux, les données stockées sont :

Pour les filtres : leur type.

Pour les infrastructures : leur nom ainsi que les différentes métriques qui leur sont liées.

Actuellement, nous avons opté pour une base de données en mémoire H2. Cette base de données offre plusieurs avantages tels qu'une taille réduite, une facilité de déploiement et des temps de réponse très rapides.

#### 4.2.2 Le client

Le client est le coeur de notre application, exécuté en parallèle de reactTIVision sur le Raspberry. Ce client fonctionne sur base d'un modèle en couches Controller-Service-Repository (voir figure 35). Ce modèle nous offre une grande flexibilité dans l'implémentation, puisque chaque couche y est indépendante des autres et peut donc être aisément remplacée sans que cela ait le moindre impact sur le reste de l'application.

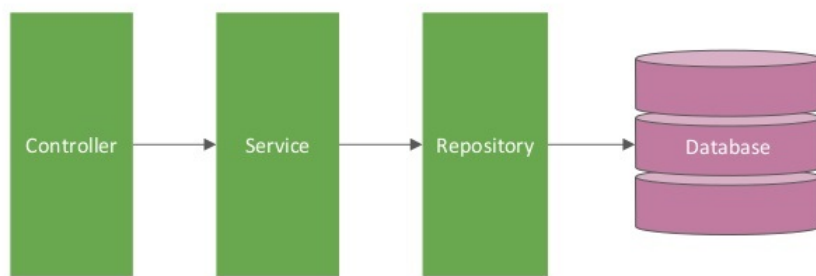


FIGURE 35 – Modèle Controller-Service-Repository.

Lorsqu'un marqueur fiduciel entre en interaction avec la table, reactTIVision capte l'événement et émet un message qui contient l'id unique du marqueur, sa position (coordonnées XY) et son angle.

Notre controller, qui sert de point d'entrée à l'application, réceptionne ce message et l'interprète. Il détermine s'il s'agit d'un ajout, d'une mise à jour, ou d'une suppression de fiduciel. Il le classe alors selon son identifiant unique et encapsule l'ensemble des informations au sein d'un événement, qu'il publie.

Au sein de la couche service, le service adéquat capte l'événement sur base de la classification qui a été précédemment effectuée. Le service interroge alors la couche repository afin d'enrichir le fiduciel des données contenues dans la base de données.

Le service encapsule alors à son tour l'ensemble des informations dans un nouvel événement, qu'il publie également. Cet événement sera capturé, au sein du module GUI, par un Mediator unique.

### 4.2.3 Le gui

Il s'agit du module chargé de l'aspect visuel de l'application. Le Mediator y est l'unique point d'entrée de l'ensemble des événements publiés par les services du module client (voir figure 36).

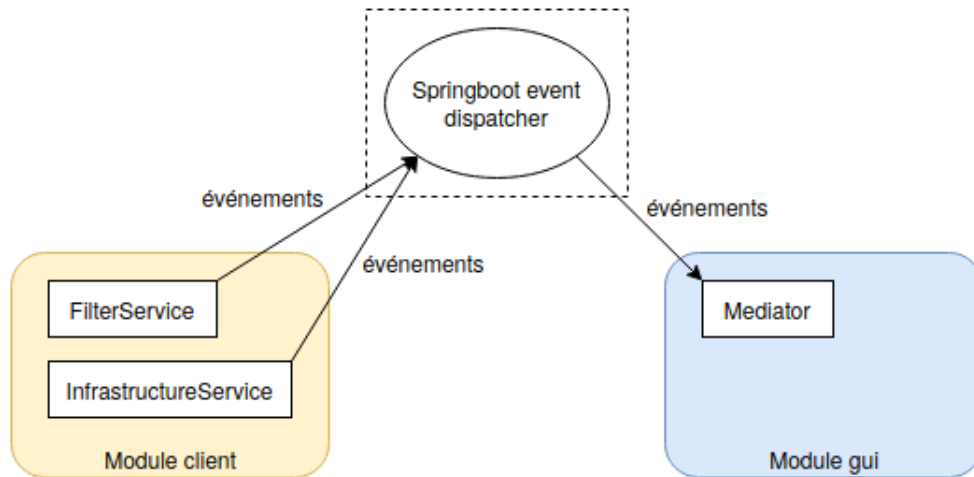


FIGURE 36 – La gestion des événements au sein de l'application.

Le Mediator contient un Context et une ContextConfiguration (voir figure 37). Le Mediator possède des méthodes d'ajout, de mise à jour et de suppression des objets tangibles d'infrastructures et de filtres. Ces méthodes captent les différents événements publiés par les services du module client et transmettent l'information au Context actif pour traitement.

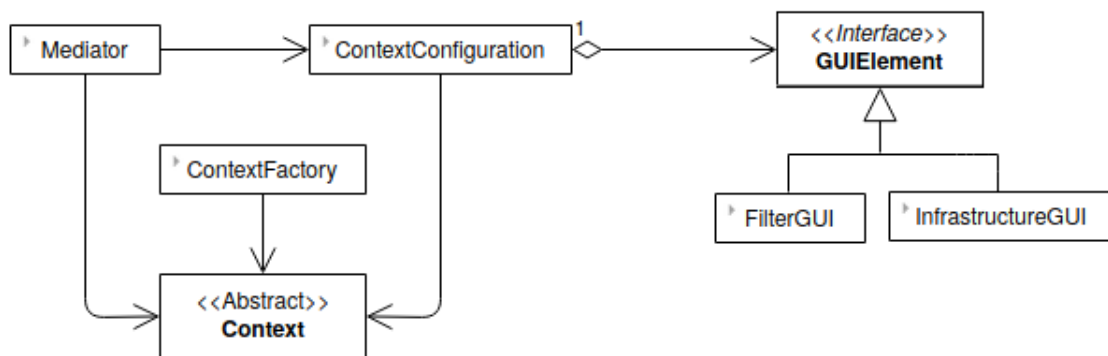


FIGURE 37 – Diagramme des classes principales contenues dans le module gui.

Les Context sont un concept abstrait qui permet à l'application de modifier son comportement au runtime. Actuellement, le seul Context implémenté est celui que nous présentons tout au long de ce travail, mais il sera éventuellement possible, à l'avenir, d'ajouter aisément de nouveaux écrans ou de nouvelles logiques de jeu grâce à ce concept. Le Mediator interroge une ContextFactory afin de savoir quel Context utiliser. L'ajout de Contexts supplémentaires

ne demandera donc aucune modification au niveau du Mediator et de la logique de captage des objets tangibles sur la table.

La ContextConfiguration contient à tout moment l'ensemble des éléments tangibles présents sur la table ainsi que les dimensions de l'écran. Le Mediator la passe aux Contexts lors de leur création afin qu'ils puissent prendre connaissance de l'état actuel de la table et réagir en fonction.

Chaque Context contient un DrawerFactory, qu'il passe à chacun de ses GUIElement. Lorsqu'une opération d'ajout, de mise à jour ou de suppression doit être réalisée sur un des éléments gui présents à l'écran, le GUIElement interroge le DrawerFactory afin de récupérer le Drawer correspondant au filtre actuellement actif. Les opérations visuelles sont alors déléguées au Drawer. Chaque élément gui possède un Drawer spécifique par filtre. Ce choix d'implémentation permettra d'ajouter et de supprimer facilement des filtres lors d'éventuelles modifications futures.

## 5 Évaluation

Il était originellement prévu de réaliser notre évaluation auprès d'une classe de jeunes étudiants. La situation sanitaire nous a toutefois contraints à revoir nos plans. La Table Périodique n'étant pas accessible et les réunions de groupes étant proscrites, l'évaluation a été réalisée à distance par le biais d'experts en UX. Par souci de complétude, nous détaillerons l'évaluation réalisée et présenterons le déroulement de celle qui était prévue.

### 5.1 Évaluation par le biais d'experts en UX

Le professeur Bruno Dumas et son assistant Antoine Clarinval, membres de la faculté informatique au sein de l'Université de Namur, représentent les experts consultés lors de cette évaluation. La séance s'est tenue en deux parties. La première a permis de valider l'aspect physique des objets tangibles qui ont été conçus. La seconde a consisté en une critique constructive de l'application développée afin de dégager des points d'attention et des pistes d'amélioration. L'ensemble s'est effectué en distanciel via Teams. Le partage d'écran et le simulateur TUIO [Voir page 20] ont été employés afin de réaliser la démonstration.

#### Les objets tangibles

Il était initialement prévu qu'une version définitive de ces objets soit produite en bois ou en plastique en collaboration avec le TRAKK, et ce, afin d'obtenir un rendu final optimal. Au vu de l'évolution de la situation sanitaire, il a été décidé, en concertation, de présenter un premier prototype qui, après validation par les experts, a lancé la création de l'ensemble des maquettes en carton. De l'évaluation de ces maquettes, il est ressorti que, bien qu'en stade de maquette cartonnée, la représentation des filtres et des infrastructures étaient en accord avec l'activité proposée et suffisamment explicite pour une utilisation en évaluation présentielle.

#### L'application

L'évaluation a consisté à placer les infrastructures et les filtres en fonction des directives des experts. Les commentaires concernant les différents filtres étaient les suivants :

- **La situation par défaut** : Bon point pour le bord clignotant permettant aux utilisateurs de s'assurer que l'objet a bien été pris en compte.
- **Le filtre Environnement** : Le choix de nuages animés comme représentation est bien mais le choix de la couleur verte laisse à penser que plus la densité et la dispersion des nuages sont importantes mieux c'est. D'autant plus que sur la représentation globale du filtre, le vert est considéré comme "reste raisonnable". La valeur de bilan carbone choisie

pour certaines infrastructures n'est pas en concordance avec la réalité.

- **Le filtre Economie** : Partir sur une proportion entre économie privée et publique est une bonne idée mais le "locale" en troisième valeur n'est pas judicieux. Cela laisse à penser qu'il s'agit d'une donnée supplémentaire, or, même si elle est locale, l'économie est soit privée soit publique. Au vu de l'activité et du public cible il est préférable d'enlever cette troisième valeur. Il faut également revoir les couleurs choisies afin de mieux marquer leur différence. Le choix de représentation peut rester en l'état uniquement si la légende est affichée sur l'objet tangible.
- **Le filtre Santé** : Après un questionnement sur le choix de la couleur et des valeurs de la représentation des infrastructures, il n'y aura pas de changement à prévoir. La raison étant que l'objet tangible est de la même couleur et que les valeurs ont été justifiées.
- **Le filtre Sécurité** : Pas de remarque particulière.
- **Le filtre Mobilité** : La représentation de l'impact au point de vue de la congestion proche des infrastructures et la prise en compte des superpositions de zones sont bonnes. Une discussion d'experts s'ouvre sur la nécessité et le bien-fondé de la représentation à l'échelle de la carte sur le contour de l'objet tangible du filtre. En décision finale, il a été jugé judicieux d'avoir un impact par infrastructure mais également un impact global sur l'ensemble de la carte comme c'était le cas initialement.
- **Le filtre Bruit** : Pour les infrastructures l'idée de représentation est bonne mais il faut forcer les traits. Pour le filtre par contre la représentation choisie ne convient pas. Il est préférable de partir sur une localisation du filtre sur la carte et lui donner des valeurs/-couleurs différentes en fonction des infrastructures proches de lui. Il faudrait trouver une dimension plus ludique pour celui-là.
- **Le filtre Bien-être** : Il faut légender les trois smileys pour savoir lequel représente quelle tranche d'âge. L'idée de la représentation par les visages est chouette mais le smiley fâché ne fonctionne pas en terme de clarté de message. L'intérêt pour une infrastructure ne cadre pas avec un mécontentement, se désintéresser est possible mais cela n'engendre pas un rejet. Il faut trouver une autre solution (d'autres smileys, partir de l'orange et du smiley neutre, avoir neutre/un peu content/très content, d'autres couleurs, ...) sans notion de négatif, avoir uniquement une échelle partant de "pas d'intérêt" à "beaucoup d'intérêt".
- **Le filtre Energie** : Belle représentation, claire, on voit tout de suite de quoi il s'agit.

Suite à ce retour expert, les éléments suivants ont été implémentés et sont compris dans la version finale de l'application remise dans le cadre de ce mémoire :

- **Le filtre Environnement** : Les nuages de l'environnement sont bruns et les valeurs des infrastructures ont été revues.

- **Le filtre Economie** : La dimension locale a été supprimée et les couleurs ont été changées.
- **Le filtre Bruit** : Les traits rouges ont été forcés. Pour la représentation du filtre, elle tient maintenant compte de la proximité des infrastructures environnant et émet un signal sonore plus ou moins fort en fonction de la densité de son présente à cet endroit sur la table.
- **Le filtre Bien-être** : Après divers tests, la solution retenue a été de garder le code couleur rouge/jaune/vert mais avec un smiley avec une bouche linéaire pour le rouge et pour le jaune. Cette dernière permettant un gradient plus visuel.

## 5.2 Evaluation par le biais des utilisateurs finaux

Comme spécifié ci-dessus, l'évaluation initialement prévue n'a pu avoir lieu. Cependant si cette dernière avait pu être réalisée, elle se serait tenue en 2 phases, une première phase d'exploration de la table avec feedback et une deuxième phase avec l'insertion dans l'atelier complet.

### L'exploration avec feedback

Dans cette première phase l'objectif est de s'assurer de la lisibilité et la simplicité d'utilisation de la table, mais aussi de sa capacité à fonctionner avec un groupe. Pour ce faire, une dizaine d'élèves de 12 à 14 ans devraient être invités à venir au Confluent des Savoirs. Le cadre fourni au groupe serait le test d'un dispositif permettant de visualiser les impacts d'une infrastructure sur la ville. Il n'y aurait, dans ce cas, pas de questionnaire d'entrée mais une explication brève du projet que nous menons et la demande claire d'explorer la table afin de récolter leur ressenti.

Il y aurait dès lors deux feedbacks de sortie. Un premier, par observation à l'aide d'une check-list, qui nous permettrait de prendre note de la robustesse de l'ensemble de la table interactive lors d'une utilisation en groupe (occupation de l'espace, réactivité de la table, ...). Et un deuxième, par questionnaire de sortie, qui nous permettrait d'obtenir leurs retours sur la lisibilité, l'interactivité, la simplicité d'utilisation du dispositif. Ce questionnaire contiendrait 3 questions ouvertes portant sur leur ressenti global, les points positifs et les points négatifs, et des questions dirigées avec évaluation graduelle en 5 étapes couvrant de "complètement d'accord" à "complètement pas d'accord" en passant par le "ni d'accord, ni pas d'accord". Ces questions dirigées viseraient à répondre aux problématiques d'utilisabilité et d'ergonomie de la table, de lisibilité des interactions possibles, de l'occupation de l'espace et de la possibilité de collaboration. Les questions ouvertes seraient posées après les dirigées afin d'élargir le champs de réflexion et récolter un feedback plus complet.

L'analyse de la prise de notes et du questionnaire nous permettrait d'améliorer le dispositif avant de le présenter à une classe entière.

### **L'insertion dans l'activité**

Dans cette deuxième phase l'objectif est de s'assurer que notre table réponde bien à notre problématique. Pour ce faire, nous aurions dû nous rendre au sein de plusieurs classes d'élèves de première, deuxième ou troisième secondaire. A l'aide de l'un des créateurs de l'atelier nous aurions pu tester le dispositif, avec comme cadre, l'ensemble de l'atelier actuellement proposé.

Cette fois nous aurions proposé un questionnaire en pré-atelier et en post-atelier [31]. Ces derniers devraient reprendre les questions et la méthodologie suivie lors des évaluations précédentes [19] afin de pouvoir comparer les résultats. Nous y aurions également glissé quelques questions dirigées avec évaluation graduelle en 5 étapes concernant le médium de la table interactive. Il est à noter que nous sommes toutefois conscients de la présence d'un biais dans les résultats. En effet, l'activité ne pouvant être évaluée deux fois avec le même public, nous sommes donc dans l'impossibilité d'avoir un échantillon d'élève identique avec les 2 dispositifs. Ce biais pourrait toutefois être lissé en animant l'atelier avec table interactive sur un grand nombre de classes.

L'analyse de ces questionnaires nous permettrait non seulement d'obtenir des données concrètes afin de répondre à la problématique posée par ce travail, mais également de connaître les points qui peuvent être maintenus et de prochaines pistes d'amélioration du dispositif.

## 6 Perspectives

Nous avons dégagé quatre perspectives que nous pensons intéressantes à explorer au cours de futurs travaux.

### **Déployer l'application sur une table interactive**

La plus évidente des perspectives serait de déployer notre application sur une table interactive, tel qu'il était initialement prévu. Ce déploiement permettrait d'apprécier notre solution dans le cadre de l'atelier et d'apporter une réponse plus circonstanciée à la problématique que nous avons formulée au départ de ce travail.

Le simulateur employé au cours du développement présentant des comportements similaires à ceux que l'on peut trouver au sein de toute table *reactIVision*, l'interfaçage ne devrait nécessiter qu'un nombre restreint d'ajustements. Les effets visuels pourraient éventuellement nécessiter de petites révisions en cas de Raspberry aux performances trop faibles. De même, il conviendra de vérifier que les tailles de marqueurs repères que nous avons employées sont suffisantes pour permettre une capture efficace par la caméra.

Une piste sur la manière dont pourrait être menée l'évaluation auprès d'une classe en situation réelle est fournie dans la partie *Evaluation* de ce travail. Notre application ayant été conçue avec un souci de flexibilité et d'extensibilité, il devrait être possible de l'adapter en fonction des retours obtenus auprès des utilisateurs.

### **Améliorer le concept actuel**

Les impacts de Mobilité au sein de la ville peuvent être de nature négative et positive mais seul l'aspect négatif est actuellement représenté sur le contour de nos infrastructures. Les impacts de Santé et de Sécurité se concentrent uniquement sur les effets bénéfiques au sein de la ville, mais il pourrait être également intéressant d'introduire une notion de malus. Il en va de même pour l'Environnement. Actuellement, chaque infrastructure possède son bilan carbone individuel mais aucune ne permet de diminuer celui global de la ville. Il serait intéressant de mettre en place un système permettant d'effacer une partie des nuages de CO<sub>2</sub> avoisinants lorsque serait placée une structure considérée comme bénéfique pour l'Environnement.

### **Agrémenter l'application d'un frontend**

L'application pourrait être enrichie d'un petit frontend qui offrirait des possibilités de modification, d'ajout et de suppression des infrastructures au runtime. Cette fonctionnalité apporterait une plus grande flexibilité à l'activité puisque animateurs et professeurs seraient dès lors en mesure de l'adapter à leurs besoins, en temps réel, et indépendamment de leurs

connaissances en programmation.

Le développement d'une telle fonctionnalité mériterait probablement de proposer une véritable persistance des données. Pour ce faire, la base de données en mémoire H2 que nous utilisons actuellement devra être configurée en fonction ou troquée pour une autre solution de stockage de données.

### **Proposer une sélection de villes plus étendue**

Actuellement, l'application affiche uniquement la carte de la ville de Namur. Une piste d'amélioration possible serait d'établir une connexion à une API publique et de laisser aux utilisateurs le choix de la ville à utiliser au cours de l'activité. Cette fonctionnalité permettrait d'impliquer davantage les élèves en leur proposant d'utiliser leur propre ville comme toile de fond.

OpenStreetMap fournit une API libre accès à ce genre de données et pourrait constituer une piste intéressante afin d'implémenter cette fonctionnalité.

### **Élargir le public cible**

Il serait intéressant que la table s'adapte au public rencontré afin de proposer des interactions plus ou moins complexes en fonction de l'âge des élèves participant à l'atelier. L'activité gagnerait ainsi une valeur ajoutée non négligeable puisqu'elle serait dès lors capable de concerner une tranche beaucoup plus large.

L'architecture logicielle mise en place permet une adaptation facilitée afin de prendre en compte des cas de figure de ce type.

## 7 Conclusion

Ce travail avait pour objectif de transposer une activité existante de placement d'infrastructures sur une carte, depuis l'utilisation d'artefacts en papier vers l'emploi d'une table interactive et de ses objets tangibles. Notre travail devait pallier le manque d'interactivité identifié et fournir des représentations visuelles dynamiques et pertinentes des divers impacts occasionnés par les infrastructures sur leur environnement. Nous devions également nous assurer que la table s'intégrerait dans l'atelier existant et qu'elle ne dégraderait pas ses valeurs éducatives, ludiques et participatives. La problématique était donc de savoir si les tables interactives pouvaient apporter une plus-value au sein d'un atelier de sensibilisation d'un jeune public à la Smart City.

Afin de réaliser ce travail, nous avons essayé dans un premier temps de déterminer l'essence de la Smart City et de ses enjeux. Nous nous sommes intéressés aux jeux existants dont elle est le sujet et avons identifié les dynamiques intéressantes ainsi que celles qu'il était préférable d'éviter. Nous nous sommes alors dirigés vers le domaine des tables interactives. La théorie a été explorée avant de tirer des enseignements de l'étude d'une sélection de tables interactives éducatives. Nous sommes ensuite passés à la phase d'analyse de notre projet, au cours de laquelle nous avons étudié le contexte et les contraintes de réalisation qui nous étaient imposées. La phase de développement a suivi, durant laquelle nous avons présenté nos choix de conception et de réalisation. Une phase d'évaluation nous a finalement permis de vérifier la pertinence de nos choix et de trouver des pistes d'amélioration possibles.

À l'issue de ce travail, nous avons développé une activité pour table interactive dont la toile de fond est la sensibilisation à la Smart City. Le concept que nous proposons permet à un groupe d'utilisateurs de placer des infrastructures tangibles sur la carte numérique d'une ville et d'en constater en temps réel les impacts occasionnés sur l'environnement urbain. Afin de favoriser l'apprentissage, nous avons accordé un soin particulier aux notions d'exploration et de collaboration. Nous avons eu à coeur, tout au long du développement de notre application, de mettre l'accent sur la maintenabilité, l'utilisabilité et la tolérance aux fautes.

L'évaluation qui a été effectuée auprès de deux experts en UX, dont le créateur de l'atelier, s'est soldée par des retours globalement positifs. Ces résultats, bien qu'encourageants, sont toutefois à nuancer. La crise sanitaire traversée au cours de ces derniers mois a fortement impacté notre travail, nous empêchant d'éprouver notre solution dans le contexte physique d'une table interactive.

L'absence d'évaluation auprès d'une classe ne nous permet pas de répondre de manière circonstanciée à la problématique qui avait été posée au départ. La dynamique de placement des infrastructures et des différents filtres n'a pu être testée que par les auteurs en alternant une table mockup et un simulateur. Bien que l'expérience soit suffisante pour mesurer l'in-

fluence de chaque action sur la ville, elle ne nous permet bien sûr pas de mesurer la plus-value d'apprentissage que pourrait offrir notre solution sur un jeune public. La question posée par notre problématique de départ restera donc ouverte tant qu'aucune évaluation en situation réelle n'aura pu avoir lieu.

## Références

- [1] *Gartner hype cycle*. <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. Consultation : octobre 2020.
- [2] *Urban and rural population projected to 2050, world, 1500 to 2050*. Our World in Data, <https://ourworldindata.org/grapher/urban-and-rural-population-2050?stackMode=relative>. Consultation : septembre 2020.
- [3] *World urbanization prospects : The 2018 revision*. United Nations, <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Consultation : juillet 2020.
- [4] *Democracy*. Art of Games, Service Educatif BELvue <https://www.belvue.be/fr/documentation/boite-de-jeu-democracy>, 2008. Consultation : juillet 2020.
- [5] *Cities skyline - green cities*. Colossal Order Ltd., Paradox Interactive, <https://www.citiesskylines.com/fr/expansions/green-cities/>, 2017. Consultation : juillet 2020.
- [6] D. AFRICANO, S. BERG, K. LINDBERGH, P. LUNDHOLM, F. NILBRINK, AND A. PERSSON, *Designing tangible interfaces for children's collaboration*, in CHI'04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2004, pp. 853–868.
- [7] M. AGRAWAL, M. JAIN, V. LUTHRA, A. THARIYAN, AND K. SORATHIA, *Chemicable : Tangible interaction approach for learning chemical bonding*, in Proceedings of the 11th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction, ACM, 2013, pp. 416–421.
- [8] R. AL-AZAWI, F. AL-FALITI, AND M. AL-BLUSHI, *Educational gamification vs. game based learning : Comparative study*, International Journal of Innovation, Management and Technology, 7 (2016), pp. 132–136.
- [9] V. ALBINO, U. BERARDI, AND R. M. DANGELICO, *Smart cities : Definitions, dimensions, performance, and initiatives*, Journal of urban technology, 22 (2015), pp. 3–21.
- [10] A. N. ANTLE AND A. F. WISE, *Getting down to details : Using theories of cognition and learning to inform tangible user interface design*, Interacting with Computers, 25 (2013), pp. 1–20.
- [11] K. ARMINGEON AND K. GUTHMANN, *Democracy in crisis ? the declining support for national democracy in e uropean countries, 2007–2011*, European Journal of Political Research, 53 (2014), pp. 423–442.
- [12] S. R. ARNSTEIN, *A ladder of citizen participation*, Journal of the American Institute of planners, 35 (1969), pp. 216–224.

- [13] Y. AUDIRAC, *Urban shrinkage amid fast metropolitan growth (two faces of contemporary urbanism). paper presented to the future of shrinking cities : Problems, patterns and strategies of urban transformation in a global context, international house, University of California, Berkeley.*, 28 (2012).
- [14] C. BEŞEVLI, E. SALMAN, T. GOKSUN, H. UREY, AND O. ÖZCAN, *Mar-t : Designing a projection-based mixed reality system for nonsymbolic math development of preschoolers : Guided by theories of cognition and learning*, in Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children, ACM, 2019, pp. 280–292.
- [15] A. BRUUN, K. E. JENSEN, D. H. KRISTENSEN, AND J. KJELDSKOV, *Escaping the trough : Towards real-world impact of tabletop research*, International Journal of Human–Computer Interaction, 33 (2017), pp. 77–93.
- [16] W. CASTELNOVO, G. MISURACA, AND A. SAVOLDELLI, *Citizen’s engagement and value co-production in smart and sustainable cities*, in Proceedings of the International Conference on Public Policy, Milan, 2015, pp. 1–16.
- [17] L. CHAWLA, *Evaluating children’s participation : seeking areas of consensus*, PLA Notes, 42 (2001), p. 13.
- [18] H. CHOURABI, T. NAM, S. WALKER, J. R. GIL-GARCIA, S. MELLOULI, K. NAHON, T. A. PARDO, AND H. J. SCHOLL, *Understanding smart cities : An integrative framework*, in Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, 2012, pp. 2289–2297.
- [19] A. CLARINVAL, A. SIMONOFKI, J. HENRY, B. VANDEROSE, AND B. DUMAS, *Introducing the smart city to children : Lessons learned from practical workshops in classes*. Submitted to Journal of Urban Technology.
- [20] M. COLLE AND A.-C. HOEBEKE, *Urbaniste en herbe*. Edition Erasme, [https : //www.editionserasme.be/urbanistes](https://www.editionserasme.be/urbanistes), 2012. Consultation : juillet 2020.
- [21] E. CUNNINGHAM-SABOT, S. FOL, ET AL., *Shrinking cities in france and great britain : A silent process*, The future of shrinking cities : Problems, patterns and strategies of urban transformation in a global context, (2009), pp. 17–28.
- [22] R. P. DAMERI, *Comparing smart and digital city : initiatives and strategies in amsterdam and genoa. are they digital and/or smart ?*, in Smart City, Springer, 2014, pp. 45–88.
- [23] S. DETERDING, D. DIXON, R. KHALED, AND L. NACKE, *From game design elements to gamefulness : Defining "gamification"*, in Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, MindTrek ’11, New York, 2011, ACM, p. 9–15.
- [24] P. DILLENBOURG AND M. EVANS, *Interactive tabletops in education*, International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 6 (2011), pp. 491–514.
- [25] G. M. DOTTI SANI AND B. MAGISTRO, *Increasingly unequal ? the economic crisis, social inequalities and trust in the european parliament in 20 european countries*, European Journal of Political Research, 55 (2016), pp. 246–264.

- [26] V. EGGERMONT, *L'attractivité des tables interactives tangibles dans les environnements accessibles au grand public*, Master's thesis, UNamur, 2019.
- [27] V. FERNANDEZ-ANEZ, G. VELAZQUEZ, F. PEREZ-PRADA, AND A. MONZÓN, *Smart city projects assessment matrix : connecting challenges and actions in the mediterranean region*, Journal of Urban Technology, (2018), pp. 1–25.
- [28] R. FLECK, Y. ROGERS, N. YUILL, P. MARSHALL, A. CARR, J. RICK, AND V. BONNETT, *Actions speak loudly with words : unpacking collaboration around the table*, in Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ACM, 2009, pp. 189–196.
- [29] R. GIFFINGER, C. FERTNER, H. KRAMAR, R. KALASEK, N. MILANOVIĆ, AND E. MEIJERS, *Smart cities - Ranking of European medium-sized cities*, 2007.
- [30] R. GIFFINGER AND H. GUDRUN, *Smart cities ranking : an effective instrument for the positioning of the cities ?*, Architecture, City and Environment, 4 (2010), pp. 7–26.
- [31] A. GRIEVE, *Pretest-posttest designs*, AMERICAN STATISTICIAN, 35 (1981), pp. 177–178.
- [32] R. A. HART ET AL., *Children's participation : From tokenism to citizenship*, tech. rep., 1992.
- [33] S. HENNIG, *Child-and youth-friendly cities : How does and can crowdmapping support their development ?*, Article–revue de sciences humaines, (2019).
- [34] HESPUL, *Ecoville*. ADEME, [http : //www.ecovillelejeu.com/](http://www.ecovillelejeu.com/), 2010. Consultation : juillet 2020.
- [35] S. E. HIGGINS, E. MERCIER, E. BURD, AND A. HATCH, *Multi-touch tables and the relationship with collaborative classroom pedagogies : A synthetic review*, International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 6 (2011), pp. 515–538.
- [36] R. G. HOLLANDS, *Will the real smart city please stand up ? intelligent, progressive or entrepreneurial ?*, City, 12 (2008), pp. 303–320.
- [37] J. HUIZENGA, W. ADMIRAAL, S. AKKERMAN, AND G. T. DAM, *Mobile game-based learning in secondary education : engagement, motivation and learning in a mobile city game*, Journal of Computer Assisted Learning, 25 (2009), pp. 332–344.
- [38] M. HURLBERT AND J. GUPTA, *The split ladder of participation : a diagnostic, strategic, and evaluation tool to assess when participation is necessary*, Environmental Science & Policy, 50 (2015), pp. 100–113.
- [39] A. IOANNOU, *A model of gameful design for learning using interactive tabletops : enactment and evaluation in the socio-emotional education classroom*, Educational Technology Research and Development, 67 (2019), pp. 277–302.
- [40] J. JADÁN-GUERRERO, L. GUERRERO, G. LÓPEZ, D. CÁLIZ, AND J. BRAVO, *Creating tuis using rfid sensors—a case study based on the literacy process of children with down syndrome*, Sensors, 15 (2015), pp. 14845–14863.

- [41] M. KALTENBRUNNER AND R. BENCINA, *reactivision*. [http](http://reactivision.sourceforge.net) : //reactivision.sourceforge.net, 2005. Consultation : novembre 2019.
- [42] M. KALTENBRUNNER AND R. BENCINA, *reactivision : a computer-vision framework for table-based tangible interaction*, in Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction, ACM, 2007, pp. 69–74.
- [43] R. KNIZIA AND S. BLEASDALE, *Prosperity*. Ystari Games, 2013. [https](https://www.jeuxdenim.be/jeu-Prosperty) : //www.jeuxdenim.be/jeu – Prosperity Consultation : juillet 2020.
- [44] S. KUBICKI, S. LEPREUX, AND C. KOLSKI, *Rfid-driven situation awareness on tangisense, a table interacting with tangible objects*, Personal and Ubiquitous Computing, 16 (2012), pp. 1079–1094.
- [45] S. KUBICKI, D. PASCO, AND I. ARNAUD, *Le «jeu des tours» : apprendre les maths sur table interactive avec objets tangibles*, 2015.
- [46] S. KUBICKI, D. PASCO, C. HOAREAU, AND I. ARNAUD, *Utilisation d’une table interactive avec objets tangibles pour apprendre à l’école : études empiriques en milieu écologique*, 2016.
- [47] S. LEPREUX, J. CASTET, N. COUTURE, E. DUBOIS, C. KOLSKI, S. KUBICKI, V. MAQUIL, AND G. RIVIERE, *Interaction tangible sur table, définitions et modèles*, Journal d’Interaction Personne-Système, Volume 5, Number 1 (2016), pp. 1–21.
- [48] L. MALINVERNI AND M.-M. SCHAPER, *An experience-centered framework for designing non-task-oriented embodied interaction environments*, Multimodal Technologies and Interaction, 2 (2018), p. 22.
- [49] V. MAQUIL, E. TOBIAS, D. ANASTASIOU, H. MAYER, AND T. LATOUR, *Copse : Rapidly instantiating problem solving activities based on tangible tabletop interfaces*, Proceedings of the ACM Conference on Human-Computer Interaction, 1 (2017), p. 6.
- [50] A. MONZON, *Smart cities concept and challenges : Bases for the assessment of smart city projects*, in Proceeding of the International Conference on Smart Cities and Green ICT systems, IEEE, 2015, pp. 1–11.
- [51] P. MORENO-GER, D. BURGOS, I. MARTÍNEZ-ORTIZ, J. L. SIERRA, AND B. FERNÁNDEZ-MANJÓN, *Educational game design for online education*, Computers in Human Behavior, 24 (2008), pp. 2530–2540.
- [52] C. NGUYEN, H. BLEUS, AND J. VAN BOCKHAVEN, *Smart city : Le guide pratique de la smart city tome 1*. Smart City Institute, 2017.
- [53] N. ODENDAAL, *Information and communication technology and local governance : Understanding the difference between cities in developed and emerging economies*, Computers, Environment and Urban Systems, 27 (2003), pp. 585–607.
- [54] T. PONTUAL FALCÃO, T. DACKERMANN, M. SCHÜLER, C. ULRICH, A. KLEMKE, AND K. MOELLER, *Tangible tens : Evaluating a training of basic numerical competencies with an interac-*

- tive tabletop*, in Proceedings of the 2018 ACM SIG CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2018, p. 551.
- [55] B. SCHNEIDER, *Combinatorix : A tangible user interface supporting students' discussion of probabilities*.
- [56] B. SCHNEIDER, P. BLIKSTEIN, AND W. MACKAY, *Combinatorix : a tangible user interface that supports collaborative learning of probabilities*, in Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ACM, 2012, pp. 129–132.
- [57] B. SCHNEIDER, E. BUMBACHER, AND P. BLIKSTEIN, *Discovery versus direct instruction : Learning outcomes of two pedagogical models using tangible interfaces*, International Society of the Learning Sciences, Inc. ISLS, 2015.
- [58] B. SCHNEIDER, K. SHARMA, S. CUENDET, G. ZUFFEREY, P. DILLENBOURG, AND R. D. PEA, *3d tangibles facilitate joint visual attention in dyads*, International Society of the Learning Sciences, Inc. ISLS, 2015.
- [59] O. SHAER, E. HORNECKER, ET AL., *Tangible user interfaces : past, present, and future directions*, Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, 3 (2010), pp. 4–137.
- [60] A. SIMONOFSKI, B. DUMAS, AND A. CLARINVAL, *Engaging children in the smart city : A participatory design workshop*, in Proceedings of the 1st ACM SIGSOFT International Workshop on Education through Advanced Software Engineering and Artificial Intelligence, 2019, pp. 1–4.
- [61] J. UNDERKOFFLER AND H. ISHII, *Urp : a luminous-tangible workbench for urban planning and design*, in Proceedings of the ACM SIG CHI conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 1999, pp. 386–393.
- [62] Y. WEN AND W. CHEN, *Chinese character composition game for collaborative language learning*, International Society of the Learning Sciences, Inc. ISLS, 2018.

# Annexes

## A Tableaux des valeurs associées aux infrastructures

ID	FIDUCIAL_ID	NAME	NOISE_SCORE	CO2_SCORE	PRODUCED_ENERGY	CONSUMED_ENERGY
10	0	Parc éolien	30	10	150	10
11	1	Centrale nucléaire	20	100	300	20
12	2	Centre de traitement des déchets	50	20	0	50
13	3	Parc naturel	30	-100	0	0
14	4	Centre commercial	50	100	0	90
15	5	Banque	20	30	0	10
16	6	Poste	20	30	0	10
17	7	Épicerie	10	20	0	20
18	8	Restaurant	50	20	0	20
19	9	Gare de bus	10	20	0	0
20	10	Gare ferrovière	40	20	0	50
21	11	Parking	30	60	0	10
22	12	École	80	30	0	30
23	13	Station de radio	10	40	0	30
24	14	Lieu de culte	20	10	0	10
25	15	Bibliothèque	10	10	0	10
26	16	Théâtre	10	10	0	30
27	17	Maison de repos	10	50	0	20
28	18	Caserne de pompiers	50	30	0	20
29	19	Asile pour sans abris	30	10	0	10
30	20	Cinéma	40	80	0	50
31	21	Parc d'attraction	100	100	0	100
32	22	Hôpital	60	80	0	50
33	23	Police	40	30	0	10
34	24	Tribunal	10	10	0	10
35	25	Maison communale	30	10	0	10

ID	FIDUCIAL_ID	NAME	PRIVATE_ECONOMY	PUBLIC_ECONOMY	HEALTH_SCORE	SECURITY_SCORE
10	0	Parc éolien	50	50	0	0
11	1	Centrale nucléaire	60	40	0	0
12	2	Centre de traitement des déchets	70	30	40	0
13	3	Parc naturel	0	100	20	0
14	4	Centre commercial	100	0	0	0
15	5	Banque	50	50	0	0
16	6	Poste	20	80	0	0
17	7	Épicerie	80	20	0	0
18	8	Restaurant	70	30	0	0
19	9	Gare de bus	20	80	0	0
20	10	Gare ferrovière	20	80	0	0
21	11	Parking	100	0	0	0
22	12	École	30	70	20	20
23	13	Station de radio	50	50	0	20
24	14	Lieu de culte	0	100	0	0
25	15	Bibliothèque	40	60	0	0
26	16	Théâtre	50	50	0	0
27	17	Maison de repos	60	40	60	0
28	18	Caserne de pompiers	0	100	40	50
29	19	Asile pour sans abris	0	100	20	20
30	20	Cinéma	80	20	0	0
31	21	Parc d'attraction	100	0	0	0
32	22	Hôpital	50	50	100	20
33	23	Police	0	100	0	100
34	24	Tribunal	0	100	0	80
35	25	Maison communale	0	100	0	0

ID	FIDUCIAL_ID	NAME	MOBILITY_SCORE	MOBILITY_DECREASED_SCORE	YOUNG_WELLNESS	ADULT_WELLNESS	ELDER_WELLNESS
10	0	Parc éolien	0	0	0.6	0.5	0.5
11	1	Centrale nucléaire	20	0	0.3	0.5	0.5
12	2	Centre de traitement des déchets	50	0	0.6	0.5	0.5
13	3	Parc naturel	10	0	0.8	0.8	0.9
14	4	Centre commercial	100	0	0.9	1	0.3
15	5	Banque	30	0	0.5	0.8	0.7
16	6	Poste	30	0	0.3	0.6	0.9
17	7	Épicerie	30	0	0.6	0.8	0.9
18	8	Restaurant	20	0	0.5	0.9	0.6
19	9	Gare de bus	50	100	0.7	0.6	0.8
20	10	Gare ferrovière	40	100	0.7	0.7	0.7
21	11	Parking	40	100	0.1	1	0.4
22	12	École	70	0	0.8	1	0.3
23	13	Station de radio	10	0	0.7	0.7	0.7
24	14	Lieu de culte	10	0	0.4	0.4	0.7
25	15	Bibliothèque	20	0	0.7	0.5	0.8
26	16	Théâtre	20	0	0.4	0.7	0.8
27	17	Maison de repos	20	0	0.4	0.6	1
28	18	Caserne de pompiers	20	0	0.5	0.7	0.8
29	19	Asile pour sans abris	0	0	0.5	0.4	0.4
30	20	Cinéma	40	0	0.9	0.8	0.6
31	21	Parc d'attraction	100	0	1	0.3	0.1
32	22	Hôpital	90	0	0.6	0.8	1
33	23	Police	30	0	0.4	0.6	0.8
34	24	Tribunal	30	0	0.1	0.5	0.7
35	25	Maison communale	40	0	0.2	0.7	0.6

## B Sketchs papier des filtres





## C Table et application en situation "réelle"

Dans cette annexe nous allons essayer d'illustrer une situation "réelle" en juxtaposant la table et les différentes représentations issues de l'application. Le nombre d'infrastructures présentes (12) correspond au nombre d'infrastructures total que les élèves pourront apposer sur la table. Le but de ces illustrations est de se rendre compte de l'encombrement sur la table et de l'ensemble des visuels que cette dernière peut renvoyer en fonction du filtre apposé. Les infrastructures représentées ont été choisies aléatoirement afin de ne pas présenter une situation idéale. Les infrastructures présentes sont : le parc éolien, le centre de traitement des déchets, le parc naturel, l'école, la gare ferroviaire, la gare des bus, le centre commercial, le théâtre, le cinéma, la centrale nucléaire, le parking et le restaurant.

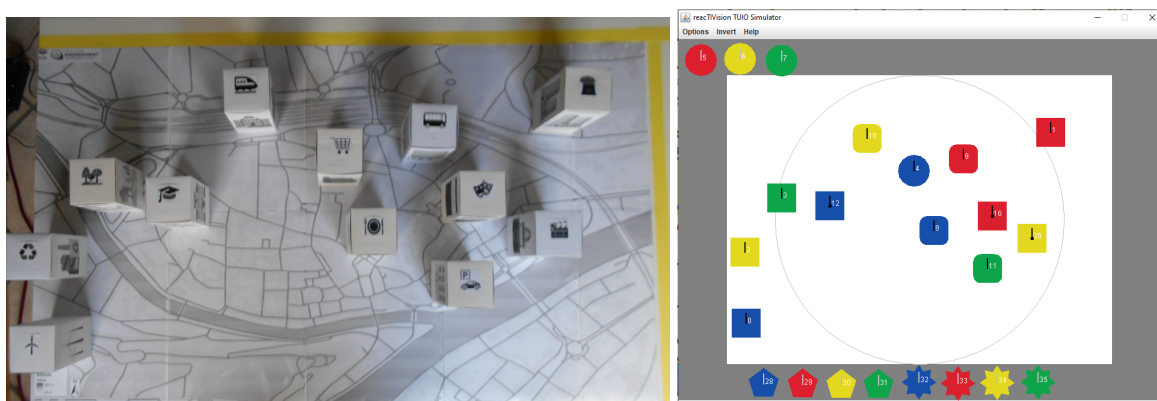


FIGURE 38 – Placement des infrastructures pour la simulation en situation réelle

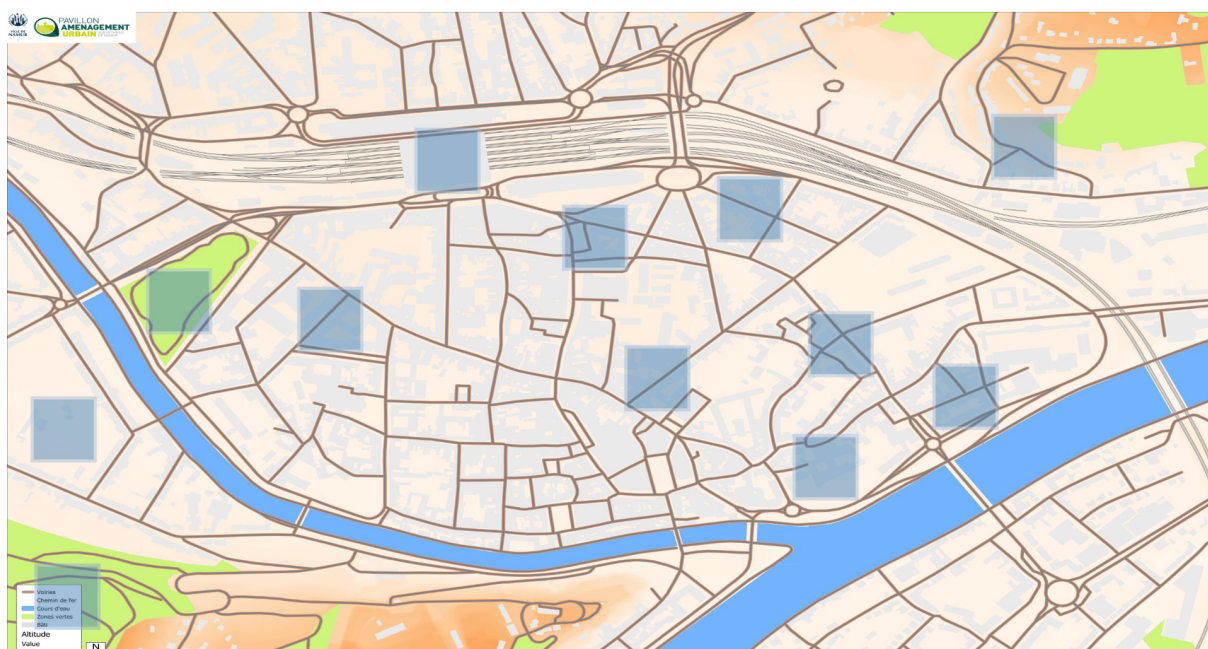


FIGURE 39 – La vue par défaut



FIGURE 40 – La table avec le filtre Environnement

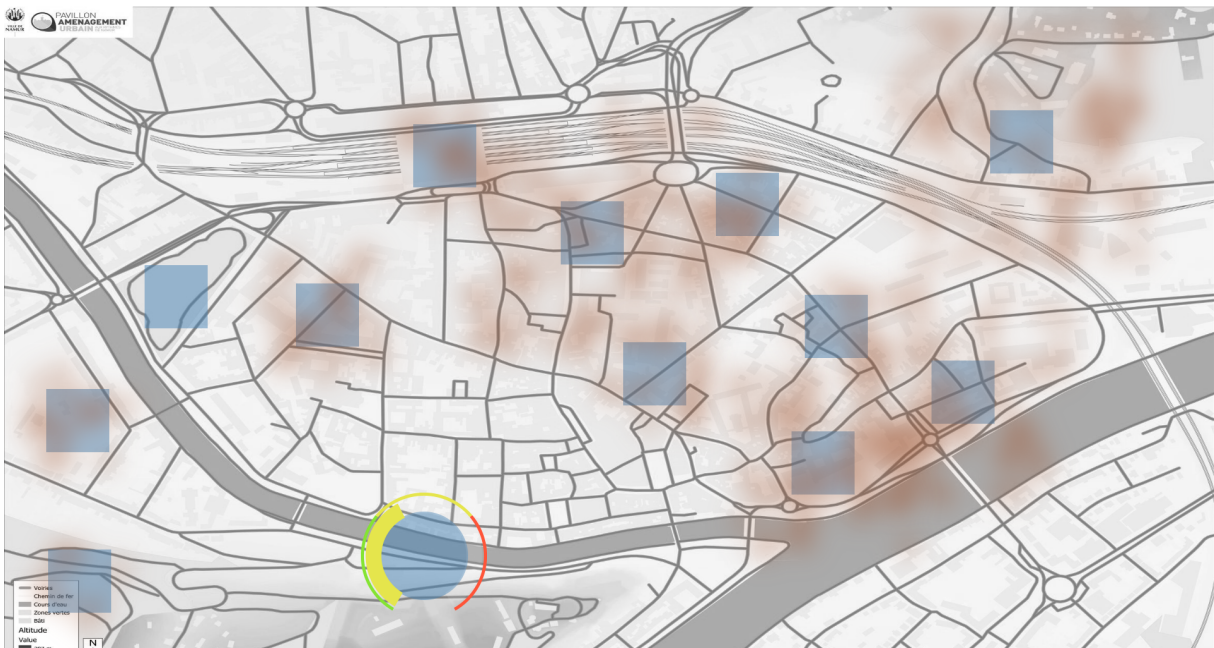


FIGURE 41 – Le filtre Environnement



FIGURE 42 – Le filtre Bien-être



FIGURE 43 – Le filtre Bruit



FIGURE 44 – Le filtre Economie



FIGURE 45 – Le filtre Energie



FIGURE 46 – Le filtre Mobilité



FIGURE 47 – Le filtre Santé



FIGURE 48 – Le filtre Sécurité



FIGURE 49 – La table en présence de plusieurs filtres

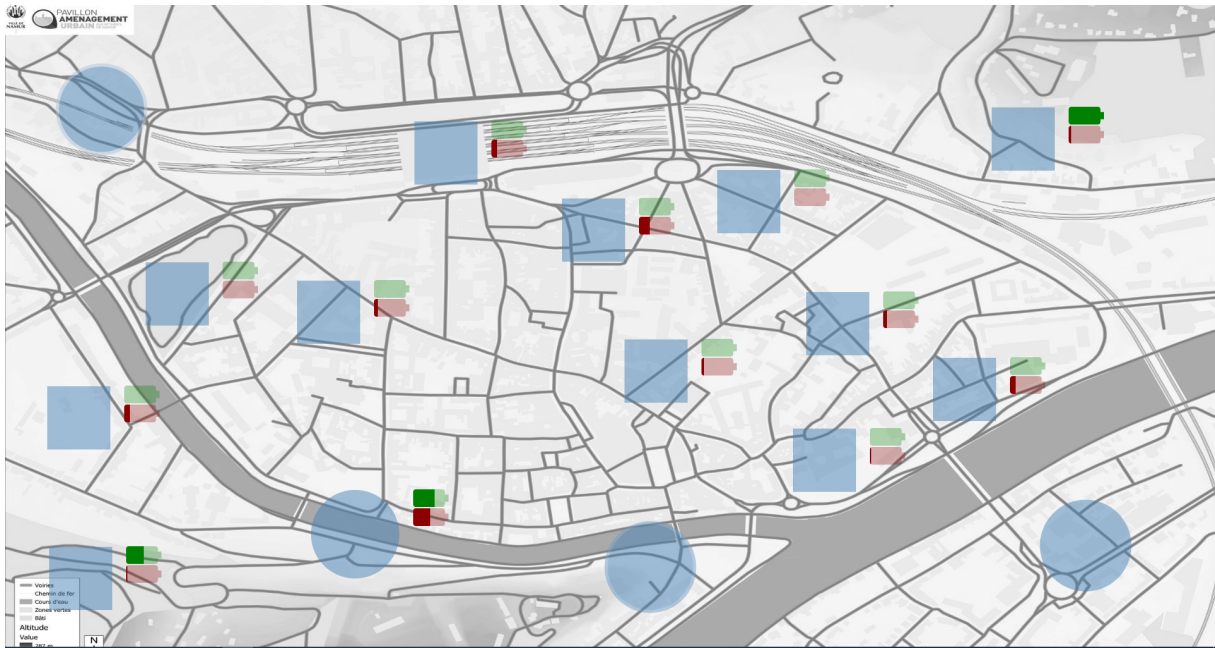


FIGURE 50 – Le filtre Energie avec la présence d'autres filtres

## D Installation de l'application

La commande suivante doit être lancée afin d'ajouter la bibliothèque TUIO à Maven :

```
mvn install:install-file
-Dfile=lib/libTUIO.jar
-DgroupId=org.tuio
-DartifactId=tuio-lib
-Dversion=1.0.0
```

Le fichier *application.properties* peut éventuellement être modifié afin de spécifier des tailles d'écran différentes ou de fournir des informations de connexion à une base de données spécifique. Par défaut, l'application utilise une base de données embarquée H2.

En l'absence d'une véritable table *reactIVision*, l'application peut être testée via le TUIO Simulator. Depuis le répertoire *simulator*, celui-ci peut être lancé grâce à la commande :

```
java -jar TuioSimulator.jar
```