

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES À FINALITÉ SPÉCIALISÉE EN SOFTWARE ENGINEERING

L'attractivité des tables interactives tangibles dans les environnements accessibles au grand public

Eggermont, Valentin

Award date:
2019

Awarding institution:
Université 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.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2018-2019

**L'attractivité des tables interactives tangibles
dans les environnements accessibles au grand
public**

Valentin Eggermont



Maître de stage : Céline GILLIS

Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
Bruno DUMAS

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'accomplissement de mon projet de stage et qui m'ont aidé et soutenu dans la rédaction du présent.

Tous d'abord, je tiens à remercier mon promoteur, Monsieur Bruno DUMAS, pour ses conseils et ses recommandations dans les technologies à utiliser pour la conception de la *Table Périodique*.

Je remercie également ma promotrice de stage, Madame Céline GILLIS, pour son soutien et sa patience dans la réalisation du projet ainsi que sa contribution et ses recommandations sur la conception de l'application de la table et des objets tangibles.

Je salue toute l'équipe du Confluent des Savoirs de l'UNamur pour le soutien témoigné et la bonne humeur dont elle a fait preuve tout au long de mon séjour dans leurs locaux : en particulier, Maxime DUSSONG, pour avoir contribué à la relecture et la correction des informations contenues dans l'application, Jonathan DE COCK pour m'avoir fourni un bureau pour entreposer la table interactive et permis de travailler dessus dans les meilleures conditions possible et Vinciane DE BERGEYCK pour son aide dans les démarches administratives.

Je remercie le TRAKK de Namur pour m'avoir permis d'utiliser leur FabLab pour construire la table ainsi les conseils lors de sa construction.

Enfin, je remercie mon père pour la relecture de ce mémoire.

Résumé

Les tables interactives sont des dispositifs que l'on retrouve de plus en plus dans des expositions accessibles à tous. Elles forment de puissants outils d'apprentissage permettant la collaboration entre utilisateurs. De manière générale, elles ont recours à des méthodes d'interaction multi-tactiles ou tangibles. Les interfaces tangibles, en particulier, apportent un aspect ludique aux tables interactives qui peut intéresser davantage d'utilisateurs dans un contexte d'exposition grand public. Les tables interactives tangibles peuvent ainsi constituer des systèmes interactifs attractifs.

Dans ce mémoire, nous présentons un cas d'étude sur l'attractivité des tables interactives tangibles. Nous cherchons à déterminer si elles sont attractives de manière générale et qu'est-ce qui peut influencer leur attractivité. Nous avons développé, avec le Confluent des Savoirs de l'UNamur, notre propre table interactive, appelé la *Table Périodique*. Cet dernière a été exposée au grand public lors d'une convention principalement destinée aux écoles de l'éducation primaire et secondaire ainsi qu'aux familles mais ouverte à tous, le Printemps des Sciences 2019. La table a pour objectif de permettre aux utilisateurs de consulter diverses informations sur les atomes du tableau périodique et de découvrir des molécules à l'aide d'associations entre ces atomes.

Nous avons observé les différents utilisateurs interagir avec la table pendant une semaine entière, durant toute la durée de la convention, et relevé leurs différentes remarques et réactions permettant d'identifier les points forts et les points faibles de ce projet. Les utilisateurs furent invités à compléter un questionnaire d'évaluation. Leurs réactions ont confirmé notre hypothèse sur l'attractivité des tables interactives tangibles, plusieurs utilisateurs montrant clairement leur intérêt pour la table. Nous avons également essayé de déterminer ce qui peut contribuer ou non à cette attractivité.

Mots-clés : Interface tangible, Table interactive, Système interactif grand public, Tableau périodique.

Abstract

Interactive tabletops are devices that are more and more exhibited in places that are accessible to everyone. They form powerful learning tools allowing collaboration between users. Mostly, they are designed with a multi-touch or tangible interface. Tangible interfaces in particular give some playful properties to interactive tabletops and can interest more users in an exhibition context accessible to all. Thus, tangible interactive tables can constitute attractive interactive systems.

We present in this report a case study of interactive tables' attractiveness. We seek to determine if they are attractive in general and what can influence their attractiveness. In association with the UNamur's Confluence of Knowledge, we developed our own interactive table, called the *Periodic Tabletop*. The table was exhibited in a convention mainly for primary and secondary schools and families but open to all, the Science Spring 2019. It aims to allow users to consult information about atoms from the periodic table of elements and to compose molecules with.

We observed several users interacting with the table for a week, during the whole exhibition's period, and took notes of their remarks and their reactions allowing to identify the strengths and weaknesses of the table. Users were invited to fill out a questionnaire about their appreciation of the table. Their reactions confirmed our hypothesis about tangible interactive tables attractiveness as several users show their interest for the table. We also tried to find how to improve the attractiveness of tangible interactive tables.

Keywords : Tangible interface, Interactive table, Interactive system for the general public, Periodic table.

Table des matières

I	Introduction	6
1	Contexte	7
2	Objet de l'étude et question de la recherche	7
3	Méthodologie	7
II	Etat de l'art	9
1	Les tables interactives existantes	13
1.1	Les tables interactives dans le domaine de l'éducation	13
1.2	Les tables interactives dans d'autres domaines professionnels	16
1.3	Les interfaces appliquées au domaine thérapeutique	17
1.4	Les autres cas d'application	18
1.5	Conclusion	20
2	Les interfaces utilisateurs appliquées dans le domaine de l'apprentissage des sciences	22
3	Les interfaces utilisateurs mises à la disposition du grand public	28
3.1	Les interfaces utilisateurs dans les musées et expositions	28
3.2	Les interfaces utilisateurs en milieu urbain	33
3.3	Conclusion	36
4	Les tables interactives liées à l'apprentissage des sciences dans les espaces grand public	37
III	Développement de La Table Périodique	43
5	Exigences de la table	45
5.1	Contexte	45
5.1.1	La demande du Confluent des Savoirs	45
5.1.2	Le Printemps des Sciences	45
5.2	Exigences fonctionnelles	46
5.3	Exigences non-fonctionnelles	47
6	Conception de la Table Périodique	48
6.1	reacTIVision	48
6.1.1	Architecture générale d'une table reacTIVision	48
6.1.2	Le protocole TUIO	50
6.2	La construction de la table	50
6.2.1	Matériaux	50
6.2.2	Disposition de la table	53

6.3	Conception de l'application	54
6.3.1	La base de données	54
6.3.2	Le client TUIO	54
6.3.3	L'API du second écran	56
7	Résultats	59
7.1	Produit final	59
7.2	Les limites	60
7.3	Conclusion	61
IV	Validation	62
8	Méthode d'évaluation	63
8.1	Observation des participants	63
8.2	Questionnaires	63
9	Résultats de l'observation	65
9.1	Déroulement général de la séance d'observation	65
9.2	Retours de l'impression générale des participants	65
9.2.1	Les fonctionnalités utilisées	65
9.2.2	Les points forts et points faibles relevés auprès des utilisateurs	67
9.3	Résultats des questionnaires	68
V	Discussions	71
10	Discussions par rapport aux observations et aux résultats	73
11	Interprétation des observations et des résultats	75
11.1	Les tables interactives en milieu public peuvent être attrayantes	75
11.2	Qu'est-ce qui peut influencer l'attractivité d'une table	76
11.3	Conclusions et critiques	77
VI	Conclusion et Travaux futurs	78
12	Conclusion	79
13	Travaux futurs	80
13.1	Améliorer la table et le divertissement qu'elle apporte	80
13.2	L'accessibilité de l'information des systèmes destinés l'apprentissage de concepts de chimie	81
13.3	Comparer les interactions tangibles avec les interactions tactiles	81
VII	Annexes	86
A	Schéma de la base de données	87
B	Architecture du client TUIO	88
C	Architecture de l'API du second écran	89
D	Le tableau périodique des éléments conçu pour le Printemps des sciences	90

Première partie

Introduction

1 Contexte

La conception d'interface utilisateur constitue un aspect important dans le développement de systèmes interactifs. Aujourd'hui, les interfaces utilisateurs peuvent prendre différentes formes. On trouve toujours des interfaces traditionnelles sur ordinateur mais certains systèmes informatiques peuvent avoir recours à des interfaces avancées comme des interfaces tangibles, des interfaces basées sur de la réalité augmentée ou sur de la réalité virtuelle ou encore des interfaces tactiles ou multi-tactiles.

Les interfaces tactiles sont d'ailleurs un type d'interface qui s'est banalisé avec l'évolution des appareils mobiles. Elles sont très utilisées pour différents dispositifs (smartphones, tablettes, tables interactives, ...) et ce, dans plusieurs domaines, notamment ceux de l'éducation et de la culture. Ce dernier cherchant à moderniser ses méthodes d'apprentissage, on retrouve de plus en plus ces interfaces. Ainsi, on peut retrouver plusieurs musées mettant tables et tablettes tactiles à disposition des visiteurs pour découvrir plusieurs présentations et parfois même des expositions entières. Les écoles ainsi que les autres organismes d'éducation ont également recours à ce genre de dispositif. Les tables interactives sont notamment très pratiques lorsqu'elles sont utilisées comme outils d'éducation.

Les tables interactives sont d'ailleurs plus adaptées que les tablettes interactives pour les espaces d'exposition publics comme les musées. En effet, les tables offrent une surface d'interaction plus grande permettant une utilisation collective plutôt que l'utilisation individuelle qu'offre une tablette.

Toutefois, certains organismes ont recours à des interfaces utilisateurs un peu plus avancées. On peut retrouver des musées ou des écoles ayant recours à des tables interactives, à une interface tangible ou à de la réalité virtuelle ou augmentée. Cependant, ces types d'interfaces ne sont pas autant ancrés que les interfaces tactiles.

Les interfaces tangibles, bien que moins intégrées que les interfaces tactiles, peuvent permettre des interactions plus naturelles puisqu'elles reposent sur la manipulation d'objets tangibles pour interagir avec le système. Les objets peuvent ainsi représenter des objets du quotidien qui font sens par rapport aux tâches à réaliser. C'est pourquoi, aujourd'hui, il est important d'analyser si les tables interactives utilisant une interface tangible peuvent s'intégrer et attirer des personnes dans les milieux publics comme les musées ou les conventions.

2 Objet de l'étude et question de la recherche

Notre étude se concentre sur le cas des tables interactives tangibles destinées à l'apprentissage des concepts de chimie pour savoir si elles peuvent se démarquer par rapport à d'autres types de systèmes disposés dans des espaces publics. Pour cela, nous cherchons à déterminer si les tables interactives peuvent être considérées comme des systèmes attractifs dans ce domaine.

L'attractivité d'une interface correspond à l'impression générale qu'un utilisateur a de cette interface. Cette dernière est donc considérée comme attractive si l'utilisateur est attiré par son esthétique et la trouve agréable à utiliser.

Afin de déterminer si les interfaces tangibles intégrées aux tables interactives sont attractives, notre recherche a pour objectif de répondre à la problématique suivante : les tables interactives tangibles pour la vulgarisation de concepts basiques de chimie sont-elles attractives et quels éléments peuvent influencer leur attractivité ?

3 Méthodologie

Pour répondre à notre problématique, nous avons réalisé une étude et conçu une table interactive à la demande du Confluent des Savoirs de l'UNamur pour le Printemps des Sciences 2019, une convention à destination des étudiants d'écoles primaires et secondaires et des familles pour leur faire découvrir les sciences. La table consiste en un tableau périodique interactif où les visiteurs peuvent consulter des informations sur ses différents éléments à l'aide d'objets tangibles à déposer sur la table. Pour

améliorer l'aspect ludique, l'utilisateur peut également former des molécules. La table est donc conçue pour être la plus attractive possible.

Cette table fut exposée aux visiteurs de cette convention pendant une semaine. Les utilisateurs pouvant librement utiliser la table, ont pu ensuite répondre à un questionnaire pour nous permettre d'évaluer son attractivité. Leurs réactions et comportements furent également observés et notés afin d'essayer de déterminer les éléments influençant cet aspect.

Ce mémoire est composé principalement de 4 parties. Après cette brève introduction, la seconde partie est l'État de l'art, où nous allons étudier une série de tables interactives existantes, les interfaces utilisées dans le domaine de l'éducation et celles utilisées dans les milieux publics comme les musées ou les centres urbains. La troisième partie présente la table que nous avons développée en collaboration avec le Confluent des Savoirs de l'UNamur, les exigences que cette table devrait remplir, les technologies utilisées et le résultat final du développement de la table. La quatrième partie décrit plus en détails les méthodes d'évaluations utilisées pour valider notre table ainsi que ses résultats. La cinquième et dernière partie concerne les discussions autour de ces résultats et les interprétations que nous pensons pouvoir en déduire.

Deuxième partie

Etat de l'art

Contexte

Notre projet consiste en la conception d'une table interactive disposée dans un espace public et qui permet l'apprentissage de notions en chimie. Cet état de l'art est composé de quatre parties. Les trois premières sont consacrées à des travaux existants dans les différents domaines que couvre notre projet. Le premier chapitre évoque une série de travaux sur les tables interactives existantes. Le deuxième décrit les interfaces qu'on peut retrouver dans les systèmes utilisés dans le domaine de l'apprentissage des sciences. La troisième énumère les différentes interfaces des systèmes disposés dans les espaces publics. Pour terminer, nous analyserons les systèmes liant ces trois domaines et, donc, similaires à notre projet.

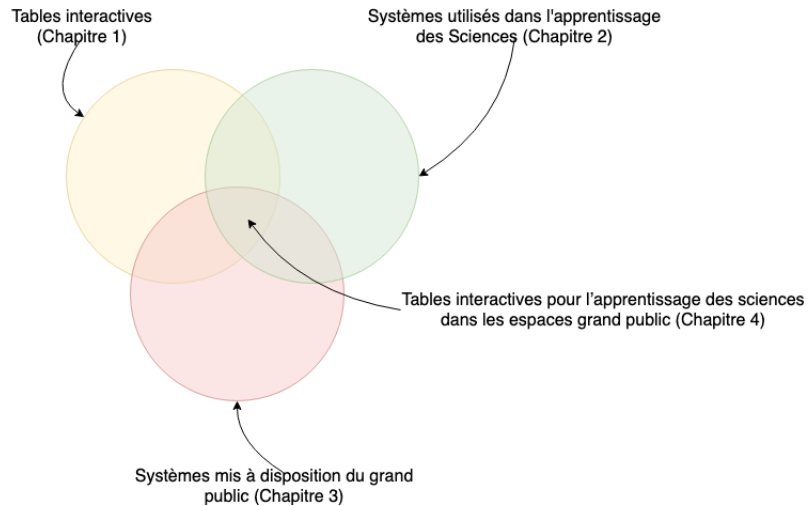


FIGURE 1 – Structure de l'État de l'art

Les tables interactives sont, aujourd'hui, des outils souvent utilisés dans des musées ou plus généralement des expositions. La plupart des travaux existants montrent qu'elles sont assez pratiques pour l'apprentissage en groupe. Toutefois, les domaines des interfaces sur l'apprentissage des sciences et des interfaces disposées dans les espaces publics montrent plusieurs autres travaux utilisant d'autres interfaces et d'autres technologies. Beaucoup de ces interfaces ont, de nos jours, recours à des méthodes avancées afin d'immerger le plus possible l'utilisateur dans son expérience. Avant de présenter les différents systèmes, il est donc important de définir ces méthodes d'interaction. Nous retrouverons également dans cette État de l'art des cas d'application utilisant des technologies avancées comme la réalité augmentée ou la réalité virtuelle.

Définitions

De multiples types d'interfaces sont utilisées dans le domaine de l'éducation des sciences ainsi que de celui des systèmes disposés dans les espaces publics. Ces interfaces peuvent avoir différents supports. Parmi ces supports, on retrouve les tables interactives [26].

Avec l'évolution de l'informatique qui est devenue de plus en plus omniprésente dans notre quotidien, un nouveau type de support est apparu pour permettre aux systèmes informatiques de mieux s'intégrer dans le monde réel : les surfaces interactives. Comme son nom l'indique, une surface interactive est une surface sur laquelle une personne peut obtenir un service en interagissant avec elle. Ce type de support peut prendre différentes formes comme un mur, un sol, une borne ou encore une table. Une table interactive est donc une surface avec laquelle un utilisateur peut interagir pour obtenir un service numérisé.

On peut distinguer trois types de tables interactives en fonction du type d'interface qu'elle utilise :

les tables multi-tactiles (également appelées "multi-touch") qui utilisent des interactions tactiles, les tables tangibles qui utilisent des interactions tangibles à l'aide d'objets et, enfin, celles qui mélangent les deux types d'interactions précédentes.

Une autre caractéristique qui permet de distinguer les tables entre elles est leur utilité. Il existe des tables qui permettent de remplacer un bureau (*Digital desks*), d'autres permettant de consulter des médias dans un environnement de réalité virtuelle (*Workbenches*), des tables de dessins en version numérique utilisées par les dessinateurs professionnels (*Drafting tables*) et, enfin, des tables collaboratives utilisées pour soutenir des activités de groupes. C'est dans cette dernière classe que nous retrouvons le plus souvent des tables interactives comparables à la démarche de notre projet.

Parmi les méthodes d'interactions avancées, on retrouve les interfaces tangibles et les interfaces tactiles. Certaines tables ont également recours à de la réalité augmentée. Certaines interfaces, comme celles dans les musées, peuvent aussi utiliser de la réalité virtuelle.

Les interfaces tactiles permettent aux utilisateurs d'interagir avec un système à l'aide du toucher. Ces interfaces sont aujourd'hui très répandues avec l'utilisation de plus en plus fréquentes des smartphones et des tablettes. Dans ces interfaces, l'utilisateur touche la surface de l'écran avec son doigt, le déplace ou le relâche pour manipuler l'information. Les interfaces multi-tactiles sont des interfaces qui peuvent gérer plusieurs interactions tactiles simultanément [3].

Les interfaces tangibles quant à elles ont recours à des objets physiques comme moyen d'interaction. En manipulant les objets, l'utilisateur peut interagir avec le système et manipuler l'information numérique. On peut trouver différents types d'objets tangibles utilisés pour ces interfaces. Les *tokens* sont des objets qui représentent un élément numérique précis dans le système qui ne change pas. À l'inverse, les *containers* sont des objets qui peuvent représenter n'importe quel type d'élément numérique et dont l'élément associé peut changer au cours des interactions avec le système. Ils sont souvent utilisés pour transporter l'information numérique d'un dispositif à l'autre. Enfin, un objet peut également représenter un outil. Dans ce cas, l'objet ne représente pas un élément numérique du système mais une fonction que le système peut exécuter.

Il existe plusieurs méthodes pour construire des interfaces tangibles. Régulièrement, cela consiste à utiliser des composants électroniques comme des capteurs, des senseurs ou encore des micro-contrôleurs. On peut aussi retrouver des interfaces tangibles qui utilisent une caméra pour identifier les objets tangibles.

Un élément important dans la conception d'objets tangibles est la métaphore d'un objet. Un objet tangible représente généralement un objet réel et son aspect doit permettre de déterminer ce qu'il représente réellement. Il existe plusieurs types de métaphore. Un objet basé sur une métaphore du nom, par exemple, a une forte ressemblance avec l'objet qu'il représente réellement. Un objet basé sur une métaphore du verbe agit comme l'objet qu'il représente.

La réalité augmentée et la réalité virtuelle sont deux manières de représenter de l'information numérique qui ont l'air assez similaires, du fait que l'information numérique peut prendre la même forme dans les deux cas, mais qui sont différentes et forment même deux extrêmes qui s'opposent. Ces extrêmes correspondent aux mondes dans lesquels l'information peut être diffusée et dans lesquels l'utilisateur se trouve pour interagir directement avec cette information.

La réalité augmentée correspond à l'extrême où l'information numérique est diffusée directement dans le monde réel. Cette représentation de l'information dans le monde réel peut prendre différentes formes puisqu'il est impossible de reproduire en réel de l'information numérique dans le monde réel. L'information augmentée peut être diffusée à l'aide de *Video Compositing* où elle est superposée sur une reproduction vidéo de la scène réelle où elle doit apparaître. Un autre cas consiste à projeter directement l'information à l'aide d'un projecteur. Enfin, une dernière forme consiste à utiliser un dispositif qui sert de lentille où sont affichées les informations augmentées.

La réalité virtuelle correspond à l'extrême où l'information numérique est diffusée dans un monde virtuel et l'utilisateur peut la consulter à l'aide de différentes technologies lui permettant d'être intégré dans ce monde virtuel et d'interagir avec lui. Aujourd'hui, quand on parle de réalité virtuelle, on évoque plus souvent la réalité virtuelle immersive, c'est-à-dire que l'utilisateur, à l'aide de technologies avancées, peut interagir avec le monde virtuel comme s'il en faisait partie. Toutefois, la réalité virtuelle,

en plus de comprendre les environnements immersifs, comprend également les environnements non immersifs. Ces mondes sont bien des mondes virtuels mais l'utilisateur interagit en restant externe à ce monde. Un exemple typique de monde virtuel non immersif est tout simplement le jeu vidéo. Le joueur interagit avec un monde virtuel qui est l'univers du jeu mais ses interactions sont externes au jeu. Pour les réalités virtuelles immersives, il existe plusieurs technologies permettant d'être intégré dans un monde virtuel : la plus connue actuellement est le casque de réalité virtuelle. L'utilisateur voit le monde virtuel à travers le casque et peut l'explorer comme s'il explorait le monde réel.

Chapitre 1

Les tables interactives existantes

Les tables interactives sont utilisées dans beaucoup de domaines et il est important d'analyser quels bénéfices leurs utilisateurs peuvent en tirer. Nous allons voir différents types de tables que l'on peut trouver dans ce domaine et ce qui peut les caractériser.

Il peut toutefois être utile, dans ce chapitre-ci, d'explorer également d'autres domaines où les tables interactives peuvent être utilisées. En effet, on peut trouver certains bénéfices qui ne seraient pas relevés dans le domaine de l'éducation et trouver d'autres cas d'application intéressants qui pourraient orienter notre étude. Ainsi, nous explorerons également le domaine thérapeutique et d'autres domaines professionnels. Enfin, nous terminerons par explorer des cas d'applications qui appartiennent plus au domaine ludique car, grâce à la conception de la plupart de leurs tables qui est beaucoup plus portée sur l'amusement et l'attraction de l'interface que sur l'efficacité des tâches à réaliser, on peut déceler des caractéristiques déterminantes de l'attractivité des tables interactives.

1.1 Les tables interactives dans le domaine de l'éducation

Les tables interactives sont très utilisées dans le domaine de l'éducation. En effet, plusieurs recherches ont déjà été effectuées dans ce domaine afin d'évaluer si ce genre de technologie pouvait favoriser l'éducation.

On peut retrouver deux types d'endroits où les tables interactives sont conçues dans un objectif éducatif : les écoles et les musées. Dans cette partie, nous présenterons principalement les tables que l'on peut retrouver dans les écoles. Les tables exposées dans les musées sont présentées dans le chapitre sur les interfaces utilisateurs dans les espaces grand public (cfr Chapitre 3).

Dans les écoles, on retrouve principalement des tables interactives utilisant des interfaces tangibles.

Les tables interactives montrent ainsi leurs avantages en ce qui concerne la collaboration entre étudiants pour réaliser certaines tâches et apprendre certains concepts. Elles sont également plus efficaces que les méthodes traditionnelles d'apprentissage.

Les cas d'applications les plus connus sont les tables TangiSense mais il en existe d'autres et elles peuvent être utilisées aussi bien pour apprendre aux enfants des notions basiques que pour apprendre des notions plus compliquées comme la programmation à des étudiants plus âgés.

Les tables TangiSense et TangiSense2

Les tables TangiSense et TangiSense2 sont des tables interactives dont la surface est couverte de capteurs RFID et dont les objets tangibles sont munis d'un capteur RFID. La première table, TangiSense est composée de 25 dalles de $2,5cm^2$ sur une surface carrée totale de $1m^2$. Chaque dalle est composé de 64 antennes RFID [28].

La table TangiSense2 est une version améliorée de la table TangiSense. Sa principale nouveauté est qu'elle possède un écran permettant d'afficher de l'information virtuelle pouvant être modifiée grâce

aux éléments tangibles [29]. Toutefois, cette table est composée de 24 dalles de plus grande taille que celles de la version précédente (3,75cm au lieu de 2,5cm) et contiennent chacune 16 antennes RFID au lieu de 64. Elle est donc un peu plus limitée au niveau du nombre d'antennes RFID.

Ces deux tables ont déjà été utilisées dans le milieu scolaire afin de permettre à des étudiants d'apprendre de manière plus ludique.

Apprendre les couleurs avec la table TangiSense [27]

Une étude a été réalisée pour voir les effets que la table TangiSense pouvait avoir en milieu scolaire et si elle pouvait faciliter l'enseignement aux étudiants.

Pour évaluer cette table, une application d'apprentissage et de reconnaissance des couleurs a été conçue. Les objets tangibles sont associés à des dessins non coloriés. Plusieurs zones de couleur sont définies sur la table et les étudiants doivent placer les objets dans les zones en fonction de la véritable couleur des dessins.

À l'évaluation de la table testée par des écoliers de maternelle, il a été observé qu'elle incite les enfants à travailler en groupe et à tirer parti des explications des enseignants. D'autre part, les enseignants ont admis que la table facilite bien le travail individuel d'un enfant bien que, selon eux, elle ne favorise pas le travail en groupe.

Le Jeu des Tours de la table TangiSense2 [29]

Une étude a été menée en Bretagne sur l'utilisabilité des tables interactives en milieu scolaire. Pour cela, un jeu a été développé pour la table TangiSense2.

Le *Jeu des Tours* utilisé pour cette étude est un jeu où les enfants placent des tours sur une grille entourée de chiffres, les objectifs pédagogiques de ce jeu étant d'apprendre aux enfants le raisonnement spatial.

Les règles du jeu sont simples. Il y a 3 jeux de 3 tours : 3 tours de grande taille, 3 tours de taille moyenne et 3 tours de petite taille. Le jeu génère les numéros autour de la grille et les enfants doivent disposer les tours de manière à ce que, pour chaque nombre devant une ligne de grille, on ne puisse voir que le même nombre de tours sur cette ligne, en sachant qu'une tour positionnée derrière une tour plus grande n'est pas visible.

Dans cette étude, deux expériences ont été menées afin de pouvoir étudier l'effet des interfaces tangibles et des tables interactives sur les jeunes élèves.

Une première avait pour objectif d'observer les différences qu'on retrouvait chez les enfants entre le jeu sous un format traditionnel et le jeu sous le format utilisé avec la table TangiSense2. Il en ressort que bien que les élèves utilisant la table interactive aient une évolution bien plus significative que ceux qui utilisaient le format traditionnel, il était encore trop tôt pour conclure que les tables interactives sont de meilleurs outils d'apprentissage que les formats traditionnels, incitant donc les chercheurs à progresser dans leurs expériences.

Une deuxième expérience a ensuite été menée afin d'approfondir les recherches menées sur le groupe ayant utilisé la table interactive lors de la première expérience. Trois jeux leur ont été alors présentés. Il en résulte que le temps passé à résoudre une grille de jeu décroît après avoir résolu la précédente grille. De même, il a été constaté que les élèves utilisaient un quart de leur temps à déplacer les tours pour résoudre une grille. Une forte participation verbale des enfants fut aussi remarquée.

Dans les conclusions émises par cette recherche, les auteurs expliquent que les résultats positifs peuvent être dus au fait que les interfaces tangibles seraient plus bénéfiques pour les enfants. De par la participation verbale des étudiants, on remarque, comme dans beaucoup d'études sur ce genre d'interface, une collaboration certaine.

Les tables *TangiSense* et *TangiSense2* sont des tables interactives utilisant une technologie différente de notre cas. En effet, plutôt que d'avoir recours à une détection d'objets tangibles à l'aide de capteurs RFID, nous avons opté pour une détection d'objet par reconnaissance vidéo d'images. Le

principal avantage par rapport aux capteurs RFID est qu'elle permet de détecter la position exacte des objets déposés.

Quand les interfaces tangibles contribuent à la collaboration entre étudiants [4]

Une étude publiée en 2004 présente un cas d'application d'interface tangible en milieu scolaire. Cette interface consiste en l'utilisation d'un dispositif, *Eli the Explorer*, sur lequel les étudiants peuvent déposer des objets et collaborer afin de résoudre des problèmes.

Le dispositif se présente donc comme une table interactive, le *Teleporter*, sur laquelle jusqu'à trois étudiants peuvent travailler. Plusieurs outils sont utilisés pour interagir avec la table. Chaque utilisateur dispose d'un robot, appelé *Eli*, qui lui permet de s'identifier. La table est également équipée de cartes à déposer dessus et qui servent de données d'entrées. Pour finir, un appareil photo est utilisé pour prendre des clichés servant également de données d'entrées pour la table.

Cette étude explique que, grâce à la communication, les enfants apprennent de nouvelles compétences par imitation de leurs camarades. Leurs observations montrent que les élèves préfèrent travailler en groupe pour apprendre. Toutefois, les ordinateurs sont souvent utilisés pour un apprentissage individuel et la plupart des médias d'apprentissage ne supportent pas les interactions sociales.

Le but de la recherche est ainsi d'observer si le nouveau dispositif et les interfaces tangibles en général peuvent contribuer à la collaboration entre étudiants. Pour cela, l'étude s'est concentrée sur 6 variables évaluées lors d'un test final sur cette table : l'interactivité, la collaboration, la discussion verbale, l'engagement, la motivation et le plaisir éprouvé à utiliser la table.

Le test a donné des résultats plutôt positifs. La collaboration entre les enfants se manifeste sur environ un tiers du temps. Il a également été constaté que la motivation et le plaisir éprouvé par les enfants étaient au plus haut. Enfin, l'évaluation sur l'interactivité et sur l'engagement montre que la table ne fut inactive qu'un tiers du temps ; deux enfants n'utilisaient la table en même temps qu'environ 20% du temps et trois enfants utilisaient la table en même temps environ 10% du temps.

Ce cas de table interactive est principalement centré sur la collaboration entre étudiants et son aspect ludique est même relativement bien développé puisque la table devient ce que l'on pourrait appeler un jeu éducatif. Certains éléments de cette table sont également repris dans notre projet puisqu'une des fonctionnalités consiste à former des molécules à l'aide de palettes faisant office d'atomes. Les utilisateurs peuvent ainsi déposer des palettes sur la table de la même manière que les enfants déposent des cartes sur la table *Eli the Explorer*.

Quand une table interactive permet elle-même de programmer [21]

Une table permettant d'apprendre la programmation aux plus jeunes a été construite pour le Musée des Sciences de Boston en 2008.

L'origine du projet vient du constat que l'apprentissage par ordinateur encourage moins à un apprentissage en groupe, comme on peut le constater dans les musées, qu'à une isolation de l'individu à apprendre grâce à des interactions, seul avec l'ordinateur. Le besoin d'une interface tangible alternative à cet apprentissage par ordinateur est justifié puisqu'elle combine les capacités technologiques des ordinateurs aux interactions physiques qu'on peut retrouver dans les groupes sociaux d'apprentissage.

Le principe de la table est simple : des objets en forme de pièce de puzzle sont à déposer et à assembler sur la table pour programmer le comportement d'un robot virtuel. Chaque objet représente une instruction et chaque couleur sur la surface d'un objet représente un type d'instruction (un objet bleu représente une instruction de mouvement pour le robot, par exemple).

Plusieurs paramètres ont été analysés lors de l'étude qui a suivi l'implémentation de la table. Tous d'abord, l'attractivité de l'interface qui s'est avérée assez forte puisque la plupart des personnes ont remarqué la table durant leur visite au musée. Parmi ces personnes, une bonne partie ont interagi avec la table. Le deuxième paramètre fut les interactions en groupe qui fut mesuré en calculant la moyenne de personnes interagissant ensemble sur la table. Les résultats montrent ainsi une certaine interaction de groupe puisqu'on retrouvait en moyenne 2 à 3 personnes interagissant avec la table de façon passive

ou active. L'appréhension, quant à elle, donne des résultats moyens puisqu'un peu plus de la moitié des groupes de tests ont compris comment utiliser la table. L'engagement donne de bons résultats pour les groupes ayant facilement compris le fonctionnement de la table mais de moins bons en ce qui concerne ceux qui n'ont pas compris.

Ce n'est pas la seule table interactive d'apprentissage à la programmation. On peut citer la Turtle-Table, une table interactive pour que les étudiants puissent mieux assimiler les notions de programmation [20]. Les observations ont montré que cette table a effectivement permis une meilleure assimilation des notions les plus complexes mais aussi, à nouveau, que la table encourage les étudiants à collaborer.

Une idée de conception efficace pour cette table est la forme des objets qui prennent l'apparence de pièces de puzzle. Elle permet de rendre les associations entre objets tangibles plus évidentes. Cette idée de conception n'a pas été reprise pour notre projet mais pourrait faire partie des améliorations possibles pour une prochaine version de la table que nous avons conçue.

1.2 Les tables interactives dans d'autres domaines professionnels

Un autre cas d'utilisation des interfaces tangibles sont les interfaces conçues pour les experts.

La table des géophysiciens [12]

La table *GeoTUI* a été réalisée dans le but d'assister les géophysiciens dans leur tâche de modéliser des sous-sols susceptibles de comporter un gisement de pétrole de manière plus simple qu'en ayant recours à des méthodes d'interactions traditionnelles.

Cette table permet de visualiser des plans de coupe du modèle 3D d'un sous-sol. Le modèle étant représenté sur la table, l'utilisateur doit sélectionner un plan de coupe du modèle pour le visualiser. Des outils pour réaliser une ligne de coupe afin de définir un plan ont été conçus. Le premier est une souris avec laquelle on peut sélectionner deux points d'une ligne de coupe. Le deuxième est un palet utilisé de la même manière pour sélectionner deux points de la ligne. Le troisième consiste en l'utilisation de deux palets, chacun représentant un point de la ligne. Enfin, le dernier est une règle permettant de tracer une partie de la ligne. En plus de ces différents outils, un dispositif supplémentaire avec des boutons a été ajouté pour permettre à l'utilisateur de valider son choix. Il s'est avéré que, lors de tests réalisés afin de qualifier ces outils, la règle fut la mieux notée par les utilisateurs.

Il s'agit d'une première application d'interface tangible au domaine de la Geo-Science. L'interface combine ainsi les avantages des méthodes de travail traditionnelles sur papier et les avantages de l'utilisation de logiciel de simulations.

Une étude a déjà été menée en 2006 [11] afin de déterminer la faisabilité d'une telle interface dans l'analyse de sous-sol. Bien qu'elle permette aux géophysiciens de se concentrer sur leur tâche métier et moins sur la manipulation d'outils qu'avec des outils traditionnels, le système reste limité en terme de précision et des améliorations restaient à faire.

Le recours à des objets tangibles comme des outils est particulièrement pratique pour les systèmes professionnels.

Une table pour la gestion du trafic routier

La table *TangiSense2* n'a pas seulement été utilisée pour l'apprentissage comme son prédécesseur. On a, par exemple, un cas d'application dans la gestion de trafic routier [38]. Cette table permet de faire des simulations.

Les objets à déposer sur la table représentent des signalisations, les véhicules et la circulation apparaissant virtuellement sur l'écran de la table qui affiche une carte routière. La circulation des véhicules se fait automatiquement et les utilisateurs peuvent observer les effets sur le trafic lorsqu'ils déposent des signalisations à tel ou tel endroit.

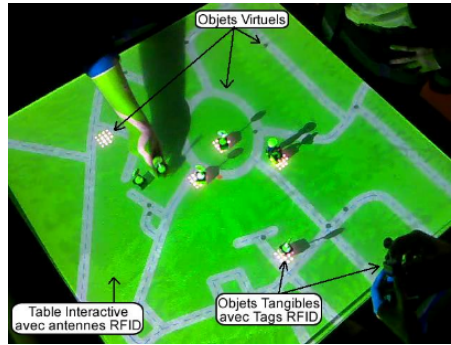


FIGURE 1.1 – La table permet de déposer des objets de signalisation, la simulation du trafic routier s’adaptant aux objets sur la table

La particularité de ce cas d’application est qu’il est utilisé pour la collaboration à distance puisque plusieurs tables sont connectées entre elles. Ainsi lorsqu’un objet est déposé sur une table, l’action va avoir un impact sur les autres tables connectées qui ont un visuel sur l’endroit où l’objet a été déposé.

De nouveau, ce genre d’application de la table TangiSense montre à quel point ce genre d’interface peut servir à la collaboration de groupe puisque le fait de connecter les tables ensemble permet aux utilisateurs aussi bien proches que distants d’analyser ensemble un problème donné et de coopérer pour le résoudre.

La planification d’urbanisme avec la ColorTable [38]

La ColorTable est une simple table interactive où les objets déposés sont de forme basique et de couleurs différentes et servent à la définition d’éléments dans une zone urbaine. Ainsi, un objet représente un élément architectural ou atmosphérique et peut être déposé sur un plan urbain diffusé par un vidéo projecteur fixé au dessus de la table. De même, une caméra est disposée à côté du projecteur pour détecter les objets.

L’application derrière cette table consiste à projeter sur des écrans verticaux différents points de vue de conception. En déposant un objet sur une table, on peut, par exemple, avoir une visualisation 3D de la zone urbaine avec l’objet déposé sur le plan qui apparaît dans la visualisation.

Les recherches concernant cette table ont ici montré qu’elle a permis à ses utilisateurs de planifier l’urbanisme d’une manière qui est approuvée par les experts urbains. Les recherches ont permis de découvrir également des limites dans ce genre de cas d’application. Notamment, les objets physiques, ne pouvant pas changer de formes, peuvent apporter certains problèmes de cohérence avec leur représentation virtuelle.

On est donc dans un cas où le design des objets tangibles pourrait être mieux pensé. Des objets modifiables ou une plus grande variété d’objets auraient été préférables pour pallier à ces limites.

1.3 Les interfaces appliquées au domaine thérapeutique

On peut retrouver également des recherches dans l’application des interfaces tangibles et tables interactives au domaine thérapeutique. Ces recherches portent avant tout sur l’efficacité d’une interface à contribuer au traitement d’un patient et au bien-être qu’elle lui apporte. L’attractivité est donc privilégiée dans la construction d’une interface remplissant ces objectifs. On peut citer plusieurs exemples d’applications comme le traitement des personnes atteintes de démences à l’aide d’objets tangibles.

Mémoires tangibles [35]

Une étude réalisée par l'Université Furtwangen en Allemagne a observé les interactions que pouvaient avoir les personnes atteintes de démence. La conception de la table était plus orientée sur le bien-être à apporter à ces personnes que sur des bénéfices thérapeutiques potentiels par rapport aux méthodes traditionnelles. Un de leurs objectifs était, à l'aide d'une table interactive pouvant supporter les interactions de plusieurs personnes, de voir si ce genre d'interface convient à un tel public et notamment quels facteurs affectent l'utilisation des surfaces digitales dans la facilité des soins. D'autre part, l'étude avait également pour objectif d'analyser le bien-être des personnes atteintes de démence.

Il a été observé que les surfaces interactives utilisées dans cette étude améliorent le bien-être des participants qui trouvent un certain divertissement dans ces interfaces, notamment quand les sujets traités ont un intérêt pour eux.

Un autre effet considérable est la communication améliorée entre les membres du groupe.

Toutefois, les participants avaient besoin d'un certain support de la part des aide-soignants et, tout comme ils s'investissaient dans les interactions lorsqu'ils percevaient un bénéfice personnel, ils avaient également du mal à s'impliquer si les interactions ne rencontraient pas leurs intérêts.

1.4 Les autres cas d'application

On peut également retrouver des interfaces à but principalement ludique. Une bonne partie d'entre elles ont principalement pour objectif d'encourager la collaboration afin de réaliser des tâches ludiques. On peut citer notamment la *reacTable*, une table interactive permettant à ses utilisateurs de produire de la musique en groupe.

D'autres tables permettent tout simplement de jouer à un jeu dans des conditions plus particulières, comme la table *Playtogether* qui permet à plusieurs utilisateurs distants de jouer à un jeu de société.

La *reacTable* [24]

Un des exemples les plus connus de table interactive est la *reacTable*.

Une étude réalisée par l'Université Pompeu Fabra ¹montre ainsi la synergie entre les performances que l'on peut réaliser en musique et les interfaces tangibles basées sur table interactive.

La base de la conception de la *reacTable* est de créer un outil pour produire de la musique qui puisse convenir aussi bien à un utilisateur professionnel qu'à un utilisateur occasionnel non expérimenté. La construction est simple en matière de conception de table interactive : une table ronde avec une surface transparente éclairée en dessous de laquelle est projeté un écran. Les utilisateurs peuvent ainsi jouer différents instruments représentés par des cubes que l'on dépose sur la table. Chaque cube est identifié à l'aide d'un tag très semblable à un QR Code appelé *fiducial*. Ainsi, en déposant un cube sur la table, un son est produit et l'utilisateur peut faire varier ce son en effectuant des rotations avec ce cube ou encore en le déplaçant.



FIGURE 1.2 – La table interactive *reacTable*²

Les utilisateurs peuvent se mettre à plusieurs pour produire de la musique en déposant plusieurs objets de forme cubique ou cylindrique sur la table. Ces objets peuvent être tournés dans des sens différents pour produire des sons différents.

Cette table interactive a été étudiée et présentée à plusieurs conférences. Cela leur a permis d'observer un grand nombre d'utilisateurs de différents genres. Selon l'article de l'Université Pompeu Fabra, les observations faites montrent des résultats très positifs. La table s'avère être un outil très distrayant même sans être totalement compris. Il a été estimé que les utilisateurs commençaient à comprendre le fonctionnement après 5 à 10 minutes d'interaction. De plus, la plupart des utilisateurs passant plus de 5 minutes à utiliser la table finissaient par en devenir dépendants.

Les études ont montré que les interfaces tangibles, et spécialement les interfaces tangibles sur tables, peuvent répondre à beaucoup de besoins de performances musicales sur ordinateur. Comme beaucoup d'interfaces sur table interactive, la *reactTable* permet à ses utilisateurs de travailler en collaboration. Elle facilite également l'interaction de l'utilisateur et la rend plus naturelle.

Les conclusions de cette étude expliquent aussi que ce genre d'interface stimule la créativité des utilisateurs, tant experts que novices.

La *reactTable* est une référence de base pour notre projet puisque c'est sa technologie qui fut choisie pour la conception de notre table. L'efficacité de cette technologie nous permet de concevoir des interfaces tangibles facilement. Nous nous sommes inspirés du design de l'interface de la *reactTable* pour la conception notre propre table.

La table *PlayTogether* [46]

La table *Playtogether* a été conçue dans le but de permettre à ses utilisateurs de jouer à distance à des jeux d'échecs, de dames ou d'autres jeux de société.

Elle se présente donc comme une table où une reproduction vidéo de l'espace de jeu du joueur adverse est diffusé sur la surface de la table. Le joueur peut ainsi y déposer son propre espace de jeu, le système synchronisant automatiquement les espaces de jeu et la reproduction vidéo de chacun (cfr. Figure 2.2).

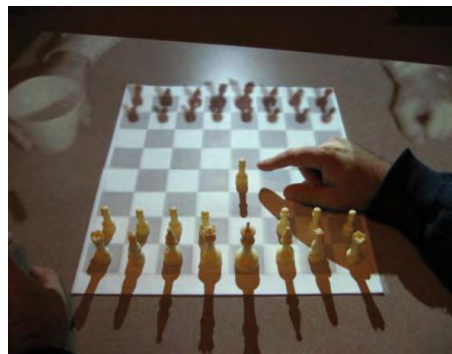


FIGURE 1.3 – La table *Playtogether* permet à ses utilisateurs de jouer ensemble à distance par reproduction vidéo

Les principales composantes de la table sont les suivantes : un projecteur pour projeter la reproduction vidéo des espaces des joueurs adverses ainsi qu'une caméra infrarouge et un émetteur de lumière infrarouge pour la reconnaissance d'objets. La reconnaissance infrarouge est utilisée pour permettre à la caméra de reconnaître les objets déposés sur la table sans être perturbée par l'image du projecteur. Le seul souci de ce genre de table est que la lumière émise par le projecteur peut provoquer des effets d'ombres cachant certaines parties de l'espace de jeu. Enfin, la table est conçue pour gérer mieux

2. Image tirée de [wikipedia.org,https\%3A\%2F\%2Ffr.wikipedia.org\%2Fwiki\%2FReactable&psig=A0vVaw0F4WmH9EwSinspkdd9LPw7&ust=1540932483417537](https://fr.wikipedia.org/wiki/Reactable)

les mécanismes de jeu au tour par tour. Une fois qu'un joueur a fini son tour, il ne peut plus jouer jusqu'à ce que ce soit à nouveau son tour. Cette contrainte se manifeste par un blocage du "curseur de l'utilisateur dans le système".

Ce projet montre certaines limites au niveau de son interface. Les soucis de lumière et d'ombre peuvent être critiques dans certains cas et gêner l'expérience de l'utilisateur. L'avantage de ce genre de système est que l'interface correspond tout simplement au plateau de jeu de l'utilisateur et qu'un bon nombre de jeux de société peuvent être mis en place assez facilement pour le système puisque le système doit seulement tenir compte des règles et faire en sorte qu'elles soient respectées. Le système ne gère presque rien au niveau de l'interface si ce n'est que la reproduction vidéo du plateau de l'utilisateur.

La *MirageTable*, la fusion d'une table interactive avec la réalité augmentée [7]

Si la plupart des tables interactives optent pour un affichage d'informations à travers un écran secondaire ou directement à travers un écran intégré sur la surface de la table, la *MirageTable* affiche des éléments virtuels par réalité augmentée.

Ainsi la *MirageTable* agit comme un miroir par rapport aux objets déposés en les reproduisant en réalité augmentée à l'aide d'un projecteur. Le système utilise également une caméra à détection de profondeur et l'utilisateur doit porter des lunettes à obturation pour voir les objets virtuels en trois dimensions.

L'utilisateur peut de cette façon manipuler directement les objets virtuels sans passer par la manipulation d'un objet tangible. Il peut utiliser un même objet tangible pour reproduire plusieurs fois le même objet virtuel et faire, par exemple, diverses constructions.

Dans cette étude de la table *MirageTable*, il n'y pas vraiment d'analyse des bénéfices que la table peut apporter à ses utilisateurs dans un quelconque domaine d'application. Les analyses portent surtout sur les performances de l'utilisateur et du système et sur les soucis que peuvent apporter la table. En effet, on peut remarquer quelques problèmes de couleur ou de distorsion d'image des objets augmentés en fonction de la surface physique sur laquelle ils reposent. Malgré cela, les observations ont montré que les utilisateurs réalisaient de très bonnes performances lorsqu'ils utilisaient le système.

Il s'agit ici d'un cas particulier et intéressant d'application de la réalité augmentée. Cette table interactive n'a recours ni à une interface tangible, ni à une interface multi-touch. Toutefois, en raison de la technologie utilisée qui est relativement avancée et des soucis qu'elle peut apporter, nous n'avons pas eu recours à ce genre d'interface. De même, ce genre technologie ne fut pas nécessaire pour les besoins de notre table.

La reconnaissance d'objets en trois dimensions sur caméras à détection de profondeur [45]

L'utilisation de caméras à détection de profondeur peut permettre de situer les objets déposés sur la table dans un espace en trois dimensions. Des recherches chez Microsoft ont été menées afin de développer *Micromotocross*, un système pour table interactive qui permet de construire des parcours pour motocross sur la surface de la table. Une fois le décor disposé sur la table, les joueurs peuvent diriger un motocross sur un second écran dans lequel était chargé un monde virtuel reprenant le décor défini sur la table.

La reconnaissance d'objets en trois dimensions aurait pu être utilisée pour notre table. Elle permet d'étendre les possibilités de fonctionnalités de l'interface interactive. Toutefois, la reconnaissance d'objets tangibles en deux dimensions fut jugée suffisante pour les fonctionnalités désirées.

1.5 Conclusion

Les tables interactives présentées jusqu'ici ont montré qu'elle peuvent apporter beaucoup d'avantages par rapport à d'autres méthodes d'interactions avancées.



FIGURE 1.4 – Une fois l’espace de jeu défini sur la table, il est reproduit dans un environnement virtuel

Tout d’abord, la table interactive est un puissant outil de collaboration. La plupart des tables sont conçues pour être utilisées par plusieurs personnes et différents résultats d’études ont montré à quel point les utilisateurs en tiraient parti. C’est notamment le cas des tables relatives au domaine de l’éducation où les étudiants sont amenés à résoudre des problèmes ensemble et à s’expliquer entre eux les concepts présentés qui seraient mal compris.

Ensuite, les tables interactives peuvent également se montrer plus efficaces dans la réalisation de certaines tâches professionnelles que les outils traditionnels qui peuvent parfois être difficiles à utiliser : les tables interactives peuvent aider les professionnels à se consacrer pleinement à la tâche à réaliser sans avoir à se concentrer sur le fonctionnement des outils comme la table GeoTUI.

Enfin, elles apportent un côté ludique à la tâche à réaliser. Comme on peut le constater dans les tables relatives au domaine thérapeutique, plusieurs tables ont apporté un réel bien-être aux patients consultés lors des phases d’évaluation. De plus, comme on peut le constater dans les tables interactives relatives à d’autres domaines, les tables interactives peuvent devenir addictives de par leur côté ludique. On remarque également l’utilisation d’interfaces tangibles dans pratiquement tous les cas. En effet, la force principale des tables interactives présentées est l’utilisation d’objets qui peuvent faire sens aux yeux de l’utilisateur. À l’inverse, les tables interactives basées avant tout sur des interactions multi-tactiles ou tactiles permettent à l’utilisateur de mieux s’y retrouver qu’avec une interface tangible mais plus par habitude plutôt que par déduction.

Toutefois, certaines applications de tables interactives peuvent être encore limitées, notamment dans le cas d’applications où la table utilise des méthodes avancées comme la reconnaissance d’objets en trois dimensions ou l’application de la réalité augmentée.

Dans certains cas, on constate que les possibilités de conception d’objets tangibles sont mal exploitées et ne conviennent pas. Dans le développement de notre table, nous avons conçu des objets au design simple et le plus explicite possible quant à leur utilité. D’autres part, beaucoup de technologies différentes sont utilisées dans la conception de ces tables. Notre inspiration première étant la *reacTable*, nous avons opté pour le framework *reacTIVision* qui a l’avantage de calculer la position exacte des objets tangibles par reconnaissance vidéo. Les technologies avancées de réalité augmentée ou virtuelle ne seront pas utilisées car elles ne sont pas forcément utiles dans notre cas.

Chapitre 2

Les interfaces utilisateurs appliquées dans le domaine de l'apprentissage des sciences

Les systèmes d'éducation des sciences sont nombreux et ne datent pas d'hier. Parmi les plus récents, on peut trouver beaucoup de cas utilisant des méthodes d'interactions avancées tels que des interfaces tangibles et multi-tactiles ainsi que des technologies de réalité augmentée ou virtuelle.

L'astronomie en réalité virtuelle [34]

Le centre des technologies d'éducation de l'Université de Tel-Aviv, en Israël, a développé un environnement virtuel pour y apprendre l'astronomie. Il s'agit d'un modèle 3D avec des fonctionnalités de réalité virtuelle. Le système est une plateforme non immersive sur ordinateur.

L'utilisateur peut naviguer dans un modèle en trois dimensions représentant le système solaire composé d'astéroïdes, de planètes, de comètes ainsi que d'autres éléments composant le système. Le modèle n'est pas fixe, les planètes bougent et tournent autour du soleil.

L'utilisateur, en naviguant, peut choisir différents modes d'observation. Il peut ainsi soit choisir un mode d'observation libre où il peut choisir de naviguer dans le modèle comme il le souhaite, soit avoir un point d'observation permettant de voir le soleil avec un ensemble d'éléments choisis, permettant ainsi d'évaluer les distances, soit avoir une vue centrée sur une planète en particulier, soit encore avoir une vue géocentrique où il voit les planètes se déplacer en fonction de son point de vue, sans que le point sélectionné ne bouge (par exemple, on peut voir le soleil tourner autour de la terre en choisissant cette dernière comme point géocentrique).

Ce projet, abouti en 2001, fut un outil d'apprentissage très efficace pour l'époque. A l'heure actuelle, le recours à des technologies de réalité virtuelle n'est pas pertinent pour les objectifs que notre système doit rencontrer. Un cas d'application de la réalité virtuelle plus récent est la série immersive *Sphères* de Eliza McNitt[33]. Le principe de ce genre de réalité virtuelle est simple : une série est diffusée au travers d'un casque de réalité virtuelle mais l'image projetée correspond à un monde virtuel. Cette série a gagné le premier prix de la meilleure œuvre en Réalité Virtuelle du Venice VR Festival, en 2018.

La réalité augmentée pour la classification d'animaux et de véhicules de transport avec SMART [19]

Dans un souci d'améliorer l'apprentissage et de motiver les jeunes, une recherche a été menée par l'université de Madeira afin de déterminer si les systèmes interactifs basés sur de la réalité augmentée pouvaient grandement améliorer l'éducation d'enfants de deuxième année.

Les chercheurs ont ainsi développé deux jeux de classification : un sur les animaux et un autre sur les véhicules. Leur hypothèse est qu'un jeu vidéo peut être un bon moyen de motiver un étudiant à apprendre. À l'aide d'une raquette, l'étudiant fait apparaître un modèle 3D devant la caméra du système en réalité augmentée et le manipule comme bon lui semble. Une deuxième raquette est choisie pour faire correspondre la première à la bonne catégorie d'animal. Les animaux et les véhicules "augmentés" sont superposés dans une reproduction vidéo de la scène où l'enfant manipule les raquettes. La caméra du système repère les éléments à l'aide de marqueurs définis par *ARToolKit*. Il s'agit d'une librairie utilisée pour la conception de systèmes utilisant de la réalité augmentée.

Lors des phases d'utilisation en classe, le professeur est là pour assurer un rôle de médiateur, chaque étudiant jouant au jeu chacun à son tour. Les analyses du système ont porté sur les résultats de pré-tests et de post-tests réalisés par un groupe d'étudiants. Les résultats sont groupés selon trois sous-groupes basés sur les notes générales des étudiants. Ainsi le système s'est montré plus efficace auprès des sous-groupes d'étudiants faibles et d'étudiants dans la moyenne. Il s'est montré beaucoup moins efficace pour les "bons" étudiants. L'interface reste agréable à utiliser.

Ce projet n'est pas le seul à avoir recours à la librairie *ARToolkit* pour réaliser des modèles 3D de représentation d'objets. Cette librairie open-source permet de réaliser des interfaces en réalité augmentée. On peut citer plusieurs exemples comme un cas d'étude en Espagne où les étudiants observent des modèles en trois dimensions de structures moléculaires juste à l'aide de cartes avec des marqueurs similaires à ceux que l'on retrouve dans le système SMART [37]. Une enquête fut réalisée auprès d'étudiants afin de déterminer les avantages et désavantages de cette interface. Une partie des enfants ont reconnu comme principal avantage le fait d'interagir avec un monde en trois dimensions pour observer l'objet dans son entièreté plutôt que d'imaginer sa structure sur base de plusieurs images où l'objet est présenté sur un plan en deux dimensions. Une autre partie trouve que le principal avantage est de pouvoir analyser les différents modèles sous différents angles ou directions. Une petite minorité trouve que le principal avantage est que ce genre d'interface aide à améliorer les compétences visuelles et spatiales. Concernant les désavantages, une partie des étudiants trouve qu'il n'y pas vraiment de défaut dans le système mais une majorité pense qu'un désavantage majeur est le temps de lancement de l'application. En effet, les étudiants pensent que le système devrait être installé en classe de façon permanente. Pour finir, une minorité d'étudiants trouve également que la taille des éléments affichés à l'écran est un problème.

La réalité augmentée est une approche intéressante qui n'a pas été utilisée dans notre projet. En effet, beaucoup de cas, comme les deux présentés ici, peuvent être considérés comme utilisant une interface tangible : l'utilisateur tient un objet en main sur lequel se superpose de l'information augmentée sur une reproduction vidéo. Une chose importante à considérer dans la conception d'objets tangibles est la métaphore utilisée pour que l'utilisateur comprenne ce qu'ils représentent réellement. Plusieurs types de métaphores sont utilisées. Par exemple, un objet basé sur une métaphore du nom ressemble à ce qu'il est supposé représenter ou a un aspect suffisamment explicite sur ce qu'il est. C'est le cas de notre table puisque les objets tangibles ont tous une couleur correspondante à l'élément qu'ils sont supposés représenter sur le tableau périodique (cfr Annexe D - Le tableau périodique des éléments conçu pour le Printemps des sciences) ainsi que son symbole. Toutefois, on peut remarquer, dans le deuxième cas présenté, que les objets sur lesquels se superposent de l'information augmentée sont de simples cartes avec les marqueurs reconnus par la librairie *ARToolkit*. Aucune métaphore n'est utilisée pour décrire ce à quoi ces objets correspondent. Il est donc important, pour notre cas, que les objets tangibles soient suffisamment explicites pour comprendre ce qu'ils représentent.

Des interfaces tangibles en réalité augmentée pour représenter les différentes planètes du système solaire [42]

Un autre cas d'utilisation de la réalité augmentée consiste en la présentation des différentes planètes du système solaire. Il s'agit là d'un cas de "réalité augmentée tangible" puisque la manipulation d'éléments virtuels se fait à l'aide d'objets tangibles représentant des éléments d'interactions bien précis comme des boutons. Certains objets permettent de lancer des vidéos.

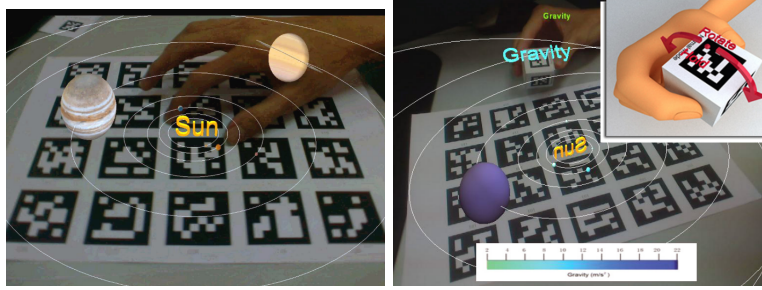


FIGURE 2.1 – Visualisation du système solaire par réalité augmentée tangible

Ainsi, des cubes, sur lesquels un marqueur a été ajouté, permettent de manipuler le système solaire. Ces marqueurs sont en fait des images définies par *ARToolKit*. Le système utilise une caméra pour les détecter et un écran reproduit l'image capturée par la caméra en représentant le système solaire par dessus. L'utilisateur peut accéder à diverses informations et alterner entre différents modes de présentation du système. Pour cela, il utilise un cube qui fait office de "menu". Le cube a trois marqueurs imprimés sur différentes faces. Chaque marqueur représente un mode de présentation et l'utilisateur peut alterner le mode de présentation en tournant le cube de manière à ce que la caméra détecte le marqueur du mode voulu. L'utilisateur peut ainsi alterner entre le mode "normal", le mode "température" et le mode "gravité".

Pour observer une planète en particulier, l'utilisateur dispose d'un cube qui fait office de pointeur. Une fois que ce cube touche la planète voulue, cette dernière est copiée sur le cube et l'utilisateur peut l'observer de plus près. Deux zones avec un autre marqueur sont également disponibles. L'une permet d'avoir des informations à l'écran sur la planète une fois le cube pointeur déposé à côté du marqueur. L'autre zone permet de supprimer la planète du cube pointeur si l'utilisateur veut en sélectionner une autre. Des vidéos peuvent être également jouées à l'aide des marqueurs. En effet un marqueur situé à côté d'une vidéo fait office de bouton "play" et de bouton "stop" une fois la vidéo lancée.

L'étude, menée par l'Université Nationale de Malaisie, ne semble pas avoir développé suffisamment ce système pour qu'il puisse être utilisé par le grand public puisqu'aucune évaluation utilisateur ne semble avoir été envisagée. D'ailleurs, les objets tangibles ont un aspect beaucoup trop basique puisqu'il s'agit juste de cubes blancs avec des marqueurs. Les objets tangibles sont donc trop peu explicites pour comprendre quel objet fait quoi.

On peut souligner la manière particulière d'avoir des objets tangibles pour représenter des éléments d'interaction. Ici, un objet tangible représente un bouton ou un menu, alors que, souvent, les objets tangibles sont des tokens et l'utilisateur manipule l'information en orientant l'objet tangible qui la représente. Dans le cas de la table développée pour notre recherche, chaque objet tangible représente un atome et non pas un outil pour sélectionner, manipuler ou avoir davantage d'informations. Il existe des objets tangibles qui sont utilisés comme des outils mais il est important que l'aspect de l'outil soit suffisamment explicite pour l'utilisateur. C'est pourquoi, pour la conception de notre table, les objets tangibles auront un aspect suffisamment explicite pour indiquer ce qu'ils représentent.

L'apprentissage génomique à l'aide de la table *G-nome Surfer 2.0* [41]

La science génomique est un domaine difficile à étudier. Son apprentissage dépend des outils informatiques utilisés. Dans un objectif d'améliorer l'apprentissage de cette matière, la table *G-nome Surfer 2.0* a été développée pour permettre un apprentissage collaboratif. Le choix d'avoir recours à une table interactive est basé sur l'hypothèse que cette dernière offre un meilleur support pour l'apprentissage en groupe.

L'apprentissage de la science génomique nécessite l'étude de beaucoup de représentations visuelles comme, par exemple, des diagrammes. Toutefois, ces représentations peuvent être mal interprétées par

les étudiants. Il est important pour eux de collaborer puisque les recherches indiqueraient une meilleure compréhension des sciences grâce à la réflexion et à la discussion. C'est pourquoi une telle table doit faciliter la collaboration entre étudiants.

Cette table devait remplir plusieurs conditions. Tout d'abord, elle devait permettre de promouvoir la discussion et la réflexion. Ensuite, il devait permettre à ses utilisateurs de lier des informations entre elles. Elle devait également être conçue pour faciliter la construction de contenu. Enfin, elle devait mettre en évidence les liens entre les différentes formes de représentations visuelles.

L'écran de la table utilise une interface graphique où les utilisateurs peuvent comparer les gènes de différentes espèces. La table a été conçue pour donner plusieurs définitions et informations lorsqu'un de ses éléments est pointé. Le pointeur est un objet tangible qui consiste en une lampe et, donc, une fois qu'un élément est éclairé (une séquence amino-acide, par exemple), des informations relatives à cet élément apparaissent (une définition de la séquence amino-acide éclairée et son symbole dans le cas de notre exemple). Une autre fonctionnalité de la table permet d'aligner des séquences pour les comparer. Lorsque deux séquences sont superposées sur la table, une matrice apparaît à l'écran où chaque colonne est une séquence, permettant à l'utilisateur d'explorer les relations entre les séquences. Enfin, la dernière fonctionnalité développée est la visualisation des gènes. L'utilisateur pouvait consulter l'image d'un organisme et, en touchant sur une région spécifique de cette image, obtenir des détails relatifs à cette zone. Les interactions sont principalement tactiles à l'exception de l'utilisation de la lampe qui sert de pointeur pour obtenir des définitions sur les éléments pointés. La table est une Microsoft Surface.



FIGURE 2.2 – Exemple de cas d'utilisation de comparaison des gènes de souris

Des études concernant cette table ont été faites par comparaison aux interfaces graphiques traditionnelles. Parmi les bénéfices apportés, elle améliore la participation physique de l'utilisateur, encourage la réflexion et favorise la collaboration. De plus, les interactions sont beaucoup plus intuitives.

En observant de plus près cette table où beaucoup d'éléments sont diffusés à l'écran, il peut être difficile pour les étudiants de comprendre les informations à cause de leur abondance. Cela se justifie par le fait que la science génomique est, de base, une matière très compliquée à comprendre et à apprendre. C'est pourquoi notre table sera conçue de manière à éviter qu'un surplus d'informations ne soient affichées à l'écran et nous limiterons le nombre d'éléments pouvant être consultés.

Les transferts d'électrons dans les composants ioniques appris avec *ChemicAble* [5]

La ChemicAble est une table développée pour aider les enfants à comprendre la formation de composants ioniques. Le choix des développeurs d'avoir recours à une table interactive plutôt qu'à un autre outil est de nouveau dû au fait que ce genre de moyen contribue beaucoup à améliorer la collaboration entre étudiants.

Le principe de la table consiste à déposer des *tokens* sur la table et chaque token correspond à un élément du tableau périodique. Une fois qu'un token est déposé sur la table, sa valence apparaît. Lorsque plusieurs tokens sont sur la table, des réactions chimiques peuvent être déclenchées et l'écran

affiche les transferts d'électrons entre les tokens tout en ajoutant près des tokens affectés les charges positives et négatives.

Cette table fonctionne à l'aide du framework reacTIVision. Elle fut évaluée par plusieurs étudiants qui ont majoritairement reconnu avoir appris sur les formations ioniques. De même, ils trouvaient facilement des liaisons avec la table.

Les résultats de l'évaluation se sont montrés positifs. D'une part, l'apprentissage en groupe se montre beaucoup plus efficace que l'apprentissage individuel. Ensuite, la table permet aux étudiants d'avoir recours à des connaissances de leur cours de chimie et de se rappeler d'éventuels concepts. Pour finir, les étudiants ont également pris beaucoup de plaisir à utiliser la table.

Cet exemple de conception d'interface tangible est similaire à celui de la table développée pour notre projet. Dans notre cas, nous ne représentons pas de liaisons ioniques mais seulement des associations permettant de former des molécules. L'idée de représenter un élément du tableau périodique à l'aide d'un token est également repris dans notre projet.

CheMO : réaliser des expériences chimiques à l'aide d'objets tangibles [43]

La table CheMO se veut être un environnement virtuel où les utilisateurs peuvent réaliser des expériences à l'aide d'objets tangibles. Les objets agissent comme des outils et, une fois déposés sur la table, des objets virtuels apparaissent dans l'environnement où les expériences peuvent être réalisées.

La table est composée d'une caméra pour détecter les mouvements des utilisateurs et la position des outils sur la table. Les données d'interaction sont capturées par des modules de perception et de reconnaissance à l'aide de la caméra. Deux types d'objets sont utilisés pour réaliser des expériences : les pipettes et les récipients. Les récipients sont composés d'un capteur d'accélération sur 3 axes afin de détecter les mouvements de l'objet, de seize mini-lampes LED pouvant afficher des lumières de couleurs différentes pour exprimer différentes réactions et disposent également d'une communication Bluetooth. Les pipettes, quant à elles, sont aussi équipées d'une communication Bluetooth ainsi que d'un capteur de pression atmosphérique.

Plusieurs interactions sont possibles pour l'utilisateur. À l'aide d'interactions multi-tactiles, ce dernier peut sélectionner les informations affichées dans l'environnement virtuel et les manipuler. Une fois un récipient rempli dans l'environnement virtuel, l'utilisateur peut réaliser un phénomène de mixage en frottant la table en dessous du récipient. Il peut également faire passer le contenu d'un récipient à un autre dans l'environnement virtuel en simulant l'action physiquement avec les objets tangibles. Enfin, les interactions avec les pipettes permettent de récupérer le contenu de tubes virtuels affichés sur l'écran de la table en pressant une pipette au dessus de ces tubes. L'utilisateur peut ensuite verser le contenu de la pipette dans un récipient.



FIGURE 2.3 – L'utilisateur peut stocker des substances chimiques à l'aide de la pipette et les verser dans les récipients

L'évaluation de la table CheMO s'est faite sur base de tests en comparant une expérience avec la table avec deux autres expériences : une expérience réelle et une expérience réalisée sur une application tactile. Bien que l'expérience sur la table CheMO a montré de très bons résultats et une nette différence par rapport à l'expérience sur l'application tactile, elle ne s'est pas démarquée par rapport à l'expérience réelle. Cette dernière reste légèrement plus efficace pour l'éducation que la table CheMO.

En revanche, les interfaces tactiles et la table CheMO apportent une meilleure commodité pour réaliser une expérience plutôt que d’avoir recours à des méthodes d’expérimentations réelles.

La conception de cette table utilise une approche différente de la nôtre. Ici, les objets sont des outils. Les éléments chimiques sont représentés virtuellement sur l’écran de la table. Nous avons choisi de concevoir des tokens plutôt que des outils car cela permet aux utilisateurs de se concentrer sur l’élément plutôt que sur l’outil. Le recours à des outils peut d’ailleurs être considéré comme un défaut de la table CheMO. En utilisant des outils comme objets tangibles, l’utilisateur réalise un type d’interaction assez proche des interactions traditionnelles et l’utilisateur garde une certaine concentration sur l’utilisation de l’outil. Les tokens, étant assez simples à utiliser, permettent aux utilisateurs de se concentrer uniquement sur la tâche à réaliser ou sur l’information à consulter.

Conclusion

Les cas présentés ici nous montrent que beaucoup de méthodes d’interactions avancées peuvent être utilisées pour l’apprentissage des sciences. Parmi elles, on retrouve bien évidemment des tables interactives multi-touch et des tables interactives tangibles. On peut remarquer leur efficacité pour l’apprentissage des sciences. Toutefois, certains systèmes peuvent être peu adaptés pour un public suffisamment large. C’est notamment le cas de la table *G-nome Surfer* puisque son interface diffuse beaucoup d’informations en même temps. On remarque également que dans certains cas, l’utilisation d’outils à la place de tokens comme objets tangibles est un choix inefficace puisque ces outils peuvent être utilisés avec des interactions assez proches des méthodes traditionnelles et qu’ils ne permettent pas vraiment aux utilisateurs de travailler plus efficacement qu’avec ces dernières.

Les technologies de réalité augmentée, bien qu’étant une approche intéressante, ne seront pas exploitées dans notre projet. Elles auraient pu contribuer à une meilleure attractivité de notre table.

Chapitre 3

Les interfaces utilisateurs mises à la disposition du grand public

Les différents systèmes mis à la disposition du grand public peuvent utiliser plusieurs interfaces et technologies pour attirer les utilisateurs. La plupart utilisent des technologies avancées mais les interfaces sont souvent des interfaces web, qu'elles soient utilisées par des smartphones ou des navigateurs sur ordinateurs. En dehors de ces systèmes, on retrouve également des tables interactives qui peuvent utiliser des interfaces tangibles mais beaucoup également utilisent des interfaces multi-tactiles.

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur les interfaces exposées principalement dans les musées et les conventions. Nous observons également les interfaces exposées en milieu urbain, puisque les interfaces de ce milieu cherchent également à se montrer attractives en étant disponibles pour le plus large public possible.

3.1 Les interfaces utilisateurs dans les musées et expositions

Les musées sont sans doute les endroits où l'on retrouve le plus d'expositions numérisées. L'avantage d'avoir recours à diverses technologies pour les musées est de pouvoir exposer une grande quantité d'artefacts en les représentant numériquement. On retrouve plusieurs méthodes d'interaction avancées : des interfaces basées sur de la réalité augmentée ou virtuelle comme le projet ARCO qui avait pour but d'intégrer ces technologies dans les musées et plusieurs autres tables interactives.

Les tables interactives conçues pour les musées ont, pour la plupart fait l'objet d'évaluations afin d'analyser ce qui pouvait ressortir de l'expérience utilisateur. L'attractivité de leurs interfaces peut varier d'un cas à l'autre. Certaines sont centrées sur l'expérience utilisateur et cherchent à utiliser des méthodes d'interactions plus naturelles, comme la table des minéraux du musée d'Histoire Naturelle (cfr. Chapitre 4 - Les tables interactives liées à l'apprentissage des sciences dans les espaces grand public), tandis que d'autres adoptent une approche un peu plus conventionnelle en se basant sur des interactions tactiles ou multi-tactiles, permettant aux utilisateurs de comprendre les mécanismes d'interactions plus facilement.

La réalité virtuelle et augmentée dans les musées [47]

La réalité augmentée et virtuelle dans les musées apporte un gros avantage aux expositions. En effet, elles contribuent à résoudre le problème de l'héritage culturel dans les musées qui n'ont pas toujours les moyens d'exposer d'énormes collections. Elles permettent ainsi de représenter des objets de l'héritage culturel à l'aide de modèles 3D.

Le projet ARCO (Augmented Representation of Cultural Objects) est un projet ayant pour but d'intégrer les technologies de réalité augmentée et virtuelle en permettant aux gérants d'un musée

de manipuler et créer des objets virtuels d'exposition. Le système développé dut donc contenir trois fonctionnalités principales, à savoir la création, la gestion et la visualisation de contenu.

La création de contenu se base sur l'utilisation d'outils de modélisation d'artefacts. Les artefacts ayant une géométrie simple peuvent être modélisés simplement à l'aide d'outils de modélisation d'objets tandis que les artefacts ayant une géométrie complexe peuvent être automatiquement générés à partir d'images stéréoscopiques. La visualisation de représentations digitales est basée sur des interfaces combinant des présentations basées sur le web à des expositions virtuelles. Ceci est géré grâce au framework X-VRML, un langage basé sur XML pour ajouter des capacités de modélisation à des standards de description de scènes virtuelles comme VRML ou X3D.

Les objets du musée peuvent être visualisés à l'aide de pages web définies en deux dimensions avec des modèles en trois dimensions conformes au standard VRML. Ils peuvent aussi être visualisés dans une galerie virtuelle, toujours accessible à l'aide d'un navigateur web. Ces galeries peuvent être arrangées comme le concepteur le souhaite via sa propre interface. Il peut effectuer des modifications en manipulant les objets directement dans le monde virtuel de la galerie.

Il est également possible de visualiser et manipuler les objets virtuels à l'aide de la réalité augmentée. En utilisant des cartes marquées d'une lettre à disposer devant une caméra, les modèles virtuels s'affichent alors en se superposant sur le marqueur.

Enfin, les conservateurs de musées peuvent également construire des scénarios présentés de diverses manières tels que des présentations sur pages HTML, des modèles conformes au standard VRML, et des scènes de réalité augmentée interactives.

Les musées virtuels [44]

Le projet ARCO est donc un type de musée virtuel mais on peut en retrouver bien d'autres. Des études menées par des chercheurs de l'Université Aristote de Thessalonique, en Grèce, et de l'Université de Coventry ont classé les différents types de musées virtuels existants.

Les chercheurs reprennent le concept de musée virtuel selon l'article de W. Schweibenz [40] comme étant une *collection d'objets digitaux logiquement liés composée de différentes variétés de médias et qui, grâce à sa capacité à créer des connectivités et des points d'accès, se prête bien au-delà des méthodes traditionnelles de communication et d'interaction avec les visiteurs en faisant preuve de souplesse face à leurs besoins et intérêts.*

Selon les chercheurs, il existe trois catégories de musées virtuels, ces catégories correspondant à l'objectif du musée à exposer un tel monde virtuel. Ainsi, les musées peuvent proposer des musées virtuels dans le but d'informer les visiteurs sur le musée en lui-même (heures d'ouverture, localisation), des musées virtuels ayant pour but d'informer sur les collections disponibles au musée ou des musées virtuels éducatifs offrant des informations en fonction de l'âge et des connaissances du visiteur.

Toutefois, comme les auteurs l'ont constaté, les musées virtuels peuvent utiliser différentes technologies d'interaction et de diffusion de l'information. Au départ, le contenu était présenté sous forme de présentations statiques de textes et d'images. Les images peuvent elles-mêmes être présentées à l'aide de différentes technologies d'imagerie. Elles ont besoin d'une haute résolution pour être diffusées dans un monde virtuel mais ces images, étant trop volumineuses et posant problème pour les faibles bandes passantes, ont incité les concepteurs à recourir à des formats permettant une transmission progressive comme les formats *JPEG2000* ou *FlashPix*.

La plupart des musées virtuels sont généralement accessibles par navigateur web. Une technologie très utilisée dans ce domaine est *Web3D*. Cette technologie permet de réaliser de la modélisation en trois dimensions selon le standard VRML. Le problème de ce standard est qu'il peut être excessivement laborieux et coûteux à mettre en oeuvre. Une solution alternative est d'avoir recours à une autre technologie que VRML comme QuickTime VR. Il existe davantage de standards et de technologies comme l'utilisation de fichiers *X3D* (format de fichier 3D), *Amore 3D* et *COLLADA* (format graphique) ou encore *OpenSceneGraph* et les moteurs de jeux 3D. Ces deux dernières technologies sont toutefois beaucoup plus sophistiquées et demandent des compétences avancées en programmation.

D'autres technologies avancées assez utilisées sont les méthodes d'interaction basées sur de la réalité

augmentée. On peut aussi avoir des méthodes d'interaction qui mélangent réalité augmentée et réalité virtuelle avec un environnement réel.

Pour finir, les musées peuvent également avoir recours à l'utilisation du smartphone ou à des interactions haptiques comme le système *PHANTOM*.

L'étude menée par l'Université Aristote et l'Université de Coventry montre les nombreux avantages des musées virtuels par rapport aux musées réels. Outre le fait qu'ils permettent d'avoir une audience plus large et de préserver les artefacts culturels en les digitalisant, ils sont une bonne publicité pour les musées réels. Toutefois, comme présentés dans les recherches, ils montrent des désavantages, comme le fait qu'un objet virtuel ne représente qu'une forme potentielle de l'artefact réel. Certains détails de l'artefact réel peuvent manquer sur l'objet virtuel.

Cette recherche montre déjà l'étendue large des cas d'applications dans les musées mais des recherches plus récentes abordent l'existence de musées virtuels en quatre dimensions [25]. Cela signifie que les objets modélisés sont, en plus d'être représentés dans un espace en trois dimensions, représentés dans une quatrième dimension qui est celle du temps.

Ainsi, l'ensemble de la maison de ville du musée de Old-Segeberg a été modélisé en trois dimensions permettant aux utilisateurs d'explorer l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Un des objectifs de ce projet est de permettre une meilleure interaction que dans les musées virtuels classiques qui présentent souvent un panorama d'objets virtuels avec peu d'interactions.

Le système est conçu à l'aide du moteur de jeu *Unreal* et utilise le casque de réalité virtuelle *HTC Vive*. Ce musée virtuel permet à l'utilisateur d'être totalement autonome dans ses mouvements et déplacements. Le système peut être aussi utilisé sur ordinateur.

Comme énoncé précédemment, une autre catégorie de technologies utilisables pour la manipulation des objets virtuels est celle des interfaces haptiques [32]. Les appareils Phantom et CyberGasp ont été développés dans cette idée de fournir des interfaces avec retour de force sur la manipulation d'objets virtuels. Phantom est un appareil qui fournit un retour de force aux interactions tactiles de l'utilisateur. Par retour de force, on entend que l'utilisateur, en manipulant un objet virtuel, peut le déformer en exerçant une pression dessus. CyberGasp est, quant à lui, un gant qui peut être aussi utilisé pour saisir des objets virtuels et exercer une pression dessus.

Des robots mobiles avec des interfaces web [39]

On peut trouver des robots pour les musées déjà développés en 2000. Ces robots peuvent être dirigés grâce à une interface web et des recherches ont déjà été effectuées en Allemagne. Ils sont généralement utilisés pour servir de robots-guide.

Trois interfaces ont été développées pour le contrôle de ces robots. La première permet de déplacer le robot librement dans le musée sans aucune contrainte. À l'inverse, la seconde permet seulement de sélectionner des points de vue spécifique sur lesquels le robot se déplace. La dernière consiste en un système de vote où plusieurs candidats souhaitant contrôler le robot votent pour qu'il effectue une action spécifique. La première interface est exclusivement réservée aux personnes souhaitant contrôler le robot sur le web. La gestion des requêtes utilisateurs pour déplacer le robot fonctionne à l'aide d'une file d'attente où maximum cinq requêtes sont stockées et exécutées dans l'ordre d'arrivée. La seconde interface permet de résoudre les limites de la première qui ne peut accepter qu'un nombre réduit de visiteurs en ligne. La dernière est une interface utilisable à la fois par les utilisateurs web et les personnes physiquement présentes au musée.

Malheureusement, les résultats de l'utilisation sont assez anecdotiques puisque aucune donnée d'évaluation n'a été enregistrée et aucune séance d'observation n'a été mise en place. Seuls des commentaires que les utilisateurs web pouvaient laisser peuvent témoigner de l'attractivité de ce genre d'interface puisqu'ils sont assez positifs.

Ce type de système semble assez original mais comporte une grosse lacune qu'on retrouve dans les musées virtuels en ligne et dans tous les systèmes utilisant une interface web : leurs performances sont dépendantes de la qualité de la connexion internet. Si l'utilisateur a très peu de bande passante,

l'interface sera beaucoup moins performante et l'utilisateur moins satisfait. C'est d'ailleurs pour cette raison que notre système n'utilisera pas d'interface connectée à internet.

La table multi-touch "Tree of Life" [22]

Une table construite par une compagnie de conception de médias allemande nommée "ART+COM" et installée au musée d'Histoire Naturelle de Berlin a fait l'objet d'une étude réalisée par des chercheurs de l'Université de Strathclyde, au Royaume-Uni. La table "Tree of Life" est alors utilisée comme un navigateur permettant d'obtenir des informations sur le thème de l'évolution.

Leur hypothèse concernant l'informatique dans les expositions est que les tables interactives sont des interfaces pratiques pour l'apprentissage en groupe puisque plusieurs personnes peuvent l'utiliser en même temps et que ces interactions restent ludiques. Toutefois, toujours selon eux, les tables interactives peuvent ne pas toujours convenir. La problématique posée est donc de savoir quel type d'application convient le plus à une table interactive disposée dans une exposition dans un musée.

Permettant la navigation de questions/réponses, les informations sont représentées à base de textes mais aussi d'images. Ces informations pouvant être de taille importante, la table offrait également des fonctionnalités tactiles pour faire défiler l'information.

Les chercheurs ont observé les différentes interactions qu'offrait cette table. Ils ont notamment constaté que les utilisateurs n'hésitaient pas à utiliser les fonctionnalités multi-touch de la table, probablement grâce à sa conception qui a quelques similarités avec les interfaces traditionnelles des tablettes ou des smartphones.

Globalement, les utilisateurs arrivaient à manipuler la technologie utilisée sans souci. De plus, l'interface offrait également des indices pour utiliser la table.

Si cette table semble être aux premiers abords une réussite en matière d'interactions, les observations montrent qu'il y a tout de même quelques soucis mineurs, notamment des problèmes de latence de la table et quelques comportements de la table qui n'étaient pas compris.

Ce cas montre l'efficacité des interactions tactiles sur une table interactive. Toutefois, cela semble plus être dû à une habitude qu'ont les utilisateurs. Notre cas quant à lui est plus axé sur une interface tangible que tactile.

Une table interactive pour la découverte d'oeuvres d'art [10]

Une table interactive pour la consultation d'artworks a été déployée lors d'une exposition en mai 2010. Il s'agit d'une table multi-tactile basée sur le protocole TUIO, le protocole utilisé par le framework *reacTIVision*.

La table devait permettre la collaboration et les utilisateurs pouvaient ainsi découvrir les oeuvres d'art d'une collection à partir d'images affichées sur l'écran de la table. Une "zone d'interaction" était également affichée sur l'écran de la table où l'utilisateur pouvait déplacer une image pour ouvrir un menu. Le menu proposait plusieurs fonctionnalités pour l'oeuvre d'art choisie, comme la présentation de vidéos et d'images pour avoir davantage d'informations la concernant.

Des données d'utilisations ont été enregistrées pour évaluer la table et montrent qu'une bonne partie des personnes viennent principalement jeter un oeil sans réellement vouloir lire les informations sur les oeuvres d'art. Les personnes consultant sérieusement l'information ont, en revanche, montré un grand intérêt pour les informations de détails.

Cette table montre à nouveau les nombreux avantages des tables interactives dans les expositions. Toutefois, il s'agit là d'une table interactive multi-tactile sans interface tangible. On peut perdre alors en intérêt puisque l'interface multi-tactile peut se montrer moins ludique. Il est d'autant plus étonnant de remarquer que la table repose sur le protocole TUIO alors qu'il s'agit d'un protocole initialement prévu pour la définition d'objets tangibles bien qu'il permet également la définition de curseurs (correspondant le plus souvent à des interactions tactiles).

Un autre exemple d'interface tangible pour la visualisation de collections d'oeuvres d'art est celui du système *ArtVis*[15]. Ce système permet de consulter des informations d'analyse d'une vaste collection

d'oeuvres numériques plutôt que des informations détaillées sur les oeuvres d'art. Ce système combine des méthodes de visualisation avancées avec une interface tangible.

Le système se présente sous forme d'une application où des visualisations sont affichées à l'aide d'une interface graphique et l'utilisateur explore ces données à l'aide d'objets tangibles. L'interface possède trois vues. La première est une carte où sont localisées les différents oeuvres de la collection. La deuxième permet d'afficher des visualisations sur l'évolution des oeuvres au court du temps. Enfin la dernière vue permet d'observer et de faire défiler un total de 50 oeuvres d'art.

Les objets tangibles, conçus à l'aide de Phidgets, sont des outils de peinture. Une palette regroupe les interactions les plus importantes. Elle est équipée d'un joystick permettant de parcourir la carte de la première vue. Un capteur de rotation est utilisé pour zoomer et dézoomer sur la carte. Un lecteur RFID permet également de déposer des objets équipés d'un tag RFID. Des filtres sur la liste d'oeuvres d'art à observer peuvent être appliqués à l'aide de ces objets.

L'expérience utilisateur de *ArtVis* fut évaluée sur base d'observations, d'interviews et de questionnaires remplis par l'utilisateur. L'évaluation a donné de bons résultats, notamment en ce qui concerne l'attractivité et la stimulation du système.

L'interface tangible d'ArtVis est relativement intéressante puisqu'elle combine deux types d'objets tangibles. La palette est un outil tandis que les objets équipés d'un tag RFID sont des tokens. Dans notre cas, nous n'avons pas eu recours à des outils comme objets tangibles mais on pourrait en concevoir pour une version améliorée de notre table interactive. Un cas d'exemple serait d'utiliser un outil pour consulter davantage d'informations sur les molécules puisque notre table utilise des tokens uniquement pour représenter des atomes.

Une table interactive pour la conception de *story telling* [9]

Une table interactive a été conçue pour l'exposition *Mapping Place : Africa Beyond Paper* au musée Robert C. Williams Paper, à Atlanta dont l'objectif est de permettre aux utilisateurs de créer des histoires à l'aide d'objets tangibles et ce, en collaborant à plusieurs.

Le système consiste en une table interactive située près d'un coin de deux murs où un écran est projeté sur chacun. Les utilisateurs déposent chacun un objet tangible qui prend la forme d'un coquillage. Ce coquillage représente l'histoire de l'utilisateur. Une fois l'objet déposé, un menu se forme autour du coquillage où plusieurs éléments digitaux représentent des personnes et des lieux que l'utilisateur peut ajouter dans son histoire. Ces éléments peuvent donc représenter un homme, une femme, un garçon, une fille, un animal, une maison ou encore une ville. Des éléments digitaux représentés sous forme de perles sont disposés sur l'écran de la table et l'utilisateur peut les déplacer à l'aide de son doigt. En déplaçant ces perles sur un élément du menu, la perle stocke cet élément et l'élément est représenté dans l'histoire de l'utilisateur à travers la projection murale. Par exemple, si une perle est déplacée sur l'élément représentant un homme, cette perle va stocker cette information dans la perle et un homme sera ajouté sur la projection.

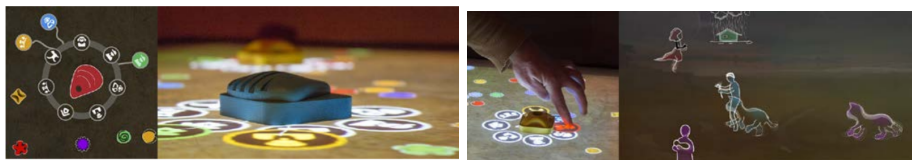


FIGURE 3.1 – Quand l'utilisateur associe des éléments digitaux en forme de perle à d'autres éléments autour d'un menu, ces éléments sont représentés dans la projection murale

L'utilisateur définit ainsi différents éléments dans son histoire qui est représentée sur l'écran projeté et peut les déplacer en déplaçant leur perle correspondante sur la table. L'histoire de l'utilisateur est complétée lorsqu'il retire son coquillage de la table. Une fois fait, le menu disparaît et seules les perles assignées restent. Il peut alors partager son histoire avec celle d'un autre coquillage. Ainsi, une seule

et même histoire est réalisé en créant une "story map" où les différentes histoires des utilisateurs sont rassemblées.

Il s'agit d'une table utilisant le protocole TUIO pour la définition d'objets tangibles dans l'implémentation du système, protocole également utilisé par le framework *reactIVision*.

Une étude a été menée sur l'utilisation de cette table et a tenté d'évaluer si elle contribue à affecter positivement l'apprentissage de l'utilisateur, si elle lui permet d'appliquer correctement ses connaissances et si elle encourage les interactions sociales entre utilisateurs. Des tests ont été effectués sur une quarantaine d'étudiants âgés de 8 à 13 ans répartis en groupes de 2 à 5. Les observations furent enregistrées en vidéo et des notes furent prises sur les remarques et les réactions des utilisateurs. Les résultats concernant l'apprentissage et la compréhension des différentes notions vues à l'aide de la table sont plutôt positifs. La collaboration entre utilisateurs, quant à elle, est limitée puisqu'ils collaborent moins pour créer des histoires ensemble que pour comprendre comment fonctionne le système.

Ce projet semble avoir une interface tangible intéressante et visuellement attractive puisqu'un gros effort a été fait au niveau de l'esthétique des objets tangibles et des éléments virtuels. Par contre, les études d'évaluation se limitent aux étudiants de primaire et secondaire alors que les musées restent tout public. Il peut donc être intéressant de faire tester la table par un public le plus large possible.

3.2 Les interfaces utilisateurs en milieu urbain

Le milieu urbain est actuellement en plein développement au niveau de sa numérisation, notamment grâce à un nombre important de projets de *Smart cities* réalisés ou en cours de réalisation. Il est tout de même rare de trouver des projets de tables interactives, à l'exception de la table *Touching Transport* qui se base sur des interactions multi-tactiles et non sur une interface tangible. La plupart des systèmes disposés en milieu urbain reposent principalement sur des interactions avec smartphones.

La table *Touching Transport* pour l'exploration urbaine [36]

Installée à Singapour, la table *Touching Transport* est une table interactive disposée en milieu urbain qui a pour objectif de renseigner ses utilisateurs sur la mobilité urbaine à travers un ensemble de visualisations. Lors de sa conception, plusieurs objectifs ont été établis. Ces objectifs sont intéressants à observer car ils peuvent représenter les exigences qu'on attend généralement d'une table interactive en milieu public.

Un premier objectif est de concevoir les visualisations de manière à ce qu'elles puissent être comprises par le plus de profils d'utilisateurs possibles. La collecte d'informations est importante puisque la table a aussi pour vocation de permettre aux utilisateurs de donner leur avis sur la mobilité urbaine. Elle doit donc encourager les utilisateurs à partager leurs avis et leurs idées. Le troisième objectif est de susciter la curiosité de l'utilisateur. C'est un objectif intéressant puisqu'il peut s'agir là d'un facteur important de l'attractivité d'une interface. Un autre objectif est que l'utilisateur doit pouvoir utiliser l'interface sans avoir à apprendre des gestes complexes. Cet objectif peut être également une exigence relative à toutes les interfaces utilisateurs disposées en milieu public. Enfin, la table doit proposer différentes perspectives de la mobilité urbaine et proposer diverses facettes à explorer.

Pour cette table, trois types de visualisations ont été développés. Un premier consiste en la visualisation d'une carte où l'utilisateur peut voir le trajet d'une ligne de bus. La deuxième est une vue chronologique qui permet de voir, pour une heure spécifique, les arrêts de bus dans la journée sur une ligne. La dernière vue représente les trajets des passagers pour une même ligne de bus. Il s'agit d'une vue en arc où la ligne de bus est représentée sur un axe horizontal avec les différents arrêts représentés dessus et où les trajets sont des arcs allant du point de départ au point d'arrivée.

Les interactions sont des interactions tactiles et multi-tactiles assez simples. L'utilisateur appuie sur des boutons pour effectuer une action ou sur un arrêt de bus pour avoir des informations précises relatives au point de vue sur lequel il est.

Cette table fut évaluée sur plusieurs aspects. Tous d'abord, des évaluations sur la compréhension du système montrent que les utilisateurs n'ont aucun problème à comprendre comment le système

fonctionne et comment interagir avec lui. Ils reconnaissent très bien les éléments diffusés sur la table. La satisfaction de l'utilisateur a également été évaluée : la plupart ont reconnu l'aide que pouvait apporter la table en plus de trouver l'interface amusante et esthétique. Certains ont cependant reproché la complexité d'utilisation de l'interface.

L'Open Urban Service Network [23]

L'Open Urban Service Network est une infrastructure logicielle disposée dans le centre-ville d'Oulu, en Finlande. Le système consiste en une borne publique sur laquelle les passants peuvent interagir avec une application smartphone. Le système utilise donc une interface utilisateur distribuée et plusieurs exemples d'applications ont été développées pour ce cas d'utilisation.

Un premier exemple est un "mur à message", appelé *PlaceMessaging* où les utilisateurs peuvent envoyer différents messages avec leur smartphone et ces messages apparaissent sur la borne. Un autre exemple est un jeu de poker où la borne représente l'ensemble de la table du jeu avec les cartes affichées au centre (cfr. Figure 3.1). Les utilisateurs peuvent voir leurs propres cartes à l'aide de leur smartphone et interagir avec le jeu. D'autres exemples d'application ont également été conçus, comme une application de partage de données par connexion Bluetooth ou encore une application de vote pour jouer une liste de lecture audio sur la borne.



FIGURE 3.2 – Affichage sur la borne des cartes au centre de la table

Le système fonctionne à l'aide d'un serveur connecté aux bornes et aux smartphones qui gère le trafic des applications. Chaque smartphone lance une requête pour rejoindre une session sur une borne. Dans le cas d'une application comme le jeu de poker, l'utilisateur est mis dans une file d'attente et est notifié lorsque c'est son tour. Il peut se connecter à une borne à l'aide d'un hotspot qui fait office de point d'accès mobile que les concepteurs ont appelé *UBI-Mobile*.

Ce système fut déployé dans la ville de Oulu : 5 bornes installées à l'intérieur du centre-ville et 6 doubles bornes en dehors. L'évaluation de ce système a été faite en rassemblant des données quantitatives et qualitatives lors de son utilisation. Les méthodes de récupération de données consistent en des observations et des interviews. Les utilisateurs ont également pu remplir des questionnaires.

Un premier constat est que la plupart des utilisateurs trouvent les hotspots *UBI-Mobile* plutôt inutiles car la plupart ont l'habitude de lancer des applications directement plutôt que de passer par un hotspot. De même, le principe de l'interface est simple à comprendre pour l'utilisateur mais il n'est pas forcément simple d'inciter l'utilisateur à avoir recours aux services mobiles plutôt que de seulement essayer d'interagir avec la borne.

Des données furent aussi collectées durant les sessions des utilisateurs. On a constaté que l'application la plus utilisée était l'application de partage par connexion Bluetooth, où les utilisateurs pouvaient récupérer des données sur la météo, des horaires de séances de films au cinéma ou encore des menus des restaurants aux alentours. Cette application a été suivie de *PlaceMessaging* et d'une application de galerie de photos sur laquelle des utilisateurs pouvaient partager des photos sur leur smartphone.

Ce système est très efficace en matière d'interaction en milieu public mais il montre aussi les limites d'un recours au smartphone comme moyen d'interaction. En effet, comme cité plus tôt, la plupart des personnes n'ont pas le réflexe d'avoir recours à leur smartphone puisqu'il s'agit d'un deuxième dispositif à utiliser en plus de la borne, et cela implique que l'utilisateur doit disposer, la plupart du temps, d'une application installée, ce qui pose problème lorsque ce n'est pas le cas et que l'utilisateur aimerait utiliser

une borne. C'est pour cela que le système utilisé ici avait plutôt recours à un accès à l'application par un hotspot mais ce procédé n'a rien d'habituel pour l'utilisateur.

Une table interactive ou une borne simple aurait pu se montrer plus pratique puisqu'elle n'utilise qu'un seul dispositif d'interaction.

Les façades médiatiques modélisées par les citoyens

La façade médiatique est très utilisée pour les communications publicitaires. Elle consiste en l'installation d'un dispositif d'affichage digital sur la façade d'un bâtiment pour y diffuser des médias à des fins publicitaires. Aujourd'hui, on peut remarquer deux cas d'applications où le citoyen peut lui-même interagir avec ces dispositifs. Leur analyse peut être intéressante puisque ces dispositifs sont également utilisés par plusieurs personnes de façon collaborative.

Le premier est celui du SMSlinslot [16] qui permet d'envoyer des messages sur une façade médiatique à l'aide d'une fronde équipée d'un mini clavier. L'utilisateur écrit un message avec ce mini clavier et l'affiche sur la façade en visant cette dernière avec la fronde et en tirant dessus comme s'il lançait physiquement son message sur la façade. La fronde est également équipée d'un viseur laser pour mieux cibler l'endroit où afficher le message.

Ce premier cas d'application utilise une méthode d'interaction plutôt intéressante puisque l'utilisateur manipule un objet tangible dont la métaphore est relativement compréhensible. Il s'agit ici d'un outil dont le fonctionnement semble simple et attrayant. Notre système utilise des tokens mais cet exemple serait une bonne inspiration dans le cas où des outils seraient ajoutés parmi les objets tangibles de notre interface.

Le second consiste en deux applications smartphone permettant la multi-interaction avec une façade médiatique [8]. L'utilisateur, avec ces applications, peut sélectionner les parties de la façade avec lesquelles il souhaite interagir en observant avec son smartphone en live vidéo la façade concernée. Il peut toucher les différentes parties de la façade pour les sélectionner et interagir. La première application est jeu de puzzle que les utilisateurs doivent résoudre. La seconde permet de peindre les différentes parties de la façade avec une palette qu'ils peuvent sélectionner sur leur smartphone. Lors des phases de tests, les limites du système ont montré que seulement trois personnes pouvaient interagir simultanément avec une façade. De plus, l'application était diffusée sur un réseau restreint et ne fut donc pas disponible pour téléchargement sur l'AppStore au moment des tests. Malgré cela, la collaboration est bien présente. Le système semble également facile d'apprentissage et d'utilisation. Les retours des utilisateurs sur le fait de modifier l'affichage de la façade en temps réel sont positifs. Toutefois, un souci que les utilisateurs ont mentionné est que le fonctionnement du système, permettant des interactions parallèles, est problématique lorsque les personnes interagissent avec la façade en même temps car certains peuvent se concurrencer sur la sélection des parties de la façade à modifier.

Le second cas d'application montre à nouveau les limites du smartphone comme moyen d'interaction. Cela implique l'utilisation d'un appareil que tous les types d'utilisateurs n'ont pas forcément et qui n'a pas, dans l'immédiat, l'application nécessaire qu'il doit alors télécharger.

Personnalisation d'itinéraire pour les touristes [14]

Un autre cas d'application des smartphones dans les smart cities est un framework développé par l'université de Florence. Ce framework permet de personnaliser la visite d'une ville à l'aide de différents appareils. Il repose en particulier sur l'utilisation d'un écran tactile mural où l'utilisateur peut découvrir les points d'intérêts à visiter aux alentours et créer un itinéraire à l'aide de son smartphone.

Un prototype de ce framework a été déployé dans la ville de Florence. Le système utilise une application serveur pour gérer l'ensemble du système. L'écran mural est disposé dans le centre d'accueil de la ville. L'utilisateur peut accéder à une carte, grâce à l'API de Google Maps, où sont affichés les différents centres d'intérêts de la ville qu'il peut sélectionner et ajouter dans son plan de visite. Il peut également consulter des informations relatives aux différents points d'intérêt en cliquant dessus. Une fois son itinéraire défini et les points d'intérêts sélectionnés, le temps de la visite est calculé et envoyé

avec l'itinéraire au serveur, qui construit une session pour l'utilisateur. Ce dernier accède ainsi à sa session avec une adresse URL qu'il obtient en scannant un QR code.

L'application mobile peut être utilisée pour consulter et modifier son itinéraire. Elle permet également de lire davantage d'informations sur les points d'intérêts. Il s'agit d'une application web qui est donc accessible directement sans besoin de téléchargement.

Ce cas est un parfait exemple d'application pour *smart city*. À première vue, il s'agit d'un système efficace pour les touristes mais, dans le cas de notre projet, cela montre encore les limites du smartphone. En effet, notre système pouvant être utilisé par des enfants qui n'ont pas de smartphone, il n'est pas recommandé de réaliser une interface ayant recours à ce genre d'appareils.

3.3 Conclusion

Nous avons vu, au travers de ce chapitre, que plusieurs systèmes différents de tables interactives pouvaient être utilisés dans le domaine public. On y retrouve de la réalité virtuelle et augmentée, mais la plupart des interfaces sont des interfaces web dont le premier problème est que les performances dépendent de la connexion internet de l'utilisateur et donc sa satisfaction pour le système également. C'est davantage problématique pour les interfaces web sur mobile puisque, bien qu'elles évitent à l'utilisateur de télécharger une application spécifique pour utiliser un système en particulier, elle oblige l'utilisateur à disposer d'une bande passante suffisante pour consommer des données mobiles.

La solution des tables interactives resterait plus appropriée car elle incite l'utilisateur à se déplacer sur les lieux où elles sont exposées plutôt qu'à interagir avec le système depuis chez lui, comme c'est le cas avec les musées virtuels et les robots-guides. D'une part, cela évite à l'interface et au système de dépendre de la connexion internet de l'utilisateur mais cela permet d'autre part d'impliquer l'utilisateur dans une interaction sociale qui peut contribuer à son efficacité à interagir avec le système.

Certaines approches pour le milieu urbain se montrent tout de même intéressantes. Le cas du SMSlingshot permet de se rendre compte de l'efficacité des interfaces tangibles puisque son design est suffisamment explicite pour l'utiliser et montre que les interactions tangibles peuvent être plus naturelles et plus ludiques que les autres types d'interactions.

Pour terminer, les nombreux cas de tables interactives dans les musées confirment que ce type de dispositif est plus adapté pour l'utilisateur et contribue à son efficacité à interagir avec le système utilisé. Les interfaces web montrant leurs limites, il est donc préférable d'utiliser des interfaces tangibles pour leur attractivité, en plus de ne pas être limité par une connexion internet à faible débit.

Chapitre 4

Les tables interactives liées à l'apprentissage des sciences dans les espaces grand public

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur les systèmes reliant les trois domaines précédemment présentés, à savoir les tables interactives tangibles exposées dans des espaces publics pour l'apprentissage des sciences.

Ces tables testées dans des espaces grand public ne sont pas nombreuses. La plupart sont testées en laboratoire ou directement dans les écoles puisqu'un public particulier est généralement visé pour ces tests. Les laboratoires peuvent être également mieux équipés pour des séances d'observations et de récupérations de données mais les utilisateurs se retrouvent dans un environnement d'utilisation qui ne leur est pas familier et qui peut les perturber. C'est pourquoi les musées ou les conventions peuvent être un meilleur environnement pour eux, et permettre de faire tester le système par un plus large public

Une table interactive augmentée pour former des molécules [18]

Il existe déjà une table interactive conçue pour la formation de molécules. Il s'agit de la table "Augmented Chemistry", conçue en Suisse en 2002. Elle permet l'interaction et la visualisation de molécules et ce de manière intuitive et directe.

Le système est équipé d'une caméra filmant la surface de la table et d'un écran installé devant la table. Ce dernier agit comme un miroir vis-à-vis de la surface de la table. En plus du rendu de tout ce qui déposé sur la table, des modèles 3D sont affichés à l'écran. En rapprochant les éléments, on peut créer des réactions et former des molécules. Les modèles 3D à l'écran sont rechargés pour correspondre à la molécule.

Plusieurs outils sont utilisés pour créer des molécules [17]. Un livret est chargé de contenir les informations pertinentes sur chaque élément du tableau périodique, chaque page contenant les informations relatives à un élément. Un autre outil fait office de "pince" pour stocker un élément dans cet outil grâce au livret. L'utilisateur rapproche la pince à côté du livret ouvert sur la page correspondant à l'élément qu'il souhaite charger. Une plateforme est disposée sur la table et l'utilisateur y dépose des éléments avec la pince pour former des molécules qui s'affichent. Un cube est ensuite utilisé pour orienter le modèle 3D de la molécule apparaissant à l'écran. L'orientation permet de déterminer à quel endroit un atome doit être connecté dans la composition de la molécule. Des cartes sont utilisées pour activer des fonctions spéciales du système.

L'application utilise aussi des commandes vocales pour donner certains retours d'information, comme pour prévenir l'utilisateur qu'il a atteint les limites du système. Les modèles 3D correspondent

respectivement aux représentations atomiques et moléculaires des atomes et molécules qu'ils représentent.

Si cette interface fut plutôt innovante pour l'époque, des études de 2007 montrent qu'elle n'est pas forcément plus efficace dans l'apprentissage des éléments du tableau périodique que les méthodes traditionnelles comme la formation physique de molécule à l'aide de billes et de bâtonnets. Il fut donc nécessaire de retravailler le design de l'interface.

La première amélioration réalisée pour cette interface tangible est l'ajout d'une interface graphique pouvant être manipulée à l'aide d'une souris. En effet, une interface graphique convenait plus pour certaines manipulations du système qu'une interface tangible. Le rendu et les visualisations 3D ont également été améliorés pour rendre l'apprentissage plus facile et diminuer les erreurs.

L'évaluation du système amélioré s'est fait par comparaison avec l'ancien système. Les résultats ont montré que les étudiants pouvaient plus aisément comprendre et utiliser le système amélioré que l'ancien.

Ce premier projet, malgré l'approche intéressante de combiner interfaces tangibles et réalité augmentée, montre de grosses lacunes en terme d'efficacité de l'interface tangible. Les outils et la surface de travail de la table sont relativement compliqués pour quelqu'un qui utiliserait la table pour la première fois. Le recours à une souris et une interface graphique montre bien que l'interface tangible doit être beaucoup plus simple pour l'utilisateur pour être réellement conviviale.

La table des minéraux [13]

Le musée d'Histoire Naturelle de Lille a réalisé une table interactive permettant de former des minéraux et visualiser des informations à propos de ces derniers. Elle fut conçue dans le cadre d'une volonté de numérisation et d'innovation du musée.

Les minéraux sont formés à l'aide d'atomes représentés par des objets physiques à déposer sur la table. En plus de sa surface vitrée qui sert d'écran pour reconnaître les objets-atomes, la table dispose d'un deuxième écran vertical pour visualiser davantage d'informations.

Une étude réalisée par Juliette Dalbavie, de l'Université Lille 3, tente ainsi d'observer les différentes expériences utilisateurs. Les objectifs de cette table étaient de rendre l'enseignement des minéraux plus attractif ainsi que d'attirer plus de visiteurs.

Le musée a constaté deux principaux usages de la table qui pouvaient varier selon son public mais aussi surtout selon l'expertise de ses utilisateurs dans le domaine de la minéralogie. D'une part, elle pouvait être utilisée à des fins pédagogiques pour les personnes ayant des connaissances préalables dans le domaine, l'utilisateur cherchant alors à améliorer son expertise. D'autre part, elle amenait un côté très divertissant davantage destiné aux personnes n'ayant pas ou que très peu de connaissances.

Le rapport entre l'utilisateur et la technologie ainsi que l'âge sont aussi des éléments ayant une influence sur l'expérience utilisateur.

Un dernier constat de l'étude est la collaboration qui peut exister entre plusieurs utilisateurs. Cette collaboration peut être de types différents selon l'objectif. Elle peut avoir un objectif d'assistance dans le cas où un habitué de la technologie est amené à aider une ou plusieurs personnes pour qui l'utilisation d'outils numériques n'est pas aisé. Elle peut également avoir pour but le partage des rôles dans la réalisation d'une tâche ou de partage d'expérience, les utilisateurs s'entraïdant en mettant en commun les minéraux qu'ils ont trouvés chacun de leur côté, par exemple. Enfin, la collaboration peut être réalisée dans un but de partage des connaissances, un utilisateur pouvant partager ses connaissances sur les minéraux en s'aidant de la table.

Pour finir, l'étude a également montré l'intérêt porté par les visiteurs du musée en observant leur profil, leur parcours et leur temps d'utilisation de la table. Ainsi, on remarque qu'une bonne partie des utilisateurs commencent leur visite en consultant la table. D'autres observations montrent que plusieurs utilisateurs restent un temps considérable sur la table.

Ce projet est sans doute le plus proche de celui développé ici. L'utilisation d'objets tangibles pour représenter ces atomes et le recours à un deuxième écran est un choix de conception que nous avons également fait et permet de séparer la surface d'interaction de la table de l'affichage d'information. Le

principal choix de conception qui diffère par rapport à la table du Musée de Lille est la définition des objets tangibles. Ceux de la table du Musée de Lille sont des *container*. Chaque objet représente un atome non défini. Sa définition se fait par l'utilisateur lorsqu'il le dépose sur la table. Il aurait peut-être été mieux de fournir plus d'objets tangibles où chaque objet tangible est un *token* qui représente un atome spécifique comme nous l'avons fait pour notre table. Une autre solution est de bien définir les objets tangibles comme des *container* mais ne pouvant représenter qu'un type bien spécifique d'atome. En ayant recours à ce genre de conception, les objets tangibles peuvent avoir une signification précise et on peut définir un design relatif à cette signification pour chaque objet.

La table BacPack pour le domaine de la Biologie [30]

La table BacPack a été conçue pour le Tech Museum of innovation de San José, en 2017, et initie ses utilisateurs aux concepts de base de la biologie de synthèse, un domaine des sciences mélangeant biologie et ingénierie. Ce domaine consiste en la conception d'organismes vivants avec de nouvelles propriétés à l'aide de plusieurs principes d'ingénierie tels que la standardisation, l'abstraction et la modularité.

La table avait pour objectif d'enseigner les principes d'abstraction et de modularité à ses utilisateurs ainsi que de faciliter la conception de programmes génétiques et communiquer les étapes d'un protocole de biologie synthétique. Enfin, un dernier objectif est de permettre à l'utilisateur de réaliser un cas d'application qui consiste à résoudre des problèmes liés à la survie sur Mars.

Les objets tangibles de cette table représentent des *BioBrick*, des pièces biologiques composant un programme génétique. Ces pièces peuvent stocker de l'information, à savoir des gènes. Deux gènes sont nécessaires pour former un programme génétique. Un premier représente une ressource à consommer et le second un élément à produire. Plusieurs combinaisons sont possibles et l'utilisateur, en réalisant des combinaisons, peut les stocker dans une cellule de bactérie sur l'écran de la table. Une réaction se produit alors et une colonie de bactéries se forme. Une simulation sur Mars avec cette colonie est alors lancée. La simulation voit les bactéries rassembler des ressources définies par le premier gène et produire des éléments définis par le second.

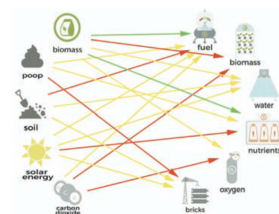


FIGURE 4.1 – Exemples de combinaisons de gènes possibles

L'utilisateur peut alors avoir un feedback sur l'évolution de la colonie et voir si elle survit au fur et à mesure que les ressources fournies sont consommées et les éléments définis sont produits.

Deux versions de cette table ont été réalisées. La première utilise l'interface tangible que l'on vient de définir tandis que l'autre utilise une interface tactile où les tokens sont remplacés par des éléments digitaux. Une étude a comparé ces deux tables. Sur quatre jours d'observations, 103 groupes de visiteurs ont testé le système. Les versions ont été alternées plusieurs fois de manière à avoir un nombre équivalent de groupes pour chaque version. Toutefois, le nombre de visiteurs n'étant pas constant en fonction des heures, il y a eu plus de groupes utilisant la version tangible que de groupes utilisant la version tactile. Au niveau du temps d'utilisation, la plupart des groupes restaient plus de 4 minutes et environ un cinquième des groupes restaient plus de 7 minutes, peu importe la version. L'appréhension du système donne plus ou moins de bons résultats puisque l'utilisateur mettait environ une minute à en comprendre le fonctionnement. Il en est de même pour l'enthousiasme. Au niveau de la collaboration, la plupart des observations montrent qu'environ la moitié des groupes collaborent.

Au final, peu de données quantitatives ont permis de trouver de réelles différences entre les deux versions. En revanche, des données qualitatives ont permis de les distinguer. Il a notamment été observé que la collaboration a été meilleure dans le cas de la version tangible qui permet également une meilleure expérimentation de l'interface en dehors de la conception de programme génétique. Les utilisateurs y sont plus concentrés sur la combinaison de gènes tandis que sur la version tactile, ils se préoccupent plus de la simulation sur Mars.

Une table en réalité augmentée pour explorer la surface de la Lune [6]

Un autre cas de table interactive en réalité augmentée est celle développée pour le musée des sciences et de l'industrie de Chiba, au Japon. Cette table fait suite à une autre développée par le même groupe de recherche et qui utilise un environnement WIMP (Windows, Icons, Menus et Pointing device) au lieu d'un environnement en réalité augmentée.

Le système permet de parcourir des informations géographiques de la lune à l'aide de deux principaux outils : une carte de sa surface et des marqueurs. L'utilisateur peut, en explorant la carte et un marqueur identifiant la position souhaitée sur la carte, consulter des informations sur les découvertes de la mission Apollo 17, une mission d'exploration géologique faite en 1972.



FIGURE 4.2 – Vue du système

Le système a été conçu en tenant compte de plusieurs facteurs et devaient donc permettre, en plus des interactions physiques avec les éléments tangibles, les interactions en groupe, comme pour la plupart des interfaces disposées dans des espaces publics. D'autre part, il était important que l'utilisateur puisse utiliser le système sans trop de difficulté et que le système soit esthétique. Sa conception devait être la moins coûteuse possible. Enfin, le système a été conçu de manière à ce qu'il puisse être installé assez rapidement.

Trois types d'interactions ont été conçus. Le premier permet de sélectionner une zone géographique sur la carte à l'aide d'un premier élément tangible en forme de loupe sur lequel est imprimé un marqueur. L'utilisateur place la loupe devant la zone à sélectionner ; celle-ci commence à alors à zoomer sur la zone visée et, si cette zone correspond à celle que l'utilisateur souhaite, le système valide la sélection. Si, par contre, la loupe zoome sur une zone adjacente à celle voulu, l'utilisateur la déplace pour que la sélection soit correcte. Le deuxième type d'interaction consiste en l'utilisation d'un curseur sur une barre de progression qui permet de parcourir une route sur la carte en glissant le curseur sur la barre. Du fait que ces routes peuvent être longues de près de 35 km, le système stabilise les mouvements du curseur pour éviter de trop grosses variations lorsque l'utilisateur souhaite parcourir de petites distances. Enfin, la dernière interaction permet à l'utilisateur d'avoir une vue locale sur la zone qu'il a sélectionnée à l'aide d'un marqueur de grande taille sur laquelle apparaît l'image de la vue. La marqueur affiche alors des vues animées du paysage de l'endroit sélectionné avec la loupe.

Une première expérience s'est déroulée afin de savoir si les performances de la table étaient suffisantes pour envisager son exposition dans le musée. Les résultats s'étant avérés positifs, l'étape suivante était de la faire tester par le plus de personnes possible. Environ 186 individus ou groupes ont été observés durant cette exposition, la plupart étant des familles. Un assistant était disponible pour expliquer

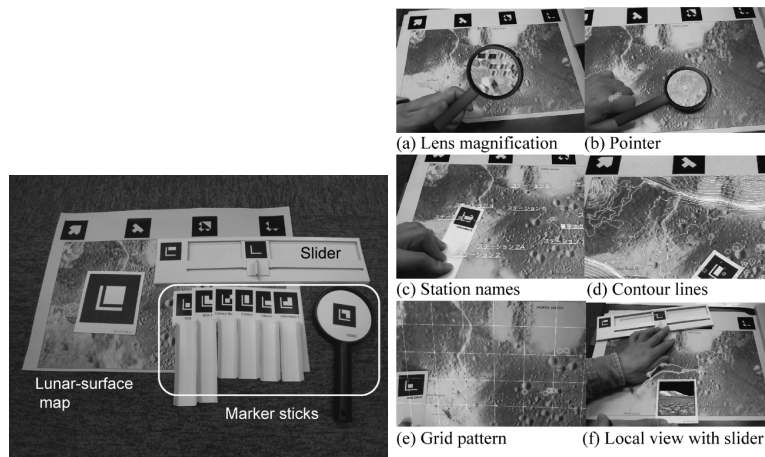


FIGURE 4.3 – Les outils d’interaction avec la carte

comment utiliser la table. Les utilisateurs pouvaient remplir un ensemble de questionnaires pendant qu’ils l’utilisaient. Des questions sur leur appréciation de la table leur furent posées.

Les résultats sont relativement positifs dans l’ensemble, que ce soit en matière de satisfaction ou d’utilisabilité du système. Il n’y pas de différence significative entre les adultes et les enfants de manière générale si ce n’est que les enfants ne lisent pas les annotations que le système affiche pour mieux comprendre son fonctionnement. Cette légère différence ne semble pas avoir d’impact sur leur compréhension du système. Certains adultes, manifestement plus accoutumés aux interfaces WIMP, ont toutefois précisé qu’une interface de ce type serait, selon eux, plus appropriée pour ce genre d’application.

Le système semble être utilisable par les enfants mais certains commentaires négatifs montrent que l’interface doit tout de même être un peu améliorée.

La table facilite la collaboration entre utilisateurs et les impressions positives montrent que les exigences en matière d’interaction physique et collaborative, d’esthétique et d’utilisabilité sont remplies.

L’utilisation de la réalité augmentée apporte une réelle plus-value aux interfaces tangibles. Toutefois, comme déjà expliqué, nous n’utiliserons pas de réalité augmentée dans le cas de notre projet. En effet, la réalité augmentée renforce l’esthétique et sans doute l’attractivité de l’interface mais ajouter des éléments de réalité augmentée à notre interface tangible nous aurait pris trop de temps pour terminer la conception de la table à temps. On constate cela avec les retours d’expérience qui indiquent que la table est acceptable mais doit quand même être améliorée. De plus, un assistant a dû être présent pour donner des explications. Or, il vaut mieux pour les systèmes accessibles au grand public d’avoir une interface suffisamment explicite pour que son utilisateur la prenne facilement en main sans l’aide d’un tiers.

Conclusion

Les quelques cas présentés montrent l’efficacité des tables interactives tangibles en matière d’apprentissage des sciences dans des espaces grand public. De même, les observations concernant leur attractivité donnent de très bon résultats.

Toutefois, la conception des interfaces tangibles pour ces cas d’application pourrait être meilleure. Dans le cas de la table des minéraux, par exemple, un objet tangible représente un minéral qu’il faut définir par après, alors que cela aurait été plus intéressant de définir des objets tangibles différents qui ne peuvent représenter qu’un type de minéral particulier. On se retrouve donc dans une situation où les objets tangibles représentent des informations trop générales qu’il faut spécifier par après alors que cela est plus intéressant de déjà spécifier l’information ou le type d’information que prend l’objet

tangible à l'aide de son design. Dans le cas de la table périodique, nous utiliserons seulement des *tokens* comme objets tangibles et non des *container* ou des *outils*.

D'autre part, la conception pourrait être meilleure également pour la table "Augmented Chemistry" puisque le design des objets, qui servent ici d'outils, n'est pas assez explicite pour comprendre à quoi ils servent. Le cas de la table pour l'exploration de la surface lunaire nous montre également que les réalités augmentées, bien qu'elles semblent renforcer l'esthétique d'une interface et attirer davantage de personnes à l'utiliser, peuvent être limitées et avoir une interface plus compliquée à utiliser par une personne seule. Pour notre projet, nous tâcherons de rendre l'interface la plus simple possible afin que les utilisateurs puissent maîtriser son fonctionnement sans trop de difficulté. Ceci explique pourquoi nous n'aurons pas recours à de la réalité augmentée.

Troisième partie

Développement de La Table Périodique

Pour répondre à notre interrogation sur ce qui peut déterminer l'attractivité des tables interactives en milieu public, nous avons développé la *Table périodique*, une table interactive tangible avec laquelle ses utilisateurs peuvent consulter diverses informations sur chaque atome du tableau périodique des éléments et former des molécules avec ces atomes.

Cette table, conçue à l'aide de *reactTIVision*, a nécessité plusieurs étapes pour qu'elle soit opérationnelle pour le Printemps des Sciences. Tous d'abord, plusieurs discussions ont eu lieu sur les fonctionnalités de la table et les services qu'elle proposerait, qui se doivent d'être en accord avec le thème du Printemps des Sciences.

Ensuite, il a fallu construire une table de manière à ce que l'architecture interne (disposition des pièces situées à l'intérieur de la table) corresponde aux exigences de *reactTIVision*. Le design des objets tangibles fut également décidé et conçu à ce moment.

Enfin, en parallèle avec la construction de la table, deux applications ont été développées. La première, réalisée à l'aide du framework *Kivy*, est celle de la table et communique avec *reactTIVision* tout en gérant l'interface de l'écran de la table. La seconde est une API réalisée avec *Ktor* et exécutée sur une seconde machine branchée sur un second écran placé derrière la table. Elle communique avec la première application pour afficher des informations supplémentaires pour l'utilisateur.

Chapitre 5

Exigences de la table

5.1 Contexte

Cette table a été réalisée en collaboration avec et pour le Confluent des Savoirs dans le cadre du Printemps des Sciences 2019. Il s'agit d'un événement de culture scientifique sur un thème donné où les écoles et les familles sont invitées à participer à des activités ou des expériences présentées dans des stands ou à assister à des expositions. Le thème du Printemps des Sciences 2019 est "Elémentaire" et se rapporte à tout ce qui concerne les éléments chimiques du tableau périodique des éléments (tableau de Mendeleïev).

Pour cet événement, le Confluent des Savoirs a souhaité innover dans la présentation d'informations relatives à un concept bien précis. Au départ, les expositions étaient de simples feuilles de textes et d'images. Ses représentants ont alors exprimé leur souhait de remplacer ce système par une solution numérisée.

Plusieurs pistes ont été explorées telles que celle de la réalité augmentée ou de l'informatique mobile avant de finalement décider que le dispositif à concevoir serait une table interactive.

5.1.1 La demande du Confluent des Savoirs

La première exigence est que la table doit être facile à utiliser. Le Printemps des Sciences accueille familles comme écoles, de tous âges et de toutes années scolaires. Un maximum de personnes doivent donc pouvoir l'utiliser.

Le deuxième objectif est le côté ludique du système proposé. Il faut trouver un moyen d'amener l'utilisateur à consulter la table le plus possible et à continuer de s'informer.

Enfin, le système doit être conçu pour pouvoir évoluer et que de nouvelles fonctionnalités puissent être facilement implémentées.

5.1.2 Le Printemps des Sciences

La table fut exposée aux Printemps des Sciences 2019. Différents profils d'utilisateurs ont donc pu évaluer notre table. D'une part, il y a les enfants des écoles primaires et secondaires, ce qui représente des étudiants de tous âges. Les étudiants de primaire, en particulier les plus jeunes, peuvent être beaucoup moins soucieux des fonctionnalités du système et se concentrer uniquement sur l'aspect ludique. Les étudiants de secondaire peuvent, quant à eux, avoir un réel intérêt à apprendre avec une table interactive du moment que son utilisation reste un minimum ludique. D'autre part, il y a les parents des familles et les professeurs qui peuvent se montrer plus réticents à vouloir utiliser la table par crainte de ne pas en comprendre le fonctionnement.

5.2 Exigences fonctionnelles

Trois principales fonctionnalités ont été développées pour ce projet et le fonctionnement attendu est le suivant : les utilisateurs déposent sur la table des objets représentant les différents éléments du tableau périodique et des informations relatives aux éléments déposés s'affichent. Après plusieurs discussions, il a été décidé qu'un second écran serait utilisé pour afficher davantage d'informations.

Lorsqu'un élément est déposé sur la table, un traqueur doit apparaître sur l'écran de la table au niveau de l'objet. Lorsque l'utilisateur déplace l'objet sur la table, le traqueur doit le suivre.

Fiche technique d'un élément

Chaque fois qu'un élément est déposé sur la table, l'utilisateur peut avoir accès à une fiche technique de l'élément reprenant les informations principales comme son nom, son symbole chimique, son numéro atomique ou encore ses propriétés physiques.

Une fois un élément déposé sur la table, la fiche technique apparaît sur l'écran secondaire. Pour des questions d'espace, nous décidons de limiter le nombre maximum d'éléments pouvant être déposés sur la table à trois sans quoi il y aurait trop d'informations sur l'écran secondaire. Si l'utilisateur dépose un quatrième élément sur la table, un indicateur s'affiche sur l'écran de la table pour indiquer qu'il n'est pas pris en compte.

Informations supplémentaires d'un élément

L'utilisateur doit pouvoir consulter des informations supplémentaires propres à chaque élément. Il s'agit d'informations plus anecdotiques qui concernent l'application de l'élément chimique au quotidien. Il faut donc développer une méthode d'interaction pour consulter et afficher ces informations supplémentaires sans qu'elles ne surchargent l'écran avec les fiches techniques des éléments déposés sur la table.

Pour assurer cette fonctionnalité, le traqueur dispose d'un curseur et de boutons. Chaque bouton correspond à une information supplémentaire à consulter et l'utilisateur peut l'afficher en pointant le curseur sur un bouton. En faisant pivoter l'objet concerné, le curseur tourne autour du traqueur. Une fois un bouton pointé à l'aide du curseur, toutes les fiches techniques de l'écran secondaire font place à une grande fiche contenant l'information supplémentaire.

Formation de molécule

Une dernière fonctionnalité consiste en la formation de molécules. L'écran secondaire doit déduire et afficher les molécules générées lors du dépôt des différents éléments sur la table par l'utilisateur. Par exemple, si l'utilisateur dépose l'élément *hydrogène* et l'élément *oxygène*, la molécule *eau* doit s'afficher à l'écran.

Toutefois, la fonctionnalité ne se limite pas à cela. Afin de rendre le système suffisamment ludique, il a été décidé que la formation de molécules se ferait sous forme d'un jeu où l'utilisateur, en déposant un élément, doit deviner quelles associations il peut former avec d'autres éléments. Ainsi, une fois qu'un élément est déposé sur la table, il faudra que plusieurs flèches de couleurs différentes soit disposées autour du traqueur. La couleur d'une flèche est un indice sur les associations possibles puisque chaque élément appartiendrait à une catégorie de couleur, selon le tableau périodique conçu pour le Printemps des Sciences (cfr. Annexe D - Le tableau périodique des éléments conçu pour le Printemps des Sciences).

Une fois qu'un élément pouvant être associé avec un autre est déposé sur la table, les flèches de couleurs correspondantes des traqueurs pointent l'une vers l'autre et une ligne apparaît pour former la liaison entre les deux traqueurs. Si les associations permettent la formation d'une molécule, les fiches de l'écran secondaire font place à une fiche de description de la molécule.

Une exigence qui doit également être implémentée concernant la formation de molécule : elle n'est considérée comme générée que lorsque la disposition des atomes sur la table correspond à la disposition d'une partie de la représentation schématique conventionnelle de molécule. Dans le cas où les atomes

déposés peuvent former une molécule mais que leur disposition ne correspond pas, des indicateurs sur l'écran de la table doivent apparaître pour montrer l'emplacement exact des atomes. Ces indicateurs peuvent même apparaître avant que tous les atomes pouvant former une molécule soient déposés. Lorsque deux atomes sont déposés et qu'un troisième peut être ajouté pour former des molécules, des indicateurs apparaissent aux emplacements exacts où il faudrait déposer un atome supplémentaire pour former une molécule. Cette dernière fonctionnalité n'a malheureusement pas pu être implémentée par manque de temps.

5.3 Exigences non-fonctionnelles

En plus des fonctionnalités présentées précédemment, d'autres exigences non-fonctionnelles posées par le Confluent des Savoirs doivent également être remplies pour que la table puisse être utilisée dans de bonnes conditions.

Efficacité d'utilisation

L'outil doit pouvoir être utilisé de manière efficace par l'utilisateur. Cela signifie, dans notre cas d'application, que ce dernier peut consulter l'information concernant les atomes et les molécules efficacement sans devoir réaliser des tâches trop complexes. Les gestes avec les objets doivent rester relativement simples et intuitifs.

Robustesse

La robustesse est un paramètre important à retenir : les utilisateurs peuvent faire facilement des erreurs face à un système qu'ils ne connaissent pas. Le souci de performance doit minimiser les limites potentielles techniques inconnues des utilisateurs et le système doit être suffisamment tolérant aux fautes.

Facilité d'apprentissage

Comme pour toute interface publique, l'utilisateur doit pouvoir manipuler la table sans avoir de difficultés à maîtriser ses mécanismes. À nouveau, plusieurs profils peuvent utiliser la table et chacun a sa propre expérience des interfaces. Il faut donc que les mécanismes d'interactions soient relativement simples et explicites.

Expérience utilisateur

Les différents aspects de l'expérience utilisateur seront pris en compte. La table sera conçue de manière à ce qu'elle puisse être ergonomique et accessible à tout type d'utilisateur.

D'autre part, l'interface doit être esthétique pour attirer les regards et donner l'envie d'utiliser la table. Dans le cas contraire, on risque d'avoir une table peu intéressante avec très peu d'utilisateurs pour la tester. Nous nous concentrons également sur le design de l'interface et des interactions. Les informations seront conçues de manière à ce qu'elles puissent être facilement lues.

Chapitre 6

Conception de la Table Périodique

Comme présenté dans l'état de l'art (cfr. Deuxième partie - Etat de l'art), il existe une grande variété de technologies pour la conception de tables interactives. Pour notre projet, nous avons choisi de construire notre table à l'aide du framework *reactTIVision*.

6.1 reactTIVision

Le framework *reactTIVision* est un logiciel de repérage et de suivi de marqueurs fiduciaux open-source spécialement conçu pour l'élaboration d'interfaces tangibles basés sur tables interactives (Framework disponible sur sourceforge.net [31]). Il se présente sous la forme d'une application qui, une fois lancée, utilise la caméra de l'ordinateur qui l'exécute pour repérer les marqueurs et les envoyer sur un port spécifique, le port TUIO (qui correspond au port 3333). La conception d'une application pour une table interactive *reactTIVision* consiste donc en la gestion des données réceptionnées sur ce port.

6.1.1 Architecture générale d'une table reactTIVision

Plusieurs éléments composent l'architecture d'une table *reactTIVision* (cfr. Figure).

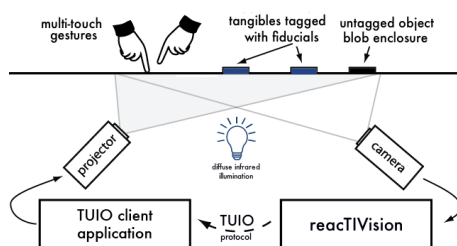


FIGURE 6.1 – Architecture d'une table reactivation [31]

Surface d'interaction vitrée

La surface sur laquelle déposer les marqueurs et projeter l'écran n'est rien d'autre qu'une simple surface vitrée. Cette vitre doit être translucide et non pas totalement transparente. Les marqueurs sont ainsi uniquement détectés lorsqu'ils sont déposés à plat sur la vitre.

Caméra

Le système a bien évidemment besoin d'une caméra afin de reconnaître les marqueurs fiduciaux. Elle doit répondre à des exigences spécifiques pour permettre à *reactTIVision* de les détecter de façon optimale. D'une part elle doit capturer un nombre d'images par secondes de minimum 60 fps (*frame per second*) pour une détection efficace et un suivi fluide. En dessous de 60 fps, l'application risque d'être beaucoup moins fluide, bien qu'elle resterait fonctionnelle. Par ailleurs, en fonction de la surface d'interaction de la table, il faut que la caméra ait un angle de vue suffisant pour couvrir toute la surface d'interaction. La plupart des caméras avec grand angle disposent d'un objectif "fisheye" et capturent une image distordue. Toutefois, *reactTIVision* peut être paramétré à l'aide d'une grille de calibrage pour pallier à ce problème.

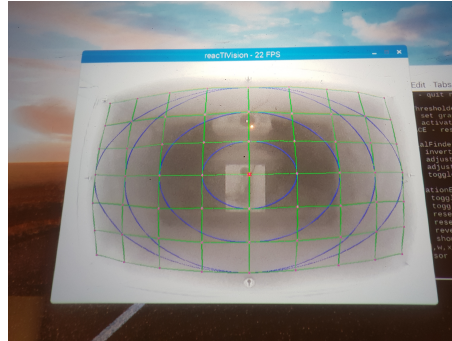


FIGURE 6.2 – *reactTIVision* peut être calibré pour correspondre au rendu de la caméra

Enfin, la caméra doit être infrarouge. En effet : comme l'écran est projeté sur la surface de la table, sous les marqueurs fiduciaux, la détection de ces derniers peut être rendue difficile à cause de la superposition de la projection sur les marqueurs. La détection infrarouge résout cette difficulté.

Eclairage

L'éclairage de la table est important pour que la caméra ait une vision claire de sa surface vitrée. Comme la caméra est infrarouge, l'éclairage devra l'être aussi. En général, la lumière infrarouge utilisée a une longueur d'onde d'environ 850 nm. Une lumière d'une telle longueur d'onde est généralement invisible. L'éclairage peut être assuré par différents dispositifs : il peut s'agir d'un ruban LED disposé autour de la surface d'interaction ou d'un simple projecteur de lumière infrarouge. Le recours à un projecteur peut poser problème car son illumination peut être trop forte, provoquer un effet d'éblouissement et empêcher la caméra de détecter les marqueurs.

Projecteur

Le projecteur doit également remplir une importante exigence. La projection doit couvrir toute la surface d'interaction. On peut avoir recours à un projecteur courte focale. Sa projection peut aussi être reflétée à travers un miroir pour augmenter la surface de diffusion.

Marqueurs fiduciaux

Les marqueurs fiduciaux sont des images définies par le framework *reactTIVision* et sont les principaux éléments traqués par l'application. Les objets tangibles d'une table interactive *reactTIVision* ont tous un marqueur fiduciaire assigné. Chaque marqueur correspond à un identifiant repris dans les données détectées par le port TUIO.

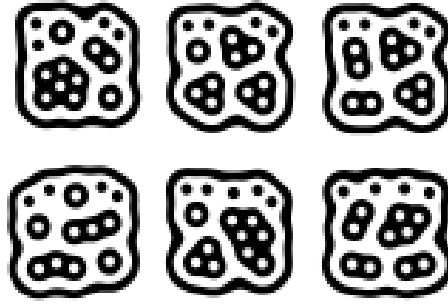


FIGURE 6.3 – Marqueurs fiduciaux définis par reactIVision [31]

Application-client TUIO

Le client TUIO est l'application que nous avons développée pour ce projet. Il consiste à récupérer les données des marqueurs capturées par la caméra et stockées sur le port TUIO pour concevoir un application gérant l'interface de l'écran. Il s'agit donc de l'application où sont définies toutes les fonctionnalités de la table.

6.1.2 Le protocole TUIO

Le framework reactIVision envoie ses données de suivi sur le port 3333 selon un protocole bien particulier : *le protocole TUIO*. Il s'agit d'un protocole conçu pour la réalisation de table interactive et qui définit une interface de communication entre les interfaces de contrôleurs comme reactIVision et les applications sous-jacentes comme le client TUIO que nous avons conçu pour la *Table Périodique*.

Le protocole définit deux types de messages à envoyer sur le port TUIO. Les messages *SENT* sont des messages renseignant sur l'état d'un objet ou d'un élément capté par le contrôleur tandis que les messages *ALIVE* renseignent sur l'ensemble des éléments actuellement sur la table. Plusieurs types d'objets sont définis par le protocole mais un seul sera utilisé dans notre projet : les objets 2D. C'est ce type d'objet qui est réceptionné sur le port TUIO lorsqu'un marqueur fiducial est détecté par reactIVision.

L'objet 2D correspond donc à marqueur fiducial et reprend plusieurs informations relatives au marqueur comme son numéro, les coordonnées sur le rendu de la caméra, l'angle de rotation ou encore ses dimensions. Dans notre projet, nous nous concentrons uniquement sur les numéros des marqueurs pour les identifier, sur leur position pour les mouvements des traqueurs, et sur l'angle de rotation pour la rotation des curseur. Un numéro de session est également attribué à chaque élément enregistré sur le port TUIO.

6.2 La construction de la table

Notre table consiste en un coffre en bois fermé avec, à l'intérieur, les différents dispositifs et matériaux nécessaires à son fonctionnement.

6.2.1 Matériaux

Plusieurs choix de matériaux ont été faits pour la construction de la table.

Surface vitrée

Pour la surface vitrée, nous avons choisi d'utiliser deux plaques de plexiglas. La première est une vitre sablée de 2mm d'épaisseur pour s'assurer de la translucidité de la surface. La deuxième est une simple vitre transparente de 8mm d'épaisseur pour garantir une épaisseur minimale à la surface vitrée. Si on a recours à une vitre translucide de 10 mm d'épaisseur, les objets déposés sur la surface ne sont plus visible à travers la vitre. Si on se contente de n'avoir que 2mm d'épaisseur pour la surface, alors la surface n'est pas stable et s'affaisse en raison de sa grandeur. C'est pourquoi il est important de garder une épaisseur minimale mais également une épaisseur de translucidité limitée.

La caméra

Trouver une caméra qui puisse convenir à reacTIVision n'est pas simple. Si on regarde du côté des webcam USB, par exemple, la majorité ne dépasse pas les 30 fps, ce qui est insuffisant. Les caméras professionnelles sont une solution mais il faut que la caméra puisse faire office de webcam sur l'ordinateur via le port USB pour que reacTIVision puisse la détecter et lancer son application.

De même, il est n'est pas aisé de trouver une caméra infrarouge car la majorité des caméras ont justement un filtre qui les empêche de voir la lumière infrarouge. La plupart des caméras de surveillance sont infrarouges mais, de nouveau, rien ne garantit qu'elles sont compatibles pour fonctionner sur reacTIVision. Un angle de vue suffisant et un nombre minimum de fps sont également rares pour ce type de caméra.

Nous avons finalement opté pour une caméra pour Raspberry avec un capteur *ov5647*. Ce dernier permet d'enregistrer un grand nombre d'images par seconde (60 fps) pour une résolution de 720 p et dispose d'un objectif *fisheye* qui lui donne un angle de vision de 150°. Elle n'a pas de filtre bloquant la lumière infrarouge mais elle n'a pas non plus de filtre bloquant la lumière visible, ce qui est nécessaire pour éviter que l'écran de la table n'obstrue les marqueurs fiduciaux. Pour résoudre ce problème, nous avons eu recours à un filtre infrarouge pour objectif d'appareil photo d'environ 52mm. La conception d'une monture réalisée avec une imprimante 3D permet de maintenir le filtre devant la caméra.

Le dernier problème que cette caméra peut poser est la qualité de sa capture d'image qui est limitée et oblige notre table à ne pas avoir trop de distance entre la surface d'interaction et la caméra.



FIGURE 6.4 – En fixant le filtre devant la caméra, la caméra ne voit plus que les éléments qui apparaissent dans la lumière infrarouge

Vidéo-Projecteur

Pour la projection de l'écran de la table, nous avons choisi un vidéo-projecteur Optoma GT1080Darbee. Sa surface de projection est suffisante pour couvrir presque toute la surface d'interaction.



FIGURE 6.5 – Optoma GT1080Darbee

Éclairage

L'éclairage fut aussi difficile à mettre en place. Au départ, il a été décidé qu'un projecteur infrarouge serait utilisé pour éclairer. Toutefois, le projecteur illuminait la table à un point qu'il éblouissait la caméra et rendait la détection de marqueurs fiduciaux très difficile sur toute une zone de la table. Nous avons donc finalement opté pour un ruban LED infrarouge disposé autour de la surface vitrée.

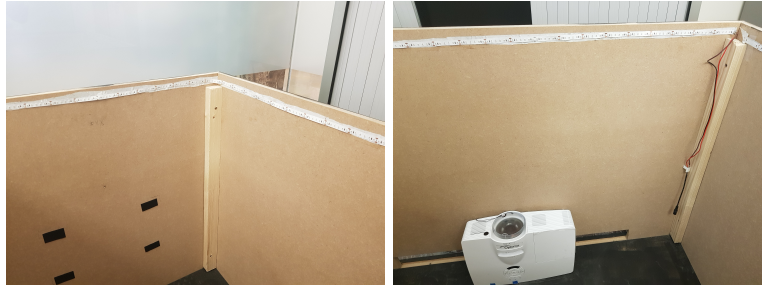


FIGURE 6.6 – Les rubans LEDs sont fixés aux parois de la table au niveau de la surface vitrée

Ordinateur

Pour l'ordinateur qui exécute le client TUIO et l'application reactIVision, nous nous sommes reposés sur une Raspberry parce que la caméra utilisée n'est compatible qu'avec ce genre de dispositif. Nous avons tout de même opté pour le modèle le plus récent, à savoir une Raspberry Pi 3 Modèle B, mais il est probable que les performances du client TUIO soient malgré tout limitées en raison des capacités de ce genre de dispositif.

Les objets tangibles

Nous avons choisi un design relativement simple pour les objets tangibles. Chaque objet représentant un élément du tableau périodique, est une palette que l'utilisateur peut facilement prendre en main. Sur la surface inférieure de la palette est imprimé un marqueur fiducial et chaque objet est identifié par le symbole de l'élément du tableau périodique auquel il correspond. La palette est d'une couleur correspondante à la couleur de son élément sur le tableau périodique conçu spécialement pour le Printemps des Sciences (cfr Annexe D - Le tableau périodique conçu pour Printemps des Science)

Chaque palette est rangée dans un compartiment parmi des armoires. Les armoires sont disposées de manière à avoir un aspect similaire au tableau périodique.



FIGURE 6.7 – Les palettes à déposer sur la table



FIGURE 6.8 – Les armoires pour ranger les palettes

6.2.2 Disposition de la table

La table fut construite avec des planches de bois en MDF et de manière à ce qu'elles puissent être démontées pour être transportées plus facilement.

La vision grand angle nous permet d'avoir une surface d'interaction assez importante. Cette dernière mesure donc 95cm de longueur et 55cm de largeur. Les dimensions totales de la table sont de 120x80x75 (Lxlxh).

En dessous de la surface d'interaction, la caméra est placée au centre, à plat, pour faciliter le calibrage de reacTIVision. Elle est surélevée d'environ 25cm pour s'assurer que reacTIVision distingue bien les marqueurs fiduciaux avec le rendu de la caméra. Le projecteur est disposé à la verticale sur une paroi de la table. Pour finir le ruban LED est disposé tout autour des plaques en plexiglas.

La Raspberry est placée à côté de la caméra et est branchée au vidéo projecteur. Comme elle ne dispose que d'un seul port de sortie vidéo, elle ne pourra pas être branché au second écran. Nous aurons donc recours à un second ordinateur qui se chargera de mettre à jour l'interface du second écran en mettant des API au service de la Raspberry.

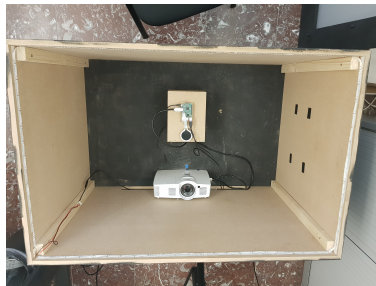


FIGURE 6.9 – Disposition de la table et des matériaux qui la compose

6.3 Conception de l'application

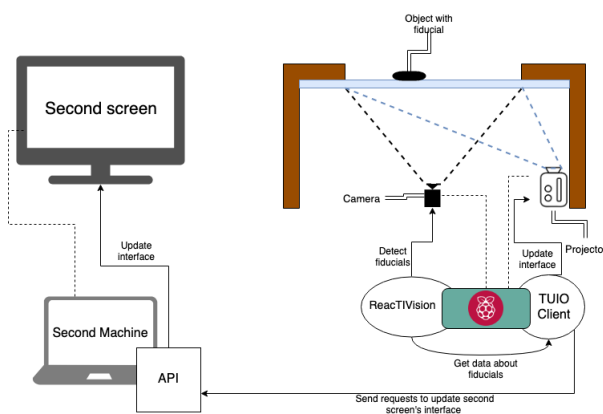


FIGURE 6.10 – Schéma du système de la Table Périodique

L'application consiste à programmer un client TUIO de manière à ce que lorsqu'un marqueur fiduciaire est déposé sur la table et est reconnu par reactTIVision, l'écran de la table affiche un traqueur au niveau de ce marqueur et le second écran affiche la fiche technique de l'atome correspondant. Pour cela, deux applications ont été développées, à savoir une par écran. La première sera le client TUIO et consistera en la gestion de l'interface de l'écran de la table tandis que la seconde sera une API gérant l'interface du second écran. Ainsi, lorsqu'un marqueur est déposé sur la table ou en est retiré, le client TUIO va mettre à jour l'écran de la table et lancer les requêtes API nécessaires pour en faire de même avec le second écran.

6.3.1 La base de données

Le client TUIO ainsi que l'API du second écran ont besoin d'une base de données pour stocker les données concernant les atomes et les molécules (cfr. Annexe A. - Schéma de la base de données).

Nous avons choisi d'avoir recours à une base de données MySQL. D'une part, nous avons les atomes qui ont chacun des données basiques telles qu'un symbole, un nom, un numéro atomique mais aussi un ensemble d'informations supplémentaire sur l'utilisation au quotidien de l'atome. Chaque atome possède également une date de découverte, des propriétés physiques et une représentation atomique définie par un nombre de protons, de neutrons et un ensemble de nombre d'électrons. D'autre part, nous avons les molécules qui ont, pour pouvoir déterminer les liaisons entre atomes dans le client TUIO, une architecture beaucoup plus complexe. Chaque molécule est représentée avec des informations telles que son nom complet et sa formule chimique mais, afin de déterminer ce qui compose cette molécule, nous avons aussi représenté chacun des atomes qui la composent et, pour chacun, nous avons représenté les liaisons qu'il a avec les autres composants. Une telle complexité fut nécessaire afin d'assurer que le client TUIO puisse reconnaître la formation de molécule.

6.3.2 Le client TUIO

Le client TUIO est l'application qui est exécutée par la Raspberry en parallèle avec reactTIVision. En ce qui concerne la détection et la gestion des marqueurs fiduciaires avec reactTIVision, il existe des bibliothèques pour plusieurs langages de programmation permettant de gérer le protocole TUIO et de récupérer les données du port qu'il utilise. Par exemple, pyTUIO est la bibliothèque de référence pour la gestion du protocole TUIO sur Python. Toutefois, reactTIVision, en plus de proposer des bibliothèques

0. cfr. Annexe A. - Schéma de la base de données

TUIO, propose également des frameworks permettant de gérer l'interface d'une table interactive plus simplement. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser le framework *Kivy*.

Kivy

Kivy est un framework Python qui permet de créer de manière rapide des applications ayant recours à des méthodes d'interactions innovantes comme les interactions multi-tactiles ou les interactions tangibles (Framework disponible sur kivy.org [1]).

Un des principaux avantages que Kivy apporte est qu'il dispose de son propre interpréteur du port TUIO. Ce dernier est alors considéré comme un *input provider*. Chaque ajout d'un objet sur le port est considéré comme un input d'insertion, chaque mise à jour d'un objet est considérée comme un input de mouvement et chaque suppression d'un objet du port TUIO est considérée comme un input de suppression. Kivy permet de gérer facilement ces différents inputs grâce à des fonctions de base à surcharger.

La gestion d'une interface avec Kivy se fait de manière assez simple. Chaque élément de l'interface est défini comme un *Widget*. Chaque *Widget* est lui-même défini à partir d'autres Widgets et d'éléments basiques comme des formes géométriques, des textes ou des lignes.

Par exemple, pour notre interface, nous définissons le traqueur d'un marqueur fiduciaire comme un *Widget* composé d'un texte, correspondant au nom de l'atome qu'il représente, ainsi que de plusieurs *Widgets*, à savoir un cercle d'une couleur correspondant à celui de l'élément, d'un curseur, de plusieurs flèches indiquant les associations possibles (dans notre implémentation, nous avons appelé ces flèches "clusters" pour les distinguer du curseur) et de boutons pour sélectionner des informations supplémentaires. Le curseur est défini par une flèche de couleur noire. Le cluster est défini par une flèche d'une couleur correspondant à celui de l'élément auquel il peut être associé. Le bouton est défini par un cercle de couleur blanche (verte lorsqu'il est pointé par le curseur) et par un texte représentant le titre de l'information supplémentaire qu'il représente.

Architecture logicielle et fonctionnement du client TUIO¹

L'architecture logicielle de l'application est principalement composée de trois grandes parties : l'*Interpreter*, l'*Interface manager* et les *Data Access Objects*. Une quatrième partie est utilisée par les trois parties précitées : la partie *Entities* qui reprend toutes les entités manipulées par le programme.

L'*Interface manager* est l'ensemble des objets gérant l'interface de la table et définissant les différents *Widgets* pouvant apparaître à l'écran. C'est également lui qui gère les inputs et donc le suivi des marqueurs fiduciaires par *reacTIVision*. Une fois qu'un objet est déposé sur la table, l'*Interface manager*, à l'écoute du port TUIO par l'intermédiaire de l'input provider de Kivy, reçoit un message et récupère les données sur le port TUIO. Il instancie un traqueur (*Tracker*), récupère les données de l'atome correspondant et envoie une requête API pour afficher les informations relatives à l'élément correspondant sur le second écran. Il procède de la même manière lorsqu'un élément est retiré. Lorsque plusieurs objets sont déposés sur la table, l'*Interface manager* communique ses données à l'*Interpreter* pour savoir s'il existe des relations entre les atomes. Si tel est le cas, l'*Interface manager* instancie une liaison (*Matchink_Link*) entre les traqueurs concernés et met à jour les clusters à afficher autour des traqueurs. Si ces liaisons peuvent former une molécule, l'*Interface Manager* renvoie une requête API.

L'*Interpreter* sert principalement à déterminer les liens entre les atomes présents sur la table et à déterminer si des molécules peuvent être formées. Ainsi, l'*Interpreter* est composé d'un *Matcher* qui renvoie les liens possibles à l'*Interface Manager* et, s'il y a suffisamment de liens pour composer une molécule, renvoie la molécule formée. On considère qu'une molécule est formée lorsque tous les atomes déposés sur la table font partie de la molécule et que la molécule n'a pas besoin d'un autre atome pour être formée. Par exemple, en déposant l'atome H et l'atome O, on forme l'eau. Pour pouvoir déterminer les liens entre les atomes et les molécules formées, l'*Interpreter* a besoin de données fournies par les *Data Access Objects*

1. cfr. Annexe B. - Architecture logicielle du client TUIO

Les *Data Access Objects* sont les différents objets d'accès à la base de données. Il renvoie les atomes et les molécules sous forme d'entités définies par l'architecture et détermine quelle molécule peut être formée à partir d'un ensemble d'atomes.

Plusieurs entités sont définies dans le programme pour être utilisées par l'*Interpreter*, l'*Interface Manager* et les *Data Access Objects*. Ces entités correspondent aux différents types d'objets que l'on peut retrouver dans notre base de données. Elles sont instanciées par un *Data Access Object* au moment de récupérer des données, envoyées à l'*Interpreter* pour les traiter, et affichées sur l'interface à l'aide de l'*Interface manager*. Parmi elles, nous avons bien sûr des entités pour représenter les atomes et les molécules mais nous en avons aussi détaillant un peu plus un composant de molécule ou encore une relation entre deux atomes (que nous avons appelée "matching") pour former un molécule.

6.3.3 L'API du second écran

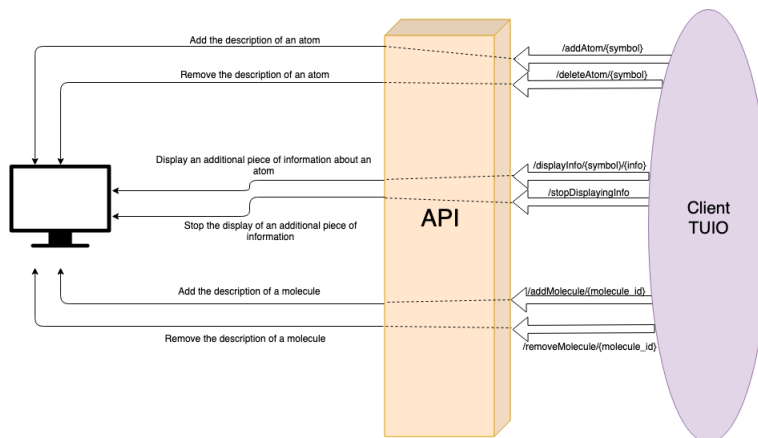


FIGURE 6.11 – Schéma des requêtes API

Le second écran doit nécessairement être géré par une autre application car la Raspberry ne permet pas d'avoir deux écrans branchés distincts. Nous avons donc eu recours à une API qui, en fonction des requêtes qu'elle reçoit, met à jour l'affichage du second écran. Le client TUIO peut donc manipuler le second écran grâce à des requêtes API, à condition que l'application du second écran et le client TUIO soient sur le même réseau.

Pour la conception de cette API, nous avons eu recours à un autre framework : *Ktor*

Ktor

Ktor est un framework orienté web qui permet de concevoir des serveurs et clients asynchrones sous le langage de programmation Kotlin. Il permet ainsi de construire de façon très simple des applications connectées comme des services HTTP ou encore des applications web ou mobiles [2]. Cette technologie a été choisie à la suite du langage de programmation choisi pour développer l'ensemble de l'application : Kotlin.

Kotlin est un langage de programmation fonctionnel et orienté objet développé par JetBrains qui permet de développer du code compilable pour les machines virtuelles Java et Javascript. Ainsi, un script écrit en Kotlin peut utiliser des bibliothèques écrites en Java et un script écrit en Java peut utiliser des bibliothèques écrites en Kotlin.

Pour ce qui est de la gestion de l'interface du second écran, nous utilisons la bibliothèque *JavaFX*.

Les requêtes API

Plusieurs requêtes API ont été définies pour qu'un programme externe comme notre client TUIO puisse gérer l'interface du second écran à distance. Les requêtes peuvent nécessiter des paramètres pour spécifier quelles données doivent être traitées (par exemple, pour l'ajout de la fiche descriptive d'un atome à l'écran, il faut spécifier dans la requête API le symbole de l'atome dont il est question) mais toutes les requêtes doivent avoir un paramètre en particulier, à savoir un token d'identification. Il s'agit d'une simple chaîne de caractère qui sert de clé pour exécuter la requête. Si la chaîne de caractère n'est pas bonne, alors la requête ne sera pas exécutée. Ce mécanisme a été ajouté pour éviter que d'autres programmes, en dehors du client TUIO, puissent agir sur l'interface du second écran.

Parmi les requêtes, on a bien sûr les requêtes d'ajout et de suppression de fiche descriptive d'atome. Ces requêtes sont lancées par le client TUIO lorsqu'un objet est déposé ou retiré. Lorsqu'une requête d'ajout est reçue, l'API vérifie qu'il n'y a pas moins de trois atomes affichés à l'écran (puisque nous avons limité le système à maximum trois atomes pouvant être supportés). Si l'écran affiche trois atomes, alors l'API n'affiche pas de fiche descriptive supplémentaire. En revanche, si l'écran affiche moins de trois atomes, alors la fiche descriptive demandée est ajoutée à l'écran. Lorsqu'une requête d'ajout est sollicitée, l'API vérifie que la fiche descriptive de l'atome dont il est question est bien à l'écran. Si c'est le cas, elle le retire mais ne fait rien dans le cas contraire.

Nous avons également des requêtes d'ajout et de suppression de fiches descriptives de molécule. Ces requêtes sont lancées par le client TUIO lorsque les atomes déposés sur la table forment une molécule. Lorsqu'une requête d'ajout est reçue, l'API retire de l'écran tout ce qu'il y a (fiche descriptive et fiche d'informations supplémentaires) et y présente la fiche descriptive de la molécule demandée. Lorsqu'une requête de suppression est reçue, l'API vérifie que la fiche descriptive de la molécule dont il est question est bien à l'écran. Si c'est le cas, elle la retire et recharge les fiches descriptives des atomes. Elle ne fait rien dans le cas contraire.

Enfin, les dernières requêtes API consistent en l'affichage ou la suppression de fiches d'informations supplémentaires sur un atome en particulier. Lorsqu'une requête de demande d'affichage d'une information supplémentaire est reçue, il faut que l'atome concerné ait sa fiche descriptive affichée à l'écran, sinon l'API ne fait rien. Lorsqu'une requête de demande de suppression d'affichage est reçue, l'API retire ce qu'il y a sur le second écran et recharge les fiches descriptives des atomes.

Architecture logicielle et fonctionnement de l'API du second écran²

L'architecture de l'API est relativement simple et est composée de trois parties.

Une première partie est celle qui contrôle les commandes API. C'est cette partie que le framework Ktor gère principalement puisque c'est au travers d'un script (*Server.kt*) écrit à l'aide du framework que le serveur de notre API est configuré et c'est dans ce script que nos différentes requêtes sont définies. en fonction de la requête reçue, ce script va mettre à jour l'interface du second écran grâce à une autre partie : le *Screen Interface Manager*.

Tout comme son homologue pour le client TUIO, le *Screen Interface Manager* est chargé de gérer les éléments apparaissant à l'écran. Il définit d'une part le design des éléments tels que les fiches techniques des atomes (*AtomDescription*), les fiches d'informations supplémentaires (*InfosPane*) et les fiches de descriptions d'une molécule (*MoleculeDescription*) et, d'autre part, gère leur instanciation et leur affichage sur le second écran.

La gestion des données est faite à l'aide de services (*MoleculeService* et *AtomService*) et de répertoires (*AtomRepository* et *MoleculeRepository*). Les répertoires se chargent de l'accès aux données tandis que les services se chargent de leur traitement. Quand une requête API est envoyée au contrôleur, le contrôleur fait appels aux services pour récupérer les données. Les services communiquent avec les répertoires pour récupérer les données et les traitent avant de renvoyer les résultats au contrôleur.

Pour finir, comme dans le client TUIO, on retrouve les entités (*Models*). Toutefois, on ne retrouve pas forcément les mêmes entités que dans le client TUIO. Dans le client TUIO, on avait surtout

2. cfr. Annexe C. - Architecture de l'API du second écran

besoin d'entités détaillant la composition d'une molécule pour repérer les combinaisons d'atomes tandis que l'API a besoin seulement, en plus des informations basiques sur les molécules et les atomes, d'entités représentant les informations supplémentaires des atomes(*Info*). Nous représentons les entités d'informations supplémentaires comme étant composées de plusieurs pièces d'information(*Info_Item*) et chaque pièce peut être soit un texte (*Text*) soit un media (*Media*). Chacune de ces pièces a sa propre représentation à l'écran définie par le *Screen Interface Manager* : *TextePane* pour un texte et *MediaPane* pour un média (un *MediaPane* est soit un *ImagePane* si le média est une image, soit un *VideoPane* si le média est une vidéo).

Chapitre 7

Résultats

Dans ce chapitre, nous allons présenter le résultat final du développement de la table ainsi que les limites découvertes tout au long de sa conception. Ces limites peuvent être dues à un manque de performances ou à un manque de temps.

7.1 Produit final

La table remplit parfaitement les fonctionnalités principales qu'elle est supposée accomplir. Lorsque l'utilisateur dépose une palette sur la table, un cercle faisant office de traqueur apparaît en dessous de la palette. La couleur du cercle correspond à celle de la palette. Le nom de l'élément auquel la palette correspond apparaît au dessus du cercle. Lorsque l'on déplace la palette, le cercle suit effectivement les mouvements de la palette. De plus, la description de l'élément apparaît sur le second écran, reprenant le numéro atomique, les caractéristiques physiques, la date de découverte et une image de la représentation atomique de l'élément.

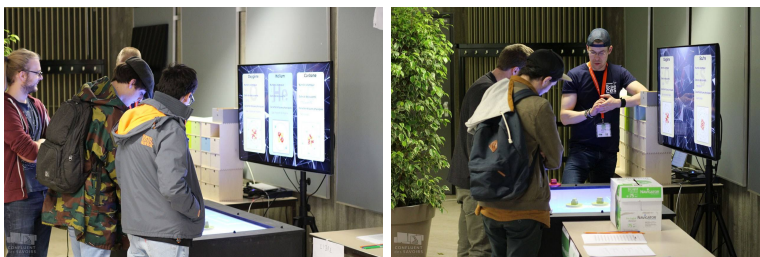


FIGURE 7.1 – Les fiches descriptifs s'affichent sur le second écran lorsque l'on dépose les palettes sur la table

Le cercle est également entouré de flèches de couleurs différentes. Il s'agit des clusters servant d'indice sur les associations possibles. Ainsi, si l'on dépose un deuxième élément de la couleur d'un des clusters du premier élément et que ces deux éléments peuvent s'associer, les clusters correspondants sont liés par une ligne. Des clusters disparaissent des traqueurs. Les clusters restants indiquent les associations pouvant encore être faites.

Le cercle dispose également d'une autre flèche noire qui tourne autour du cercle lorsque la palette est en rotation. En dessous du cercle, il y a des boutons et lorsque la flèche est pointée sur un bouton, le second écran affiche la fiche d'information à laquelle correspond le bouton. Lorsque la flèche est tournée hors d'un bouton, la fiche d'information disparaît et les fiches descriptives des éléments sur la table sont rechargées.

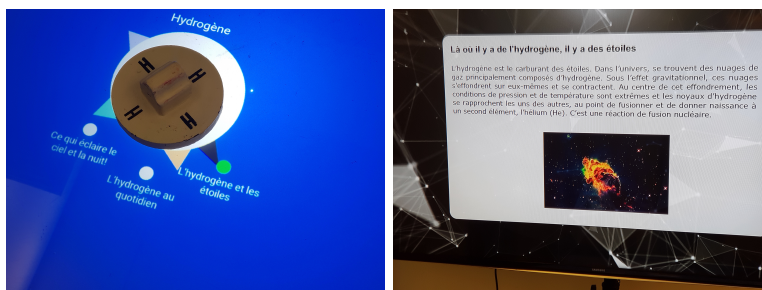


FIGURE 7.2 – Lorsque le titre d’une information est pointé, sa fenêtre s’ouvre sur le second écran

Enfin, en fonction des éléments déposés et des associations qui sont faites, des molécules apparaissent à l’écran. Si les éléments déposés sur la table ne permettent pas de former des molécules, la table l’indique par un texte sur la table. Si l’on dépose plus de 3 éléments sur la table, une croix apparaît à la place du cercle. Pour que l’élément soit considéré par la table, l’utilisateur doit retirer d’autres éléments.

7.2 Les limites

Bien que la table remplit les fonctionnalités demandées, elle montre également certaines limites. Parfois, elle ne remplit pas certaines fonctionnalités de manière optimale. Un cas d’exemple concerne le suivi de la palette par le traqueur. Si le traqueur suit bien le mouvement de la palette, elle le fait avec un certain retard. Ceci est probablement dû aux capacités de la Raspberry qui sont limitées. L’exécution d’instructions peut prendre du temps et, donc, le suivi des objets, l’apparition du traqueur, l’affichage des informations sur le second écran, la détection et l’affichage molécule se font avec un léger retard qui, à priori, n’est pas dérangeant mais qui, lorsque l’utilisateur dépose, déplace et retire les palettes sans se soucier de ce que la table ou le second écran affiche, rend les réactions de la table incompréhensibles puisqu’elle accumule un retard considérable qui fait que l’utilisateur ne comprend plus ce qui se passe sur la table et le second écran.

Une autre limite du système est la détection d’objets tangibles sur les extrémités de la table. En effet, du fait que la caméra possède un objectif fisheye, plus un marqueur fiduciaire s’éloigne du centre de l’objectif, plus il apparaît de manière distordue sur la capture d’image de la caméra. Les marqueurs sont quand même détectés mais difficilement, ce qui a pour conséquence de produire un effet de clignotement où le marqueur fiduciaire est détecté puis ne l’est plus dans la seconde qui suit. On retombe donc sur un problème similaire à celui défini précédemment puisque les instructions d’ajout et de suppression d’un élément s’exécute en boucle et ce problème est plus prononcé si les ajouts déclenche une détection d’une molécule.

Le programme de la table peut avoir certaines lacunes au niveau du chargement des clusters. Dans des conditions bien spécifiques, il arrive que le programme ne recharge pas tous les clusters pour un traqueur à la suppression de traqueurs voisins.

Pour finir, une dernière limite est la taille du contenu proposé par la table. En effet, tous les éléments du tableau périodique n’ont pas pu être fait à temps pour le Printemps des Sciences. La conception de palette et, surtout, la collecte d’informations sur les différents éléments ayant pris beaucoup de temps, le nombre d’objets tangibles disponible a dû être limité. De même, concernant les molécules, plusieurs limites sont à considérer. Outre le fait que le nombre de molécule est également limité à cause du temps pour les mêmes raisons, le système de la table ne permet pas de faire des combinaisons multiples (avoir plusieurs molécules possible pour un même ensemble d’éléments déposés sur la table) et il ne pourra pas y avoir plusieurs molécules étant composé du même ensemble d’atomes dans le système. Aussi, la récolte d’informations pour les atomes ayant pris trop de temps, nous avons pas eu le temps d’en faire de même pour les molécules. Lorsqu’une molécule est trouvée, nous nous sommes donc contentés

d'afficher un modèle 3D de sa représentation moléculaire ainsi que sa représentation schématique.

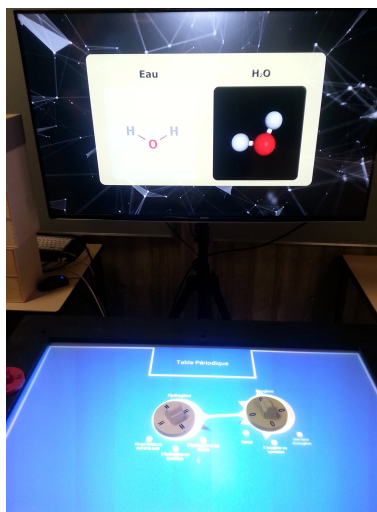


FIGURE 7.3 – Lorsque les liaisons permettent de former une molécule, le modèle 3D de la molécule en question apparaît sur le second écran

7.3 Conclusion

En ce qui concerne les exigences de la table, elles sont globalement remplies sur le plan des exigences fonctionnelles mais un petit peu moins sur le plan des exigences non-fonctionnelles. Comme déjà présenté (cfr. 7.1 Produit final), la table remplit toutes les exigences fonctionnelles qu'elle doit remplir. Il est difficile de déjà déterminer si les exigences non-fonctionnelles sont remplies sans la faire valider par les utilisateurs mais on peut déjà voir si certains sont remplis ou non. En observant les limites de la table, on peut constater que la robustesse du système est limitée mais permet tout de même à la table de fonctionner sans trop d'erreurs ou de latence lorsque l'utilisateur ne se précipite pas dans ses interactions avec. Les autres exigences seront évaluées par l'utilisateur. La table, malgré ses limites, remplit les conditions suffisantes pour être exposée et évaluée au Printemps des Sciences.

Quatrième partie

Validation

Chapitre 8

Méthode d'évaluation

La table fut évaluée par les étudiants et familles présents au Printemps des Sciences 2019. L'objectif était de déterminer l'attractivité de la table sur plusieurs aspects. Nous avons procédé de deux manières différentes. D'une part, nous avons observé les différents groupes et personnes utilisant la table pour tenter d'en déduire les qualités et pour comprendre ce qui a suscité l'intérêt des utilisateurs. D'autre part, nous avons eu recours à un questionnaire que chacun a pu remplir pour mesurer différentes caractéristiques de l'expérience utilisateur.

8.1 Observation des participants

Les observations ont porté sur les types de personnes qui pouvaient utiliser la table et sur les principales fonctionnalités utilisées par ces personnes. Les observations avaient également pour objectif de relever les remarques évoquées par les utilisateurs ainsi que leur ressenti sur la table, les points forts et les points faibles qu'ils lui trouvent. Cette partie de l'évaluation est donc plus orientée sur la récupération de données qualitatives plutôt que de données quantitatives.

8.2 Questionnaires

Une autre méthode d'évaluation également utilisée est le recours à un questionnaire à compléter. Nous avons utilisé un type de questionnaire bien particulier : le questionnaire *User Experience* (Questionnaire UEQ¹). Ce questionnaire est très pratique pour mesurer l'expérience utilisateur et a l'avantage d'être rapide à remplir. Il permet de mesurer plusieurs aspects de l'expérience utilisateur tels que l'attractivité, la compréhensibilité, l'efficacité, la contrôlabilité, la stimulation et l'originalité.

Le questionnaire se présente comme une suite de paires d'adjectifs permettant de qualifier la table. Chaque paire comporte des termes qui s'opposent. Une ligne de cases à cocher se trouve entre ces deux termes contraires et représente la gradation entre eux deux. L'utilisateur coche une des cases pour exprimer dans quelle mesure son évaluation se rapproche des termes proposés.

L'approche utilisée consiste à évaluer chaque attribut que chacun de ces 26 paires permet d'évaluer et à les répartir dans les 6 catégories d'aspect décrites plus tôt (Attractivité, Compréhensibilité, Efficacité, Contrôlabilité, Stimulation et Originalité). Sur base des attributs, ces aspects de l'expérience utilisateurs peuvent être mesurés.

1. Questionnaire disponible sur <https://www.ueq-online.org/>

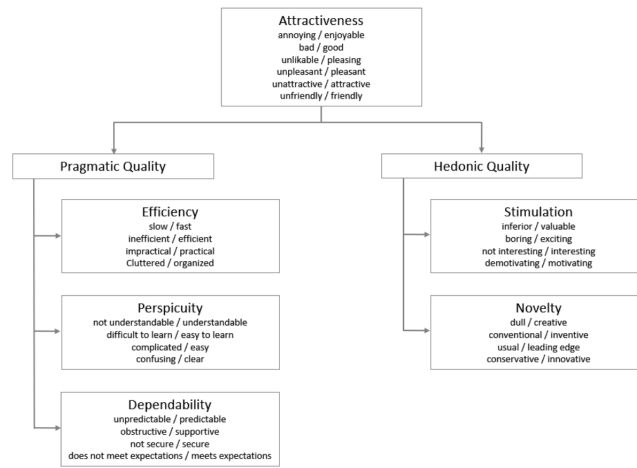


FIGURE 8.1 – Répartition des attributs parmi les 6 aspects de l'expérience utilisateur.

Chapitre 9

Résultats de l'observation

9.1 Déroulement général de la séance d'observation

Le Printemps des Sciences s'est déroulé sur une semaine entière. La première partie, du lundi au vendredi, fut consacrée à des activités réservées pour les écoles des enseignements primaires et secondaires. La fréquentation durant cette période ne fut donc qu'occasionnelle en raison du contexte puisque la plupart des groupes ne pouvaient venir qu'à de courtes périodes entre deux activités. Il arrivait tout de même que des étudiants de l'Université de Namur passent également et s'arrêtent pour tester la table. Le week-end fut consacré aux visites familiales et consistait à des stands libres d'accès et à des expositions. Les fréquentations furent donc plus régulières.

De manière générale, les personnes utilisaient rarement la table individuellement. Ils l'utilisaient souvent en groupe. Le contexte pouvait poser problème pour certaines personnes pour utiliser la table car plusieurs d'entre elles pensaient plus qu'il s'agissait d'une exposition et qu'ils ne pouvaient pas la toucher. Ces personnes semblaient plus attendre qu'une démonstration leur soit donnée.

Au final, 34 groupes d'utilisateurs ont été observés et 22 questionnaires furent remplis. Les questionnaires ont été remplis principalement par les étudiants de secondaire et les adultes. Toutefois, au moment d'analyser les réponses, nous nous sommes rendus compte que certaines paires de termes n'avaient pas été évaluées. Sur les 22 questionnaires remplis, 7 ont au moins une paire de terme non évaluée. L'absence d'avis concernait le plus souvent la valeur ajoutée que la table peut apporter (Apporte de la valeur - Peu de valeur ajoutée) et sa rigidité (Rigide - Facilitant). Pour éviter de contrarier ces outils d'analyse du questionnaire, les paires de termes sans avis ont été fixées à la valeur moyenne (4 sur une échelle allant de 1 à 7 sur le questionnaire).

9.2 Retours de l'impression générale des participants

Plusieurs remarques sur la table ainsi que ses qualités et défauts ont été relevés durant les séances d'observations sur les utilisateurs. Nous avons également observé, parmi les groupes, si les deux principales fonctionnalités étaient utilisées, à savoir la formation de molécule et la consultation d'informations supplémentaires sur un atome. Nous avons remarqué durant ces observations que certaines personnes ne consultaient même pas le second écran. Nous avons donc noté quels groupes consultaient le second écran et, parmi eux, quelles fonctionnalités étaient utilisées. Certains groupes ont utilisé ces deux fonctionnalités, d'autres seulement une des deux.

9.2.1 Les fonctionnalités utilisées

Parmi les 34 groupes, 5 d'entre eux n'ont pas fait attention au second écran. Il s'agissait soit d'étudiants de primaire qui étaient plus fascinés par la table sans réellement chercher à comprendre

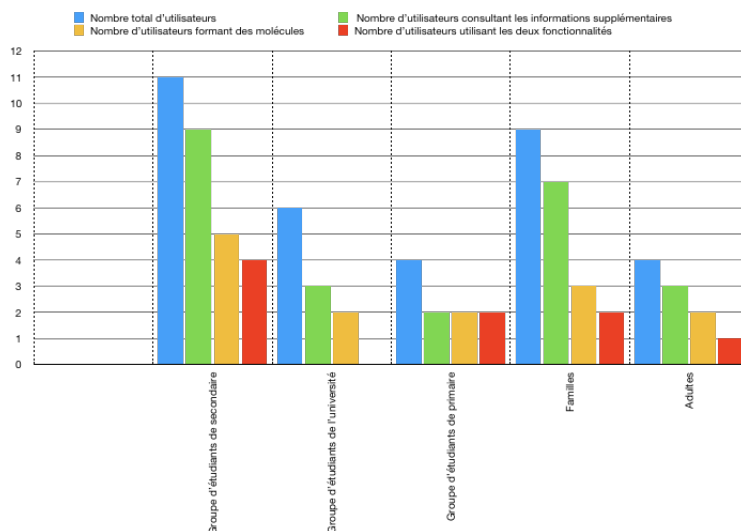


FIGURE 9.1 – Répartitions du nombre d'utilisateurs de la Table Périodique

à quoi elle pouvait bien servir. D'autres étaient des étudiants de secondaire ou de l'université qui consultaient individuellement la table sans s'impliquer réellement dans les interactions possibles avec la table. Sur les 29 groupes restant ayant consulté la table et son écran secondaire, 24 groupes ont consulté les informations supplémentaires sur les atomes et 14 groupes ont utilisé la table pour former des molécules.

Concernant les familles, toutes les familles ont consulté le second écran. La plupart avait tendance à consulter principalement les informations supplémentaires (cfr. Figure 9.1). Très peu ont tenté de former des molécules. C'est également le cas des étudiants de secondaire. Toutefois, on retrouve également un peu plus d'étudiants qui forment également des molécules en plus. Les quelques adultes ayant testé la table seuls ou en groupe se sont également principalement concentrés sur les informations supplémentaires.

Au final, c'est la consultation d'informations supplémentaires qui est la plus utilisée au travers de cette table. Des molécules sont tout de même formées par les utilisateurs mais de manière beaucoup moins fréquente. Cela est dû au fait que rien de suffisamment explicite pour les utilisateurs dans l'interface ne leur permettait de comprendre qu'ils pouvaient former des molécules. Lorsque les personnes formaient des molécules, c'est toujours parce qu'on leur avait expliqué cette fonctionnalité. De plus, il a également été observé que peu d'utilisateurs formant des molécules avaient recours aux clusters servant d'indices. Ils préféraient se baser sur leurs propres connaissances pour les former. La consultation d'informations supplémentaires apparaît sur l'interface de manière plus explicite. Certains utilisateurs ont tout de même pensé que les boutons des informations étaient activables en appuyant dessus avec le doigt.

Les étudiants de primaire sont un cas à part par rapport aux autres types d'utilisateurs. En effet, la table étant libre d'accès à tous les visiteurs, nous avons laissé les enfants des écoles primaires utiliser la table à leur guise. Toutefois, en raison du manque de robustesse et de rapidité d'exécution de la table, l'application avait tendance à se terminer de manière imprévue. De même, les enfants furent plus concentrés sur la partie visuelle de la table et moins sur ses fonctionnalités. C'est d'ailleurs pour cela qu'une partie des utilisateurs n'ont même pas consulté le second écran quand ils l'utilisaient. Pour qu'ils puissent tout de même profiter des fonctionnalités de la table et éviter que l'application ne se termine en permanence devant eux, nous avons donc décidé de ne plus laisser les groupes de primaire utiliser la table et nous avons plutôt fait des démonstrations devant eux. L'utilisation de médias tels que des images ou des vidéos a beaucoup fasciné les enfants.

9.2.2 Les points forts et points faibles relevés auprès des utilisateurs

Les points forts et les points faibles ont été relevés auprès des utilisateurs en observant leur comportement face à la table, leurs émotions, leurs interactions avec les autres membres du même groupe et en relevant les remarques qu'ils peuvent faire au sujet de la table.

Les points forts

Le principal point fort relevé auprès des utilisateurs fait directement référence à l'attractivité de la table, à savoir que l'interface de la table est attrayante. Avant même que la table puisse être utilisée, au moment de lancer les applications, plusieurs étudiants de primaire se sont déjà montrés enthousiastes à la vue de la table. Plusieurs personnes se sont montrées fascinées et intéressées par l'aspect visuel de la table et les interactions qu'il est possible de faire avec, notamment du côté des étudiants de secondaires et des étudiants de l'université. En effet, beaucoup de remarques positives ont été faites par les utilisateurs. Une étudiante de secondaire a même admis préférer apprendre avec ce genre de dispositif plutôt qu'avec les méthodes d'apprentissage traditionnelles. Du côté des étudiants de primaire, les enfants se concentrent uniquement sur l'aspect visuel. Ils considèrent alors la table comme un jeu de par ses méthodes d'interactions innovantes.

Ce point fort est lié à un autre point fort de la table, à savoir son côté ludique qui amène les utilisateurs à continuer à s'instruire en consultant les différents atomes et leurs informations. Les étudiants de l'université et les étudiants de secondaire, en formant des molécules, s'amusaient en tentant différentes combinaisons. Ces derniers consultaient sérieusement les informations disponibles sur le second écran, se questionnaient et s'interrogeaient sur les atomes déposés sur la table. Les étudiants de primaire, par contre, étaient trop jeunes pour aborder cette matière.

Certains étudiants ne sont pas seulement intéressés par la table mais également par sa technologie. Nombre d'entre eux ont montré leur intérêt sur le fonctionnement interne de la table, se posant des questions sur la façon dont la table pouvait détecter et suivre les objets. Certains ont retourné les palettes pour comprendre que les marqueurs fiduciaires en étaient à l'origine tandis que d'autres pensaient qu'une puce était intégrée dans chaque palette.

Enfin, les étudiants pouvaient collaborer ensemble en utilisant la table. On a pu constater cela lorsqu'ils tentaient de former des molécules. En effet, les étudiants communiquaient et échangeaient leurs connaissances pour savoir quelles combinaisons tester.

Les points faibles

Un premier souci déjà cité est la robustesse et la rapidité de la table qui est assez réduit. C'est notamment ce défaut qui pose problème lorsque les étudiants de primaire utilisent la table. Les enfants se précipitent dans leurs interactions avec la table, le système n'arrive plus à suivre correctement les objets traqués. Le système agit en retard par rapport aux interactions de l'utilisateur ce qui rend les réactions de l'application de la table incompréhensibles. En ce qui concerne les autres groupes, les gens prennent le temps de consulter les informations avant de déplacer, déposer ou retirer des objets.

Un autre problème qui ressort des observations est la compréhension qu'ont les utilisateurs sur la manière d'interagir avec la table lors de leur première utilisation. Une bonne partie a cru que la surface vitrée était une interface tactile et n'a pas compris qu'il fallait déposer les palettes disposées autour de la table ou entreposées dans l'armoire. Beaucoup d'utilisateurs ont eu besoin d'une explication sur la façon d'interagir avec la table. Une fois le fonctionnement expliqué, ces mêmes utilisateurs n'ont plus eu aucun souci à l'utiliser. Parfois, certains pensaient devoir appuyer sur les boutons pour que les informations supplémentaires apparaissent au lieu de faire tourner la palette pour faire pointer le curseur sur l'un d'eux. Ce souci de compréhension au premier regard pose davantage de problèmes pour d'autres personnes qui se sont arrêtés quelques temps devant la table mais, ne sachant pas comment interagir avec, n'ont pas osé tenter quoi que ce soit. C'est notamment le cas des adultes. De manière générale, les étudiants n'hésitent pas à tester la table même s'ils ne comprennent pas comment s'y

prendre au début, contrairement aux adultes qui hésitent beaucoup trop à s'aventurer malgré l'intérêt qu'ils peuvent y porter.

Enfin, un dernier souci est lié à la compréhension des informations sur les différents atomes et molécules qu'il est possible de consulter avec la table. En effet, les étudiants de primaire et certains étudiants de secondaire ne connaissaient pas les concepts du tableau périodique et ne consultaient pas les informations que le second écran affichait puisqu'ils ne les comprenaient pas. Une famille a préféré ne pas utiliser la table car les enfants étaient encore trop jeune pour connaître les notions du tableau périodique. Certains adultes, parmi un groupe, ont assez rapidement arrêté leur investigation sur la table lorsqu'ils ont compris que les informations à l'écran portait sur des notions qu'ils n'avaient plus vues depuis des années.

9.3 Résultats des questionnaires

Les réponses au questionnaire sont plutôt positives . Si l'on reprend toutes les caractéristiques évaluées dans le questionnaire, les moyennes sont toutes positives (cfr Figure 9.2). Sur une échelle allant de -3 à 3, elles sont toutes au dessus de 1,5. On notera deux exceptions, à savoir la prévisibilité, qui est restée légèrement positive, et la rigidité, qui a une note un peu plus élevée. La rapidité, l'innovation et la caractéristique avant-gardiste ont également une note légèrement inférieure à 1,5.

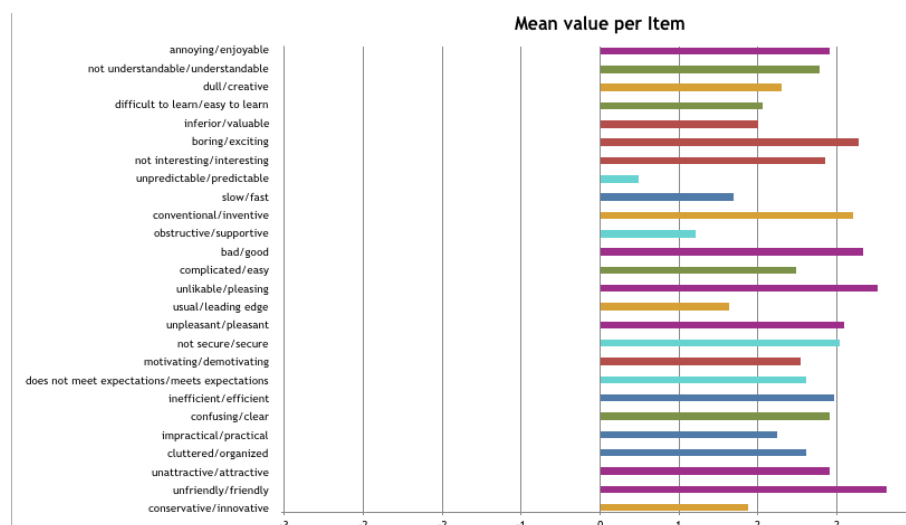


FIGURE 9.2 – Moyennes des réponses au questionnaire

Au niveau de la distribution des réponses données (cfr Figure 9.3), on a de nouveau très peu de réponses négatives pour chaque caractéristique évaluée. Il n'y a pas plus de 3 réponses (sur une échelle de 1 à 7, les réponses allant de 1 à 3) pessimistes pour chacune d'entre elles. La plupart des caractéristiques évaluées ont plus de 75% de réponses positives (les réponses allant de 5 à 7) mais certaines caractéristiques ont un rapport un peu plus équilibré entre d'une part les réponses positives et d'autre part les réponses moyennes et négatives. C'est notamment le cas de la prévisibilité de la table où presque la moitié des personnes ayant rempli le questionnaire ont donné une note moyenne (la réponse 4). La rigidité a également un rapport plus équilibré où la note la plus fréquente est la note moyenne.

Les différentes notes permettent d'évaluer les différents aspects de l'expérience utilisateur (cfr Figure 9.4). Comme pour les moyennes des différentes caractéristiques, les notes qui leur sont attribuées sont situées sur une échelle allant de -3 à 3. Nous avons également relevé la variance de chacune de ces notes. La principale note qui nous intéresse est donc celle de l'attraction qui est la plus élevée par

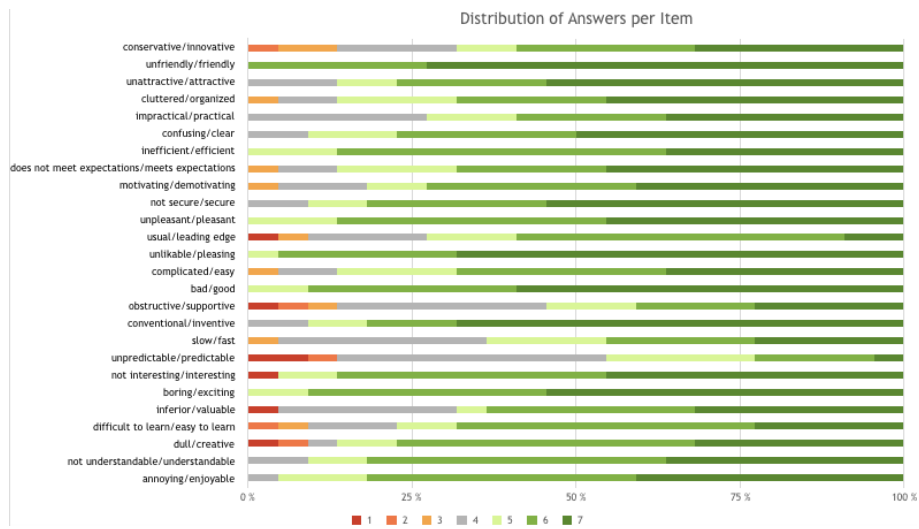


FIGURE 9.3 – Distributions des réponses au questionnaire

rapport aux autres. C'est également la note avec la plus faible variance. Les autres notes sont toutes au-dessus de 1,5 à l'exception de celle de la contrôlabilité qui est légèrement inférieure.

Les résultats du questionnaire UEQ nous permettent également de déterminer quelles mesures sont excellentes et quelles autres sont moins bonnes ou dans la moyenne de ce qui se fait d'habitude. D'après les outils d'analyse de questionnaire UEQ¹, la majorité des mesures présentent des notes excellentes à l'exception, de nouveau, de la contrôlabilité qui reste tout de même dans la moyenne.

1. Outils d'analyse des questionnaires disponibles sur <https://www.ueq-online.org/>

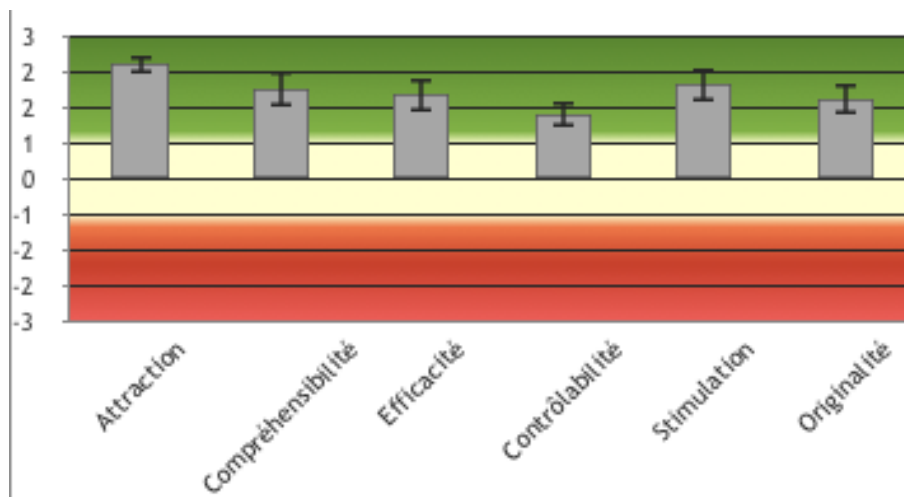


FIGURE 9.4 – Note des différents mesures de l'expérience utilisateur (avec leur variance)

Cinquième partie

Discussions

Plusieurs constats sont sujets à discussion. Il est important d'analyser les défauts de la table et leurs causes mais aussi d'interpréter ces résultats, en considérant les discussions précédentes pour répondre à notre problématique et, donc, déterminer si les tables interactives en milieu public peut être attractives et qu'est-ce qui peut influencer leur attractivité.

Nous parlerons donc dans cette partie des différentes limites et discussions relatives aux observations et aux résultats dans premier temps, puis de ce que peut signifier ces observations et résultats tout en tenant compte de leurs limites.

Chapitre 10

Discussions par rapport aux observations et aux résultats

Quelques remarques et critiques concernant les séances d’observations et les résultats sont nécessaires avant de les interpréter. En effet, quelques soucis et irrégularités durant le Printemps des Sciences ont posé quelques problèmes pour les observations.

Les limites du déroulement du Printemps des Sciences

Certains visiteurs ont eu un regard intéressé envers la table mais ne se sont pas arrêtés pour l’essayer.

En dehors de la raison évoquée dans les observations (cfr. 9.2.2 Les points forts et les points faibles relevés auprès des utilisateurs), cela peut s’expliquer par deux soucis liés au contexte et au déroulement du Printemps des Sciences. Le premier concerne les événements qui ont eu lieu en semaine et qui furent donc destinés aux écoles. Bien que la table est libre d’accès à tous les étudiants, le déroulement des journées en semaine consistait principalement en des activités auxquelles les écoles inscrivaient leurs classes. Chaque classe venait donc pour suivre une série d’activités organisées et les quelques classes qui restaient devant l’accueil n’avaient que très peu de temps libre. Souvent, dans ces cas-ci, les classes restaient à l’accueil juste le temps qu’on vienne les chercher pour suivre la prochaine activité. L’autre raison est liée aux différents problèmes d’hésitation déjà cités. La plupart des activités sont données par un formateur tandis que l’objectif de la table est d’inciter les gens à l’utiliser librement sans avoir besoin de quelqu’un pour leur dire ce qu’ils doivent faire. Ces soucis de contexte peuvent expliquer pourquoi, sur une semaine, seulement 35 groupes ou individus seuls, ont pu être observés et seulement 22 questionnaires ont été remplis. Le manque de temps et d’engagement empêchent les personnes d’utiliser la table dans de bonnes conditions et, donc, de l’évaluer correctement.

La robustesse du client TUIO

Bien que la caméra ait un nombre élevé d’images capturées par seconde, les limites de la Raspberry se fait ressentir au niveau du client TUIO. Le fait que l’application suit les mouvements des objets avec un certain retard est dû à ses performances limitées alors que le même client TUIO aurait sans doute mieux fonctionné avec un meilleur ordinateur. On a donc des données concernant la rapidité et l’efficacité (déjà pourtant bien notées selon les questionnaires) qui pourraient être notées à la baisse. Il serait donc intéressant, pour une prochaine version de la table, de trouver une caméra qui réponde aux exigences de la table et qui permette d’être utilisée sur une machine plus puissante qu’une Raspberry.

Les habitudes des utilisateurs

Les tables interactives, comme montré dans l'état de l'art (cfr. Chapitre 1 - Les tables interactives existantes), peuvent proposer plusieurs types d'interfaces comme des interfaces tangibles ou multi-tactiles. Cependant les interfaces tactiles et multi-tactiles semblent être de plus en plus utilisées et les utilisateurs sont, aujourd'hui, habitués à ce genre d'interface. Ils peuvent confondre les interfaces tactiles avec d'autres interfaces non tactiles. Comme déjà expliqué, il fut régulier de voir des étudiants utiliser leur doigt pour essayer de provoquer une réaction sur l'écran de la table. Vu que les interfaces tangibles sont beaucoup moins fréquentes, les gens ne se rendent pas forcément compte que les objets sont les principaux moyens d'interagir avec la table et pensent donc que, comme il n'y a rien pour interagir avec la table, l'interface de la table est une interface tactile.

Ce constat nous permet de voir que, bien que les interfaces tangibles pourraient être attractives, d'après les résultats des questionnaires et les observations, il y a peut-être un frein concernant l'efficacité ainsi que la facilité d'apprentissage et d'utilisation de ces interfaces, à savoir l'habitude des utilisateurs à faire face à un autre genre d'interface que sont les interfaces tactiles et multi-tactiles.

Chapitre 11

Interprétation des observations et des résultats

Les résultats des questionnaires, les observations et les discussions citées précédemment, nous permettent de tirer certaines conclusions sur les tables interactives tangibles exposées en milieu public, en particulier sur leur attractivité.

11.1 Les tables interactives en milieu public peuvent être attractantes

À la vue des résultats des questionnaires et de la réaction des utilisateurs, on peut considérer que ce qui peut faire justement la force d'une table interactive, c'est son attractivité. Les résultats montrent un score relativement élevé par rapport aux autres notes et les personnes se sont montrées enjouées d'utiliser la table. Les utilisateurs considèrent la table de différentes manières et il est important de déterminer ce qui fait qu'une table interactive peut être attractive.

Une table interactive peut être considéré comme un jeu par ses utilisateurs

Les tables interactives sont attractives auprès des plus jeunes qui les considèrent comme des jeux. Pour eux, les objets tangibles peuvent s'apparenter à des jouets et la table à une zone de jeu. On peut donc de nouveau souligner le côté ludique des interfaces tangibles qui apporte un véritable bénéfice que d'autres interfaces n'ont peut-être pas. Toutefois, si certains aspects ludiques rendent la table attractive, ils peuvent aussi bien amener l'utilisateur à perdre sa concentration sur la tâche à réaliser et à davantage jouer avec l'interface. Comme nous avons pu le voir lors du Printemps des Sciences, les plus jeunes avaient tendance à jouer avec les palettes sur la table sans avoir un réel intérêt pour le second écran. Les étudiants de primaire qui avaient un intérêt pour le second écran sont en fait des étudiants à qui une simulation de la table leur a été montrée sans réellement les laisser l'utiliser.

La table peut donc être vue comme un outil ludique qui peut attirer plusieurs publics mais dont les plus jeunes peuvent avoir davantage tendance à se concentrer sur l'outil en lui-même plutôt que sur la tâche à réaliser. Elle serait plus adaptée à des jeunes plus âgés comme les étudiants de secondaire qui s'amuse en utilisant l'interface tout en apprenant et en lisant les informations du second écran.

Les tables interactives encouragent l'apprentissage collaboratif

En ce qui concerne les jeunes un peu plus âgés (école secondaire) et les adultes en général, les premières observations montrent l'importance de la collaboration dans le processus d'apprentissage. La table interactive invite les utilisateurs à communiquer entre eux pour avancer dans leur apprentissage

des éléments du tableau périodique. Comme beaucoup de tables interactives déjà citées dans l'état de l'art (cfr. Chapitre 1 - Les tables interactives existantes), elles peuvent être attrayantes de par le fait qu'elles proposent d'apprendre en groupe. Toutefois, ce genre de système n'empêche pas les personnes de l'utiliser de manière individuelle.

Cette conclusion rejoint celles venant d'études présentées précédemment (cfr. Partie 2 - Etat de l'art). Les tables interactives, de par leur surface plus importante que celles des tablettes ou des smartphones, permettent à plusieurs personnes de prendre part à des interactions avec la table de manière collective.

Les tables interactives utilisent des méthodes d'interactions innovantes

Ce qui peut faire également l'attractivité d'une table, c'est tout simplement le fait qu'elle utilise des méthodes d'interaction innovantes. Au final, on peut constater des différentes observations que les réactions face à ces méthodes d'interactions peuvent différer d'un public à l'autre. En effet, les adultes sont généralement assez craintifs et ont besoin d'être rassurés avant d'utiliser ce type d'interface. La plupart du temps, ils s'attendent à ce que quelqu'un leur explique comment utiliser l'interface. Les jeunes, quant à eux, sont beaucoup plus engagés et ne vont pas hésiter à essayer l'interface de différentes manières.

On constate aussi que les habitudes de l'utilisateur jouent beaucoup sur son comportement qui peut alors penser à d'autres manières d'interagir qui entrent plus dans ses habitudes. Notamment dans ce cas-ci, lorsque l'utilisateur ne comprend pas qu'il faut utiliser des objets, il a plus tendance à tenter des interactions tactiles.

On peut comparer ce constat avec le cas de la table permettant l'exploration de la surface de la lune (cfr. Chapitre 4 - Les tables interactives liées à l'apprentissage des sciences dans les espaces grand public), où les adultes trouvaient qu'une interface WIMP serait plus adaptée. On peut donc supposer que les adultes, malgré l'attractivité des tables interactives, peuvent préférer avoir une interface plus familière.

11.2 Qu'est-ce qui peut influencer l'attractivité d'une table

Les résultats ont montré que notre table interactive a des bonnes notes en matière d'attractivité. Cependant, certains éléments de nos observations peuvent expliquer ce qui est attractif dans notre table. On peut notamment tirer des premières conclusions sur base des fonctionnalités les plus utilisées.

Des interactions simples et intuitives

Comme cité précédemment, un des gros soucis de la table est l'engagement des personnes qui dépend d'un public à l'autre. Cela est dû au fait que certaines personnes sont craintives faces aux interfaces qui sortent de l'ordinaire mais également au fait que l'interface utilisée n'est pas assez explicite pour comprendre comment l'utiliser sans avoir besoin d'explication. Or, il est important pour une interface en milieu public que son utilisation soit intuitive. Au final, l'utilisateur, s'il ne reçoit pas d'aide, peut difficilement utiliser l'interface de la table, ce qui va forcément avoir un impact important sur son attractivité.

C'est ce qui peut expliquer pourquoi la consultation d'informations supplémentaires est beaucoup plus utilisée que la formation de molécules. En effet, bien que certains utilisateurs ne comprenaient pas forcément qu'il fallait tourner le curseur pour afficher les informations supplémentaires, ils ont très vite reconnu qu'il fallait activer les boutons pour avoir cette réaction. Pour la formation des molécules, une bonne partie des personnes observées ne se rendait pas compte que cette fonctionnalité existait, même en réussissant à créer des liens entre atomes.

L'aspect visuel

Nos résultats confirment l'attractivité de notre table interactive mais on peut également considérer que l'aspect visuel de la table et des éléments de l'interface joue également un rôle important. C'est notamment le cas des plus jeunes, qui, en plus d'être enjoués par les manipulations avec les objets, sont fascinés par le rendu visuel. Bien que l'aspect ludique des interactions que l'on retrouve de manière générale dans les interfaces tangibles est l'élément majeur de l'attractivité des tables interactives, on peut considérer que l'aspect visuel contribue à améliorer cette attractivité.

Un cas que l'on peut citer est le cas du design des objets tangibles. Certains visiteurs pouvaient être hésitants à utiliser la table car les palettes avaient un aspect trop simple pour en déduire leur utilité. Les objets aurait pu prendre un aspect plus explicite pour faire comprendre qu'ils doivent être déposés sur la table mais aussi que des associations entre atomes sont possibles. Cela aurait permis de faire passer des éléments de design de l'interface de la table dans des éléments de design des objets tangibles.

L'accessibilité de l'information

Dans le cas des tables éducatives, l'accessibilité de l'information contribue à l'attractivité de la table. De nouveau, le côté ludique des interactions tangibles peut la préserver dans certains cas comme c'est le cas des étudiants de primaire qui furent très attirés par la table, malgré le fait qu'ils ne connaissent rien du tableau périodique. Une petite fille d'une famille, contrairement aux enfants venus en semaine avec les écoles, a consulté quelques atomes en étant attentives aux différentes informations apparaissant à l'écran. Toutefois, certains adultes ont renoncé à utiliser la table dès qu'ils ont remarqué que cela concernait le tableau périodique.

11.3 Conclusions et critiques

Les résultats de notre étude montrent bien que les tables interactives peuvent être des systèmes attractifs, notamment lorsqu'elles ont recours à des interfaces tangibles. Toutefois, bien que certaines caractéristiques des interfaces tangibles et des tables interactives semblent être déterminantes concernant leur attractivité, en particulier l'aspect ludique que les interfaces tangibles apportent, certains aspects variant d'un système à l'autre peuvent également l'influencer.

Les résultats de notre recherche ne sont toutefois pas sans failles, et certaines faiblesses de la table et de notre étude méritent une recherche plus poussée. Notamment, il serait intéressant, pour une prochaine étude d'améliorer l'accessibilité à l'information, pour qu'elle soit disponible à un public plus jeune qui ne connaîtrait pas encore les notions du tableau périodique, ainsi que la robustesse, pour que la table puisse être utilisée par les enfants sans que l'application termine de manière imprévue et que l'interface puisse suivre les interactions précipitées des enfants sans trop de retard. Améliorer la facilité d'utilisation en simplifiant certaines interactions permettrait également de confirmer que les interactions simples contribuent à l'attractivité d'une interface tangible.

Une seconde recherche permettrait également de récolter davantage de données d'évaluation. En effet, le nombre de données récoltées est suffisant mais tout de même faible et il serait intéressant d'en avoir plus pour que leur évaluation soit davantage représentative.

Un fait qui n'est pas forcément apparent mais qui reste important à relever est la différence entre les adultes et les jeunes, où les adultes, bien qu'intéressés, semblent se montrer plus prudents. Une recherche permettant de confirmer ce constat, d'en approfondir les raisons et de déterminer comment inciter les adultes à utiliser des systèmes aux méthodes d'interaction avancées pourrait également contribuer à déterminer ce qui influence l'attractivité des tables interactives auprès des adultes.

Sixième partie

Conclusion et Travaux futurs

Chapitre 12

Conclusion

Dans cette étude, nous avons présenté la *Table périodique*, développée au Confluent des Savoirs pour le Printemps des Sciences 2019, dans le but de répondre à la problématique de l'attractivité des tables interactives avec une interface tangible en milieu public. Nous avons étudié si les tables interactives avec une interface tangible pouvaient être attractives et de quoi dépendait leur attractivité.

De nombreuses tables interactives ont été développées dans le monde entier, utilisant des interfaces tangibles comme des interfaces avec de la réalité augmentée ou multi-tactiles. Les principaux avantages des interfaces tangibles sont qu'elles peuvent apporter un côté ludique grâce au recours à des objets tangibles pour manipuler de l'information numérique et que, en fonction de la conception des objets tangibles, les interactions peuvent être plus naturelles.

Nous avons développé une table interactive tangible à l'aide de l'application *reactTIVision*, un framework permettant le suivi de marqueurs fiduciaires, qui fait office de tableau périodique interactif. Les étudiants de primaire et de secondaire ainsi que les familles pouvaient y consulter différents atomes sur un second écran et former des molécules à l'aide de palettes à déposer sur la table. Bien que le système fonctionne correctement, il souffre de performances limitées dues aux capacités de la Raspberry qui supporte l'application de la table.

Sur base des observations et des résultats des questionnaires que les utilisateurs ont remplis, nous avons pu constater que les tables interactives basées sur une interface tangible sont effectivement des systèmes de nature attractive grâce à leur côté ludique mais aussi que certains éléments variant d'un système à l'autre peut faire baisser cette attractivité. Notamment, nous avons remarqué que, entre les fonctionnalités de consultation d'atomes et de formations de molécules, la première est beaucoup plus sollicitée car les interactions demandées sont beaucoup plus intuitives que la formation de molécules où les éléments visuels ne sont pas forcément clairs pour l'utilisateur. La table a été testée par plusieurs personnes mais certains groupes ont préféré ne pas l'utiliser, notamment à cause de l'accessibilité de l'information : les concepts du tableau périodique peuvent être trop avancés pour les plus jeunes et parfois un peu loin dans le souvenir des personnes plus âgées. Nous pouvons donc conclure que l'attractivité des tables interactives est, dans l'ensemble, relativement positive.

Toutefois, cette problématique mérite une étude plus approfondie en raison du manque de données et des défauts de la table. Plusieurs améliorations pourraient alors être faites pour effectuer d'autres recherches sur le sujet.

Chapitre 13

Travaux futurs

13.1 Améliorer la table et le divertissement qu'elle apporte

Plusieurs corrections et améliorations peuvent être apportées à la table pour une étude approfondie. Ces modifications tendent à améliorer les performances du système et à corriger les défauts qui pourraient diminuer l'attractivité de la table. Il peut être aussi intéressant d'ajouter une ou plusieurs fonctionnalités. Ces fonctionnalités et ces corrections pourraient également améliorer le côté ludique des interfaces tangibles. Une étude de l'aspect ludique dans les tables interactives pourrait déterminer quels éléments les rendent divertissantes.

Améliorer la robustesse et la rapidité de la table

Comme énoncé précédemment, la table a plusieurs soucis de performances en raison des limites de la Raspberry. Les technologies utilisées peuvent aussi être à l'origine de la baisse de performances. La table pourrait ainsi changer d'équipement et utiliser une caméra qui puisse être reconnue par `reactIVision` sur une machine un peu plus performante. Des changements au niveau du logiciel de la table pourraient être également faits afin d'optimiser la rapidité de l'application. La base de données est une base de données MySQL mais avoir recours à une base de données NoSQL serait une solution pour optimiser le nombre de requêtes nécessaires à effectuer une tâche. Du fait qu'il y a beaucoup de liaisons entre les différentes tables de notre base de données, les diverses recherches de molécules de l'application prennent du temps et cela peut être une des causes de son retard lorsque l'utilisateur dépose et retire des objets.

Changer la conception de certains éléments visuels de l'interface

Les problèmes de compréhension et de facilité d'apprentissage du système peuvent s'expliquer par le fait que certains éléments visuels de l'interface ne sont pas assez intuitifs pour que l'utilisateur comprenne leur signification. C'est le cas, par exemple, des clusters autour des atomes servant d'indices sur les associations possibles. Il faudrait alors un moyen plus explicite d'indiquer à l'utilisateur qu'il peut créer des relations en déposant d'autres atomes et de montrer quelles relations peuvent être faites. C'est également le cas pour l'aspect visuel de base de la table lorsque rien n'est déposé dessus, puisque, dans ce cas-ci, rien n'indique qu'il faut déposer des objets.

Ajoutant les fonctionnalités qui n'ont pas pu être implémentées à temps

Comme expliqué dans les exigences fonctionnelles, une fonctionnalité qui aurait pu être implémentée est l'apparition d'indicateurs pour déplacer les atomes lorsque ceux-ci peuvent former une molécule. Les indicateurs servent alors à aider l'utilisateur à disposer les atomes de manière à ce qu'ils représentent

une partie du schéma de la molécule censée être représentée. Cette partie absente des services proposés par la table pourrait améliorer l'aspect ludique et donner davantage l'envie aux étudiants d'apprendre.

13.2 L'accessibilité de l'information des systèmes destinés l'apprentissage de concepts de chimie

C'est un des plus gros soucis qui ressort de cette étude. Il faut repenser la manière de présenter l'information de manière à ce qu'elle puisse être accessible à tout type de public et non plus seulement aux personnes déjà familiarisés avec les concepts présentés.

En effet, les concepts de chimie présentés à l'aide de la table sont peu accessibles aux personnes n'ayant pas encore vu ces concepts une première fois ou qui ne les ont plus vu depuis un long moment.

Une étude plus approfondie sur la vulgarisation des concepts de chimie dans les tables interactives permettrait de déterminer quels éléments dans l'interface de ce type de système rendent l'information plus accessible aux utilisateurs. Une telle étude pourrait également expliquer quels éléments sont déterminants si l'utilisateur connaît déjà un minimum les concepts présentés par la table, s'il ne les a plus vus depuis un certain temps ou s'il ne les a encore jamais étudiés.

13.3 Comparer les interactions tangibles avec les interactions tactiles

Le framework reacTIVision permet également de réaliser des interfaces tactiles. Une version améliorée de la Table Périodique pourrait, par exemple, offrir des interactions tactiles en plus des interactions tangibles. Une étude pourrait alors être menée pour comparer ces deux types d'interactions et déterminer ce qui permet à l'un de se démarquer de l'autre dans le cas d'une table interactive disposée dans un espace accessible au grand public et ayant comme objectif la vulgarisation de concepts de chimie.

Un autre exemple de conception est de réaliser une table complètement tactile qui reprendrait les mêmes fonctionnalités que la version tangible et comparer l'utilisation des deux tables. Elles pourraient être également être rassemblées en une seule et chaque fonctionnalité proposerait à la fois une interaction tactile et une interaction tangible.

Bibliographie

- [1] Cross-platform python framework for nui. <https://kivy.org/#home>.
- [2] Ktor, quick start. <https://ktor.io/quickstart/index.html>.
- [3] Multi-touch, Sep 2018.
- [4] Diana Africano, Sara Berg, Kent Lindbergh, Peter Lundholm, Fredrik Nilbrink, and Anna Persson. Designing tangible interfaces for children’s collaboration. In *CHI’04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 853–868. ACM, 2004.
- [5] Mehul Agrawal, Minal Jain, Vikas Luthra, Ashok Thariyan, and Keyur Sorathia. Chemicable : Tangible interaction approach for learning chemical bonding. In *Proceedings of the 11th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, pages 416–421. ACM, 2013.
- [6] Kikuo Asai, Tomotsugu Kondo, Hideaki Kobayashi, and Yuji Y Sugimoto. Browsing lunar surface using tabletop augmented reality at exhibit in science museum. *The Journal of Information and Systems in Education*, 10(1) :11–31, 2012.
- [7] Hrvoje Benko, Ricardo Jota, and Andrew Wilson. Miragetable : freehand interaction on a projected augmented reality tabletop. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 199–208. ACM, 2012.
- [8] Sebastian Boring, Sven Gehring, Alexander Wiethoff, Anna Magdalena Blöckner, Johannes Schöning, and Andreas Butz. Multi-user interaction on media facades through live video on mobile devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2721–2724. ACM, 2011.
- [9] Jean Ho Chu, Paul Clifton, Daniel Harley, Jordanne Pavao, and Ali Mazalek. Mapping place : Supporting cultural learning through a lukasa-inspired tangible tabletop museum exhibit. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pages 261–268. ACM, 2015.
- [10] Nuno Correia, Tarquínio Mota, Rui Nóbrega, Luís Silva, and Andreia Almeida. A multi-touch tabletop for robust multimedia interaction in museums. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 117–120. ACM, 2010.
- [11] Nadine Couture and Guillaume Rivière. Faisabilité d’une interface tangible pour la validation d’hypothèses en géosciences. *3è Journées Francophones Mobilité et Ubiquité (Ubimob’06)*, pages 163–164, 2006.
- [12] Nadine Couture, Guillaume Rivière, and Patrick Reuter. Geotui : a tangible user interface for geoscience. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 89–96. ACM, 2008.
- [13] Juliette Dalbavie. La table interactive du musée d’histoire naturelle de lille. *La Lettre de l’OCIM. Musées, Patrimoine et Culture scientifiques et techniques*, (152), 2014.
- [14] Gianpaolo D’Amico, Simone Ercoli, and Alberto Del Bimbo. A framework for itinerary personalization in cultural tourism of smart cities. In *AI* HCI@ AI* IA*, 2013.

- [15] Bruno Dumas, Bram Moerman, Sandra Trullemans, and Beat Signer. Artvis : combining advanced visualisation and tangible interaction for the exploration, analysis and browsing of digital artwork collections. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 65–72. ACM, 2014.
- [16] Patrick Tobias Fischer, Christian Zöllner, Thilo Hoffmann, and Sebastian Piatza. Vr/urban : Smslinslot. 2010.
- [17] Morten Fjeld, Jonas Fredriksson, Martin Ejdestig, Florin Duca, Kristina Bötschi, Benedikt Voegtli, and Patrick Juchli. Tangible user interface for chemistry education : comparative evaluation and re-design. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 805–808. ACM, 2007.
- [18] Morten Fjeld and Benedikt M Voegtli. Augmented chemistry : An interactive educational workbench. In *Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 259–321. IEEE, 2002.
- [19] Rubina Freitas and Pedro Campos. Smart : a system of augmented reality for teaching 2 nd grade students. In *Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers : Culture, Creativity, Interaction-Volume 2*, pages 27–30. BCS Learning & Development Ltd., 2008.
- [20] Sébastien George, Iza Marfisi-Schottman, and Marc Leconte. Turtletable : apprendre les bases de la programmation avec des interfaces tangibles. In *Atelier Apprentissage Instrumenté de l'Informatique, Orphee RDV*, 2017.
- [21] Michael S Horn, Erin Treacy Solovey, and Robert JK Jacob. Tangible programming and informal science learning : making tuis work for museums. In *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children*, pages 194–201. ACM, 2008.
- [22] Eva Hornecker. “i don’t understand it either, but it is cool”-visitor interactions with a multi-touch table in a museum. In *2008 3rd IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human Computer Systems*, pages 113–120. IEEE, 2008.
- [23] Simo Hosio, Marko Jurmu, Hannu Kukka, Jukka Riekk, and Timo Ojala. Supporting distributed private and public user interfaces in urban environments. In *Proceedings of the Eleventh Workshop on Mobile Computing Systems & Applications*, pages 25–30. ACM, 2010.
- [24] Sergi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, and Martin Kaltenbrunner. The reactable : exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, pages 139–146. ACM, 2007.
- [25] Thomas P Kersten, Felix Tschirschwitz, and Simon Deggim. Development of a virtual museum including a 4d presentation of building history in virtual reality. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42 :361, 2017.
- [26] Sébastien Kubicki, Katarzyna Borgiel, Sophie Lepreux, Marion Wolff, and Christophe Kolski. Réflexions autour des tables interactives : expérience utilisateur, utilisabilité, évaluation. *Le travail humain*, 75(3) :229–252, 2012.
- [27] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, and Christophe Kolski. Evaluation of an interactive table with tangible objects : Application with children in a classroom. In *Proceedings 2nd workshop on child computer interaction" UI Technologies and Educational Pedagogy"*, at CHI, 2011.
- [28] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, Christian Perrot, and Jean Caelen. Tangisense : présentation d’une table interactive avec technologie rfid permettant la manipulation d’objets tangibles et traçables. In *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d’Interaction Homme-Machine*, pages 351–354. ACM, 2009.
- [29] Sébastien Kubicki, Denis Pasco, Charlotte Hoareau, and Ingrid Arnaud. Utilisation d’une table interactive avec objets tangibles pour apprendre à l’école : études empiriques en milieu écologique. In *Actes de la 28ième conférence francophone sur l’Interaction Homme-Machine*, pages 155–166, 2016.

- [30] Anna Loparev, Lauren Westendorf, Margaret Flemings, Jennifer Cho, Romie Littrell, Anja Scholze, and Orit Shaer. Backpack : exploring the role of tangibles in a museum exhibit for bio-design. In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pages 111–120. ACM, 2017.
- [31] Ross Bencina Martin Kaltenbrunner. reactivision 1.5.1. <http://reactivision.sourceforge.net/>.
- [32] Margaret L McLaughlin, Gaurav Sukhatme, Cyrus Shahabi, Joao Hespanha, Antonio Ortega, and Gerard Medioni. The haptic museum. In *Proceedings of the EVA 2000 conference on electronic imaging and the visual arts*, 2000.
- [33] Eliza McNitt. Spheres.
- [34] Rachel Mintz, Shai Litvak, and Yoav Yair. 3d-virtual reality in science education : An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20(3) :293–305, 2001.
- [35] Patrizia Murko and Cristophe Kunze. Tangible memories : exploring the use of tangible interfaces for occupational therapy in dementia care. In *Proceedings of the 3rd European Conference on Design4Health*, volume 13, page 16, 2015.
- [36] Till Nagel, Martina Maitan, Erik Duval, Andrew Vande Moere, Joris Klerkx, Kristian Kloeckl, and Carlo Ratti. Touching transport-a case study on visualizing metropolitan public transit on interactive tabletops. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 281–288. ACM, 2014.
- [37] Manuela Núñez, Ricardo Quirós, Inma Núñez, Juan B Carda, Emilio Camahort, and JL Mauri. Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. In *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering*, volume 5, pages 271–277. WSEAS, 2008.
- [38] Guillaume Riviere, Valérie Maquil, Sebastien Kubicki, Christophe Kolski, Emmanuel Dubois, Nadine Couture, Julien Castet, and Sophie Lepreux. Interaction tangible sur table, un cadre fédérateur illustré. *Journal d’Interaction Personne-Système*, 5, 2017.
- [39] Dirk Schulz, Wolfram Burgard, Dieter Fox, Sebastian Thrun, and Armin B Cremers. Web interfaces for mobile robots in public places. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 7(1) :48–56, 2000.
- [40] Werner Schweibenz. The" virtual museum" : New perspectives for museums to present objects and information using the internet as a knowledge base and communication system. *ISI*, 34 :185–200, 1998.
- [41] Orit Shaer, Megan Strait, Consuelo Valdes, Taili Feng, Michael Lintz, and Heidi Wang. Enhancing genomic learning through tabletop interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 2817–2826. ACM, 2011.
- [42] Aw Kien Sin and Halimah Badioze Zaman. Tangible interaction in learning astronomy through augmented reality book-based educational tool. In *International Visual Informatics Conference*, pages 302–313. Springer, 2009.
- [43] Kyohyun Song, Gunhee Kim, Inkyu Han, Jeongyoung Lee, Ji-Hyung Park, and Sungdo Ha. Chemo : mixed object instruments and interactions for tangible chemistry experiments. In *CHI’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2305–2310. ACM, 2011.
- [44] Sylaiou Styliani, Liarakapis Fotis, Kotsakis Kostas, and Patias Petros. Virtual museums, a survey and some issues for consideration. *Journal of cultural Heritage*, 10(4) :520–528, 2009.
- [45] Andrew D Wilson. Depth-sensing video cameras for 3d tangible tabletop interaction. In *Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (TABLETOP’07)*, pages 201–204. IEEE, 2007.

- [46] Andrew D Wilson and Daniel C Robbins. Playtogether : Playing games across multiple interactive tabletops. *Tangible Play*, page 13, 2007.
- [47] Rafal Wojciechowski, Krzysztof Walczak, Martin White, and Wojciech Cellary. Building virtual and augmented reality museum exhibitions. In *Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology*, pages 135–144. ACM, 2004.

Septième partie

Annexes

Annexe A

Schéma de la base de données

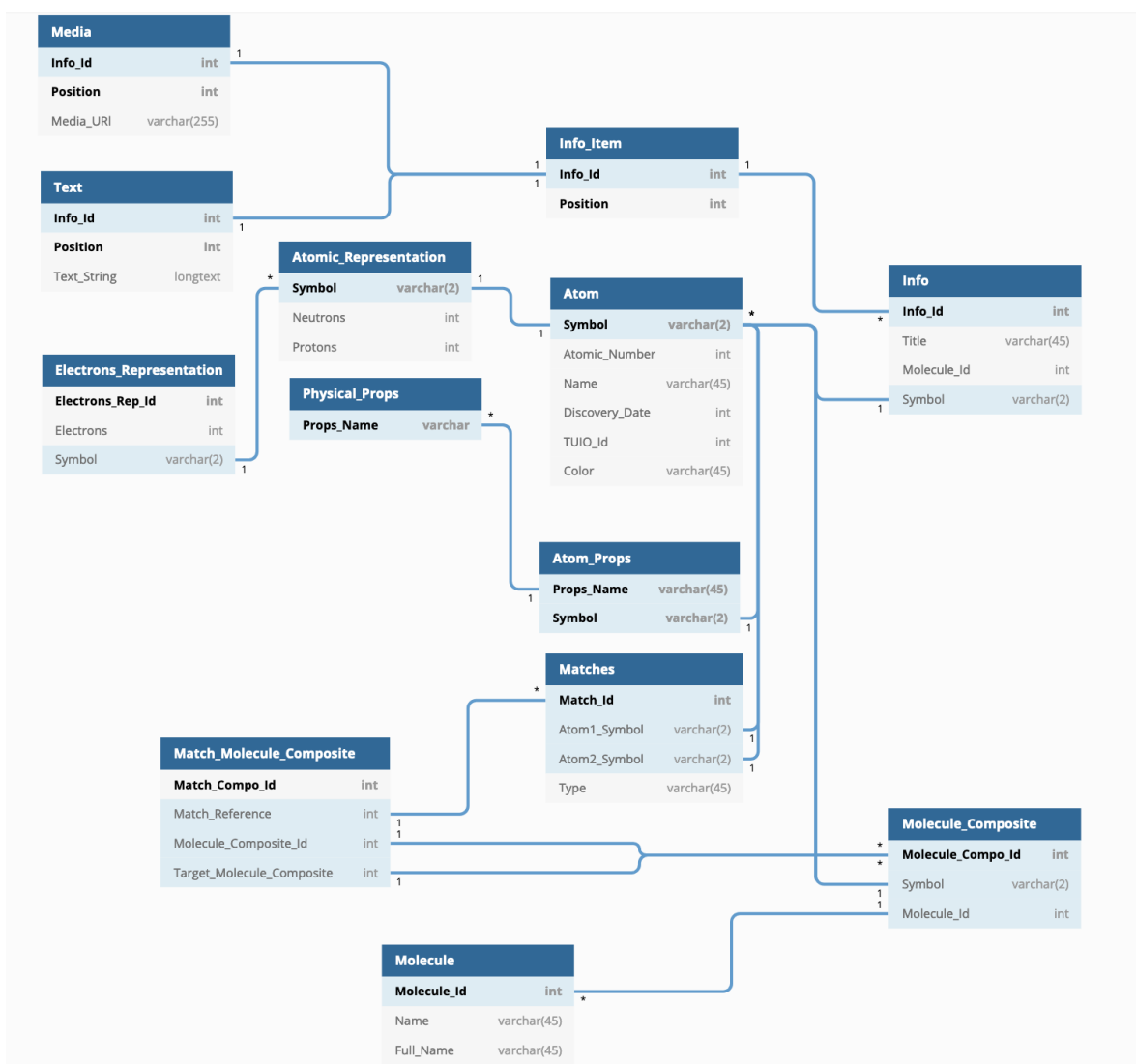


FIGURE A.1 – Schéma de la base de données

Annexe B

Architecture du client TUIO

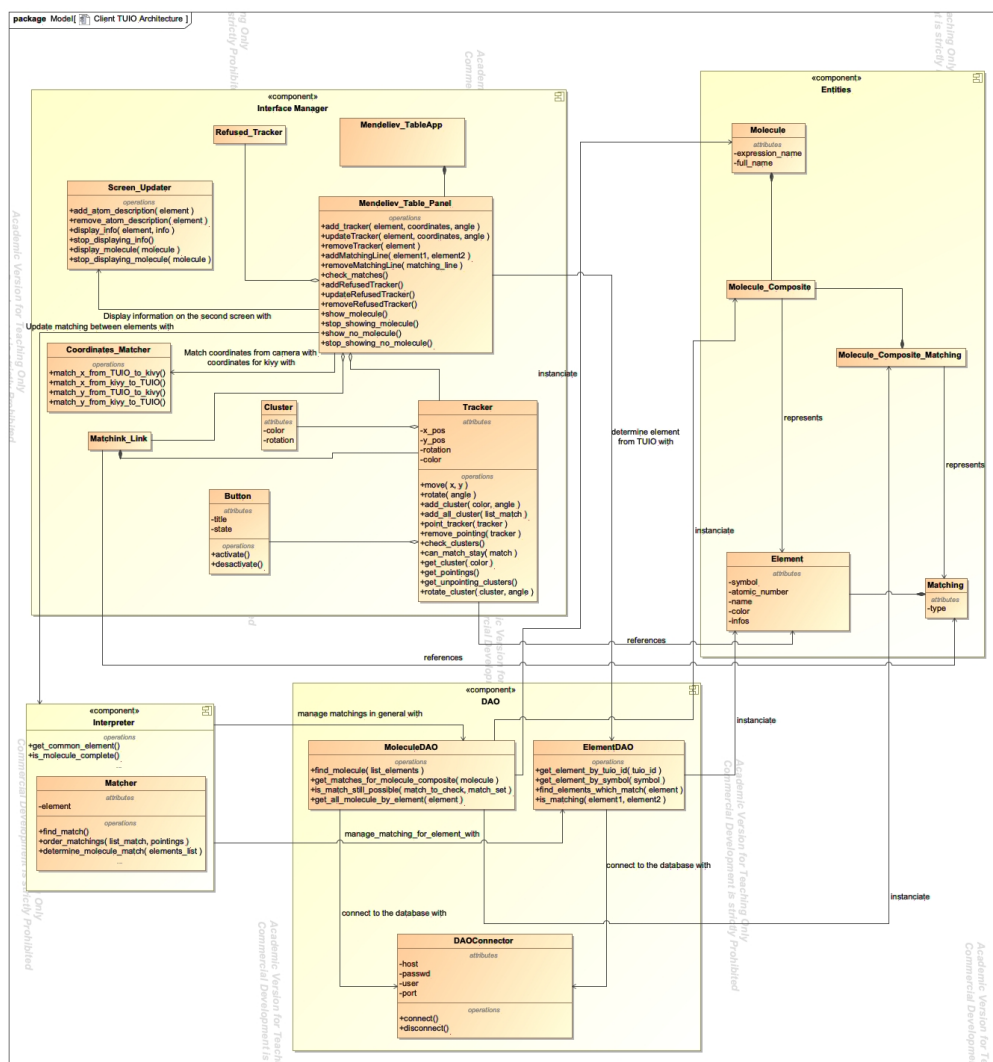


FIGURE B.1 – Architecture du client TUIO

Annexe C

Architecture de l'API du second écran

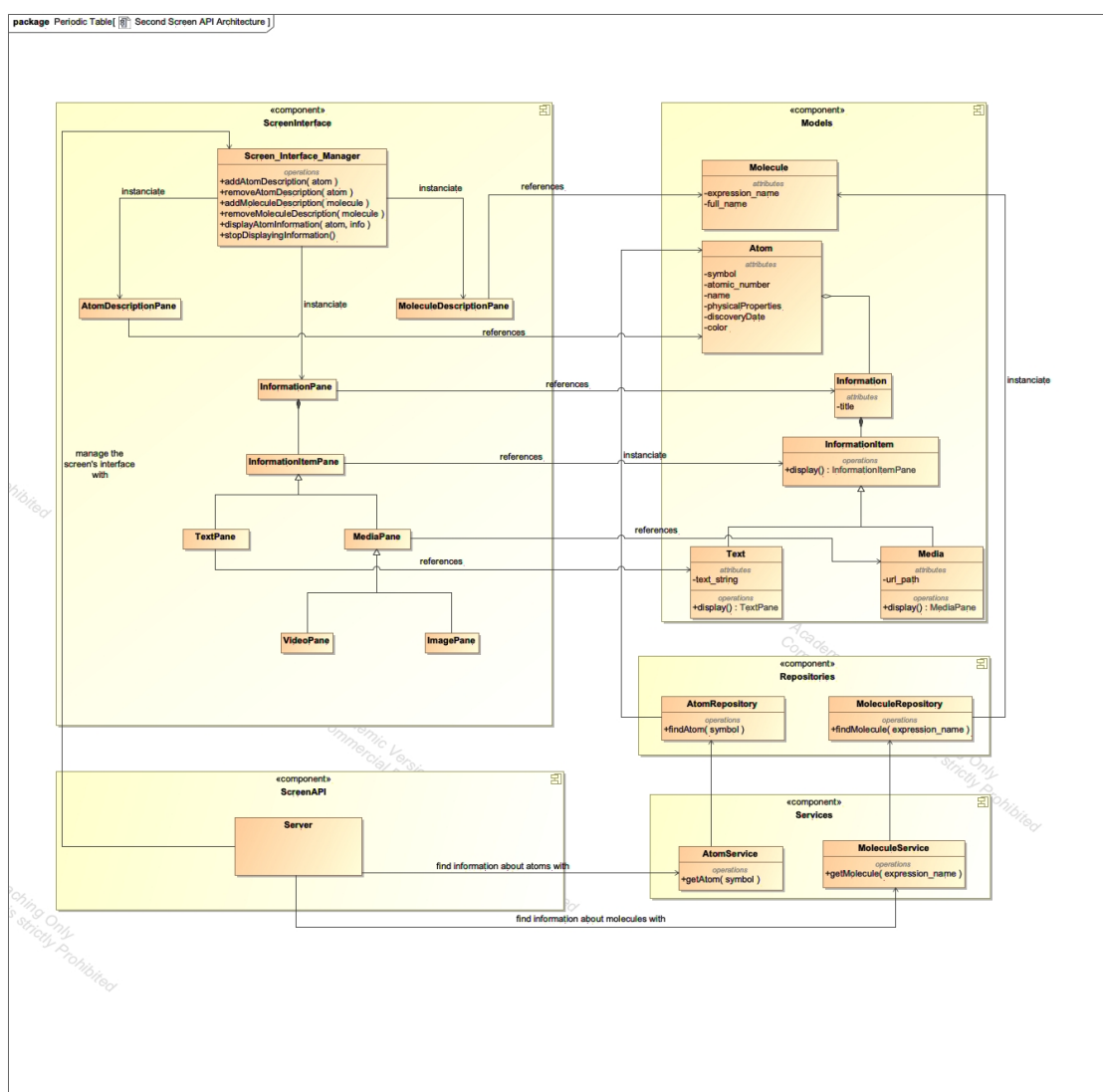


FIGURE C.1 – Architecture de l'API du second écran

Annexe D

Le tableau périodique des éléments conçu pour le Printemps des sciences

Tableau périodique des éléments

UNIVERSITÉ DE NAMUR

Éléments de transition

1 H Hydrogène 1,01	2 He Hélium 4,00	3 Li Lithium 6,94	4 Be Béryllium 9,01	5 B Bore 10,81	6 C Carbone 12,01	7 N Azote 14,01	8 O Oxygène 16,00	9 F Fluor 19,00	10 Ne Neon 20,18	11 Na Sodium 22,99	12 Mg Magnésium 24,31	13 Al Aluminium 26,98	14 Si Silicium 28,09	15 P Phosphore 30,97	16 S Soufre 32,06	17 Cl Chlore 35,45	18 Ar Argon 39,95	19 K Potassium 39,10	20 Ca Calcium 40,08	21 Sc Scandium 44,96	22 Ti Titane 47,87	23 V Vanadium 50,94	24 Cr Chrome 52,00	25 Mn Manganèse 54,94	26 Fe Fer 55,85	27 Co Cobalt 58,93	28 Ni Nickel 58,69	29 Cu Cuivre 63,55	30 Zn Zinc 65,38	31 Ga Gallium 69,72	32 Ge Germanium 72,63	33 As Arsenic 74,92	34 Se Sélénium 78,96	35 Br Brome 79,90	36 Kr Krypton 83,80	37 Rb Rubidium 85,47	38 Sr Strontium 87,62	39 Y Yttrium 88,91	40 Zr Zirconium 91,22	41 Nb Niobium 92,91	42 Mo Molybdène 95,96	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthénium 101,07	45 Rh Rhodium 102,91	46 Pd Paladium 106,42	47 Ag Argent 107,87	48 Cd Cadmium 112,41	49 In Indium 114,8	50 Sn Étain 118,71	51 Sb Antimoine 121,76	52 Te Tellure 127,60	53 I Iode 126,90	54 Xe Xénon 131,29	55 Cs Césium 132,91	56 Ba Baryum 137,33	57-71 Lanthanoïdes	72 Hf Hafnium 178,49	73 Ta Tungstène 180,95	74 W Tungstène 183,84	75 Re Rhenium 186,21	76 Os Osmium 190,23	77 Ir Iridium 192,22	78 Pt Platine 195,08	79 Au Or 196,97	80 Hg Mercure 200,59	81 Tl Thallium 204,38	82 Pb Plomb 207,20	83 Bi Bismuth 208,98	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 Actinoïdes	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (289)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)	119 Uu Ununennium (119)	120 Uu Unbinilium (120)	121 Uu Untrium (121)	122 Uu Unquadrium (122)	123 Uu Unquadium (123)	124 Uu Unpentium (124)	125 Uu Unsextium (125)	126 Uu Unseptium (126)	127 Uu Unoctium (127)	128 Uu Unennium (128)	129 Uu Unbinilium (129)	130 Uu Untrium (130)	131 Uu Unquadrium (131)	132 Uu Unquadium (132)	133 Uu Unpentium (133)	134 Uu Unsextium (134)	135 Uu Unseptium (135)	136 Uu Unoctium (136)	137 Uu Unennium (137)	138 Uu Unbinilium (138)	139 Uu Untrium (139)	140 Uu Unquadrium (140)	141 Uu Unquadium (141)	142 Uu Unpentium (142)	143 Uu Unsextium (143)	144 Uu Unseptium (144)	145 Uu Unoctium (145)	146 Uu Unennium (146)	147 Uu Unbinilium (147)	148 Uu Untrium (148)	149 Uu Unquadrium (149)	150 Uu Unquadium (150)	151 Uu Unpentium (151)	152 Uu Unsextium (152)	153 Uu Unseptium (153)	154 Uu Unoctium (154)	155 Uu Unennium (155)	156 Uu Unbinilium (156)	157 Uu Untrium (157)	158 Uu Unquadrium (158)	159 Uu Unquadium (159)	160 Uu Unpentium (160)	161 Uu Unsextium (161)	162 Uu Unseptium (162)	163 Uu Unoctium (163)	164 Uu Unennium (164)	165 Uu Unbinilium (165)	166 Uu Untrium (166)	167 Uu Unquadrium (167)	168 Uu Unquadium (168)	169 Uu Unpentium (169)	170 Uu Unsextium (170)	171 Uu Unseptium (171)	172 Uu Unoctium (172)	173 Uu Unennium (173)	174 Uu Unbinilium (174)	175 Uu Untrium (175)	176 Uu Unquadrium (176)	177 Uu Unquadium (177)	178 Uu Unpentium (178)	179 Uu Unsextium (179)	180 Uu Unseptium (180)	181 Uu Unoctium (181)	182 Uu Unennium (182)	183 Uu Unbinilium (183)	184 Uu Untrium (184)	185 Uu Unquadrium (185)	186 Uu Unquadium (186)	187 Uu Unpentium (187)	188 Uu Unsextium (188)	189 Uu Unseptium (189)	190 Uu Unoctium (190)	191 Uu Unennium (191)	192 Uu Unbinilium (192)	193 Uu Untrium (193)	194 Uu Unquadrium (194)	195 Uu Unquadium (195)	196 Uu Unpentium (196)	197 Uu Unsextium (197)	198 Uu Unseptium (198)	199 Uu Unoctium (199)	200 Uu Unennium (200)	201 Uu Unbinilium (201)	202 Uu Untrium (202)	203 Uu Unquadrium (203)	204 Uu Unquadium (204)	205 Uu Unpentium (205)	206 Uu Unsextium (206)	207 Uu Unseptium (207)	208 Uu Unoctium (208)	209 Uu Unennium (209)	210 Uu Unbinilium (210)	211 Uu Untrium (211)	212 Uu Unquadrium (212)	213 Uu Unquadium (213)	214 Uu Unpentium (214)	215 Uu Unsextium (215)	216 Uu Unseptium (216)	217 Uu Unoctium (217)	218 Uu Unennium (218)	219 Uu Unbinilium (219)	220 Uu Untrium (220)	221 Uu Unquadrium (221)	222 Uu Unquadium (222)	223 Uu Unpentium (223)	224 Uu Unsextium (224)	225 Uu Unseptium (225)	226 Uu Unoctium (226)	227 Uu Unennium (227)	228 Uu Unbinilium (228)	229 Uu Untrium (229)	230 Uu Unquadrium (230)	231 Uu Unquadium (231)	232 Uu Unpentium (232)	233 Uu Unsextium (233)	234 Uu Unseptium (234)	235 Uu Unoctium (235)	236 Uu Unennium (236)	237 Uu Unbinilium (237)	238 Uu Untrium (238)	239 Uu Unquadrium (239)	240 Uu Unquadium (240)	241 Uu Unpentium (241)	242 Uu Unsextium (242)	243 Uu Unseptium (243)	244 Uu Unoctium (244)	245 Uu Unennium (245)	246 Uu Unbinilium (246)	247 Uu Untrium (247)	248 Uu Unquadrium (248)	249 Uu Unquadium (249)	250 Uu Unpentium (250)	251 Uu Unsextium (251)	252 Uu Unseptium (252)	253 Uu Unoctium (253)	254 Uu Unennium (254)	255 Uu Unbinilium (255)	256 Uu Untrium (256)	257 Uu Unquadrium (257)	258 Uu Unquadium (258)	259 Uu Unpentium (259)	260 Uu Unsextium (260)	261 Uu Unseptium (261)	262 Uu Unoctium (262)	263 Uu Unennium (263)	264 Uu Unbinilium (264)	265 Uu Untrium (265)	266 Uu Unquadrium (266)	267 Uu Unquadium (267)	268 Uu Unpentium (268)	269 Uu Unsextium (269)	270 Uu Unseptium (270)	271 Uu Unoctium (271)	272 Uu Unennium (272)	273 Uu Unbinilium (273)	274 Uu Untrium (274)	275 Uu Unquadrium (275)	276 Uu Unquadium (276)	277 Uu Unpentium (277)	278 Uu Unsextium (278)	279 Uu Unseptium (279)	280 Uu Unoctium (280)	281 Uu Unennium (281)	282 Uu Unbinilium (282)	283 Uu Untrium (283)	284 Uu Unquadrium (284)	285 Uu Unquadium (285)	286 Uu Unpentium (286)	287 Uu Unsextium (287)	288 Uu Unseptium (288)	289 Uu Unoctium (289)	290 Uu Unennium (290)	291 Uu Unbinilium (291)	292 Uu Untrium (292)	293 Uu Unquadrium (293)	294 Uu Unquadium (294)	295 Uu Unpentium (295)	296 Uu Unsextium (296)	297 Uu Unseptium (297)	298 Uu Unoctium (298)	299 Uu Unennium (299)	300 Uu Unbinilium (300)	301 Uu Untrium (301)	302 Uu Unquadrium (302)	303 Uu Unquadium (303)	304 Uu Unpentium (304)	305 Uu Unsextium (305)	306 Uu Unseptium (306)	307 Uu Unoctium (307)	308 Uu Unennium (308)	309 Uu Unbinilium (309)	310 Uu Untrium (310)	311 Uu Unquadrium (311)	312 Uu Unquadium (312)	313 Uu Unpentium (313)	314 Uu Unsextium (314)	315 Uu Unseptium (315)	316 Uu Unoctium (316)	317 Uu Unennium (317)	318 Uu Unbinilium (318)	319 Uu Untrium (319)	320 Uu Unquadrium (320)	321 Uu Unquadium (321)	322 Uu Unpentium (322)	323 Uu Unsextium (323)	324 Uu Unseptium (324)	325 Uu Unoctium (325)	326 Uu Unennium (326)	327 Uu Unbinilium (327)	328 Uu Untrium (328)	329 Uu Unquadrium (329)	330 Uu Unquadium (330)	331 Uu Unpentium (331)	332 Uu Unsextium (332)	333 Uu Unseptium (333)	334 Uu Unoctium (334)	335 Uu Unennium (335)	336 Uu Unbinilium (336)	337 Uu Untrium (337)	338 Uu Unquadrium (338)	339 Uu Unquadium (339)	340 Uu Unpentium (340)	341 Uu Unsextium (341)	342 Uu Unseptium (342)	343 Uu Unoctium (343)	344 Uu Unennium (344)	345 Uu Unbinilium (345)	346 Uu Untrium (346)	347 Uu Unquadrium (347)	348 Uu Unquadium (348)	349 Uu Unpentium (349)	350 Uu Unsextium (350)	351 Uu Unseptium (351)	352 Uu Unoctium (352)	353 Uu Unennium (353)	354 Uu Unbinilium (354)	355 Uu Untrium (355)	356 Uu Unquadrium (356)	357 Uu Unquadium (357)	358 Uu Unpentium (358)	359 Uu Unsextium (359)	360 Uu Unseptium (360)	361 Uu Unoctium (361)	362 Uu Unennium (362)	363 Uu Unbinilium (363)	364 Uu Untrium (364)	365 Uu Unquadrium (365)	366 Uu Unquadium (366)	367 Uu Unpentium (367)	368 Uu Unsextium (368)	369 Uu Unseptium (369)	370 Uu Unoctium (370)	371 Uu Unennium (371)	372 Uu Unbinilium (372)	373 Uu Untrium (373)	374 Uu Unquadrium (374)	375 Uu Unquadium (375)	376 Uu Unpentium (376)	377 Uu Unsextium (377)	378 Uu Unseptium (378)	379 Uu Unoctium (379)	380 Uu Unennium (380)	381 Uu Unbinilium (381)	382 Uu Untrium (382)	383 Uu Unquadrium (383)	384 Uu Unquadium (384)	385 Uu Unpentium (385)	386 Uu Unsextium (386)	387 Uu Unseptium (387)	388 Uu Unoctium (388)	389 Uu Unennium (389)	390 Uu Unbinilium (390)	391 Uu Untrium (391)	392 Uu Unquadrium (392)	393 Uu Unquadium (393)	394 Uu Unpentium (394)	395 Uu Unsextium (395)	396 Uu Unseptium (396)	397 Uu Unoctium (397)	398 Uu Unennium (398)	399 Uu Unbinilium (399)	400 Uu Untrium (400)	401 Uu Unquadrium (401)	402 Uu Unquadium (402)	403 Uu Unpentium (403)	404 Uu Unsextium (404)	405 Uu Unseptium (405)	406 Uu Unoctium (406)	407 Uu Unennium (407)	408 Uu Unbinilium (408)	409 Uu Untrium (409)	410 Uu Unquadrium (410)	411 Uu Unquadium (411)	412 Uu Unpentium (412)	413 Uu Unsextium (413)	414 Uu Unseptium (414)	415 Uu Unoctium (415)	416 Uu Unennium (416)	417 Uu Unbinilium (417)	418 Uu Untrium (418)	419 Uu Unquadrium (419)	420 Uu Unquadium (420)	421 Uu Unpentium (421)	422 Uu Unsextium (422)	423 Uu Unseptium (423)	424 Uu Unoctium (424)	425 Uu Unennium (425)	426 Uu Unbinilium (426)	427 Uu Untrium (427)	428 Uu Unquadrium (428)	429 Uu Unquadium (429)	430 Uu Unpentium (430)	431 Uu Unsextium (431)	432 Uu Unseptium (432)	433 Uu Unoctium (433)	434 Uu Unennium (434)	435 Uu Unbinilium (435)	436 Uu Untrium (436)	437 Uu Unquadrium (437)	438 Uu Unquadium (438)	439 Uu Unpentium (439)	440 Uu Unsextium (440)	441 Uu Unseptium (441)	442 Uu Unoctium (442)	443 Uu Unennium (443)	444 Uu Unbinilium (444)	445 Uu Untrium (445)	446 Uu Unquadrium (446)	447 Uu Unquadium (447)	448 Uu Unpentium (448)	449 Uu Unsextium (449)	450 Uu Unseptium (450)	451 Uu Unoctium (451)	452 Uu Unennium (452)	453 Uu Unbinilium (453)	454 Uu Untrium (454)	455 Uu Unquadrium (455)	456 Uu Unquadium (456)	457 Uu Unpentium (457)	458 Uu Unsextium (458)	459 Uu Unseptium (459)	460 Uu Unoctium (460)	461 Uu Unennium (461)	462 Uu Unbinilium (462)	463 Uu Untrium (463)	464 Uu Unquadrium (464)	465 Uu Unquadium (465)	466 Uu Unpentium (466)	467 Uu Unsextium (467)	468 Uu Unseptium (468)	469 Uu Unoctium (469)	470 Uu Unennium (470)	471 Uu Unbinilium (471)	472 Uu Untrium (472)	473 Uu Unquadrium (473)	474 Uu Unquadium (474)	475 Uu Unpentium (475)	476 Uu Unsextium (476)	477 Uu Unseptium (477)	478 Uu Unoctium (478)	479 Uu Unennium (479)	480 Uu Unbinilium (480)	481 Uu Untrium (481)	482 Uu Unquadrium (482)	483 Uu Unquadium (483)	484 Uu Unpentium (484)	485 Uu Unsextium (485)	486 Uu Unseptium (486)	487 Uu Unoctium (487)	488 Uu Unennium (488)	489 Uu Unbinilium (489)	490 Uu Untrium (490)	491 Uu Unquadrium (491)	492 Uu Unquadium (492)	493 Uu Unpentium (493)	494 Uu Unsextium (494)	495 Uu Unseptium (495)	496 Uu Unoctium (496)	497 Uu Unennium (497)	498 Uu Unbinilium (498)	499 Uu Untrium (499)	500 Uu Unquadrium (500)	501 Uu Unquadium (501)	502 Uu Unpentium (502)	503 Uu Unsextium (503)	504 Uu Unseptium (504)	505 Uu Unoctium (505)	506 Uu Unennium (506)	507 Uu Unbinilium (507)	508 Uu Untrium (508)	509 Uu Unquadrium (509)	510 Uu Unquadium (510)	511 Uu Unpentium (511)	512 Uu Unsextium (512)	513 Uu Unseptium (513)	514 Uu Unoctium (514)	515 Uu Unennium (515)	516 Uu Unbinilium (516)	517 Uu Untrium (517)	518 Uu Unquadrium (518)	519 Uu Unquadium (519)	520 Uu Unpentium (520)	521 Uu Unsextium (521)	522 Uu Unseptium (522)	523 Uu Unoctium (523)	524 Uu Unennium (524)	525 Uu Unbinilium (525)	526 Uu Untrium (526)	527 Uu Unquadrium (527)	528 Uu Unquadium (528)	529 Uu Unpentium (529)	530 Uu Unsextium (530)	531 Uu Unseptium (531)	532 Uu Unoctium (532)	533 Uu Unennium (533)	534 Uu Unbinilium (534)	535 Uu Untrium (535)	536 Uu Unquadrium (536)	537
-----------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------	-------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------------------------	----------------------	-------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-----