



---

## Vers une dématérialisation de l'argent liquide : étude bibliographique et montage d'un dossier de conception

---

Rapport de stage de Master 2 SIIA



BOUDJEMILA  
Chahrazed  
boudjemilachahrazed1@gmail.com

*Tuteur* : KUBICKI  
Sébastien  
sebastien.kubicki@enib.fr

24 août 2020

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1 Résumé de l'état de l'art</b>	<b>6</b>
1.1 Les interfaces saisissables . . . . .	6
1.2 Les interfaces tangibles . . . . .	6
1.3 Intérêt des interfaces tangibles . . . . .	7
1.4 Définition de la dématérialisation . . . . .	8
1.5 Intérêt de la dématérialisation dans le domaine bancaire . . . . .	8
1.6 Argent liquide <i>vs.</i> dématérialisé : résultats d'études expérimentales . . . . .	9
1.7 Dématérialisation de l'argent liquide et objets tangibles : quelques exemples de projets . . . . .	9
<b>2 Réalisation d'un dossier d'étude de conception</b>	<b>12</b>
2.1 Établissement d'une veille technique . . . . .	12
2.2 Proposition d'un questionnaire d'enquête . . . . .	13
2.3 Proposition de "fiches atelier" de réflexion et de conception . . . . .	15
<b>3 Retour personnel et conclusion</b>	<b>17</b>
3.1 Retour personnel . . . . .	17
3.2 Conclusion . . . . .	17
<b>4 Annexes</b>	<b>22</b>
4.1 Etat de l'art . . . . .	22
4.2 Veille technique . . . . .	64
4.3 Questionnaire d'enquête et "fiches ateliers" . . . . .	94

# Table des figures

1.1	Un objet "saisissable" selon Fitzmaurice, Ishii et Buxton permettant d'interagir sur un objet virtuel [5] . . . . .	6
1.2	Exemple d'interface tangible : le Knobslider proposé par Kim <i>et al.</i> [11] . . . . .	7
1.3	Exemple de projets visant à dématérialiser l'argent liquide tout en gardant la notion de tangibilité . . . . .	10

# Introduction

De nos jours, les appareils électroniques et informatiques connaissent un véritable envol avec l'apparition des différentes techniques (ex. Internet, Bluetooth, NFC, *etc.* ). En effet, aujourd'hui, l'informatique se trouve partout et fait partie du quotidien de bien de personnes. En 1991, Mark Weiser définissait l'informatique "ubiquitaire" qui est devenu une réalité [20]. L'utilisateur peut interagir sur différentes plateformes d'interaction (ex. montre connectée, smartphone, *etc.*) tout en restant connecté au reste du monde ou encore via des objets communicants avec lesquels l'utilisateur n'utilise non plus un clavier ou une souris mais les doigts ou globalement le toucher.

Le milieu bancaire, dans lequel s'inscrit notre stage, n'a pas échappé à ces innovations technologiques qui ont suscitées la création de nouvelles formes de monnaie. Dans le cadre de ce stage nous visons à introduire des alternatives innovantes ayant pour objectifs la dématérialisation de la petite monnaie et tendre vers un ensemble de nouvelles métaphores d'interactions permettant par exemple, l'échange d'argent entre deux personnes sans utiliser l'argent liquide.

Globalement, notre stage vise à aborder ces questions de recherches :

- Comment dématérialiser l'argent liquide tout en gardant un côté tangible ?
- Quelles métaphores d'interactions utilisant des objets tangibles pourrions-nous proposer comme moyen de paiement ?

Afin de bien comprendre notre problématique nous prendrons comme exemple le scénario suivant :

1. Mamie donne un billet de 20 € à son petit-fils car il a bien travaillé à l'école.
2. Le petit garçon reçoit le billet et le glisse fièrement dans sa tirelire.
3. Plus tard, le petit-fils décide d'utiliser l'ensemble de l'argent contenu dans sa tirelire et de s'acheter un nouveau jeu pour sa console.
4. Dans le magasin avec le nouveau jeu sous le bras, le garçon paye avec son argent liquide

Au début de notre stage, nous avons défini avec mon tuteur les différentes tâches à réaliser et les objectifs à atteindre : réfléchir à la problématique et établir les limites du sujet suite à un rapide état de l'art, faire une enquête pour fixer les besoins des utilisateurs puis organiser un ensemble d'ateliers de conception avec les membres d'Arkea et d'autres participants tels que des



chercheurs, stagiaires, ingénieurs, en vue de concevoir un prototype d'objet tangible visant à remplacer la petite monnaie.

Cependant, avec la crise sanitaire et l'apparition du COVID-19, nous avons dû revoir ces objectifs tout en nous adaptant à la situation. C'est pourquoi nous avons décidé d'effectuer premièrement une étude approfondie de la littérature présentant dans 3 parties distinctes :

1. Les interfaces tangibles
2. La notion de dématérialisation
3. La dématérialisation de l'argent liquide et les interfaces tangibles.

Dans un second temps, nous avons mené une veille technique permettant de collecter un ensemble d'informations sur les différentes techniques qui pourraient être exploitées sur notre prototype.

Enfin, nous avons préparé un dossier d'étude de conception permettant d'amorcer un futur travail de réflexion et de prototypage avec les membres d'ARKEA puisque celui-ci n'a pu être mené avec la situation sanitaire durant le stage.

Ces tâches ont été effectuées dans le cadre de notre stage de fin d'étude d'une durée de six mois, financé par le Crédit Mutuel ARKEA de Brest, et menées premièrement au Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV) situé sur le technopôle Brest-Iroise. Le CERV est une plateforme technologique de l'ENIB équipée de systèmes immersifs et de dispositifs interactifs. Il héberge une partie des membres du LAB-STICC (UMR-CNRS). Le CERV comprend environ 40 chercheurs spécialisés en informatique, mathématiques, sciences cognitives et psychologie. Malheureusement, depuis le début du confinement (le 16 mars 2020) notre stage se sera poursuivi et terminé en télétravail.

Ce rapport de stage se compose de quatre parties. Dans la première partie nous proposons un résumé très condensé de notre état de l'art. Dans celle-ci, nous revenons d'abord sur la présentation des interfaces tangibles et sur l'intérêt de la dématérialisation en général puis dans le milieu bancaire. Ensuite, nous exposons les avantages des interfaces tangibles dans des contextes de dématérialisation de petite monnaie en nous appuyant sur un ensemble de projets scientifiques. Enfin nous concluons cette partie en résumant les résultats de ces projets par un tableau.

Dans la deuxième partie, nous détaillons la suite de notre travail de stage qui consistait à établir un dossier de conception. Pour cela, nous avons tout d'abord mené une veille technique permettant de présenter les différentes techniques (de manière non exhaustive) qui pourraient être exploitées sur un prototype. Puis nous avons construit une enquête par questionnaire en

vue de recueillir les besoins et les habitudes des utilisateurs. Enfin nous avons réfléchi et conçu quatre "fiches atelier" autour de plusieurs thématiques visant à concevoir un ou plusieurs prototypes d'objet tangible répondant à notre problématique de départ.

Dans la troisième partie de ce rapport, nous exposons notre retour personnel sur ce stage et terminons par une conclusion.

La quatrième et dernière partie de ce rapport contient les Annexes que sont : 1) notre état de l'art et 2) notre dossier de conception contenant notre veille technique, notre questionnaire d'enquête ainsi que nos fiches atelier.

# 1. Résumé de l'état de l'art

## 1.1 Les interfaces saisissables

En 1995, le terme "interface utilisateur saisissable" (Graspable User Interfaces, en Anglais) est inventé en introduisant de nouveaux dispositifs (*e.g.*, des petites briques) qui permettent de contrôler un objet virtuel. Avec ces interfaces associées aux éléments graphiques (*e.g.*, fenêtres, icônes, menus), tout objet physique sous réserve qu'il tienne dans la main et qu'il soit détecté par le système, peut aussi servir d'interacteur c'est-à-dire un objet qui agit sur les fonctions associées aux objets virtuels [5].

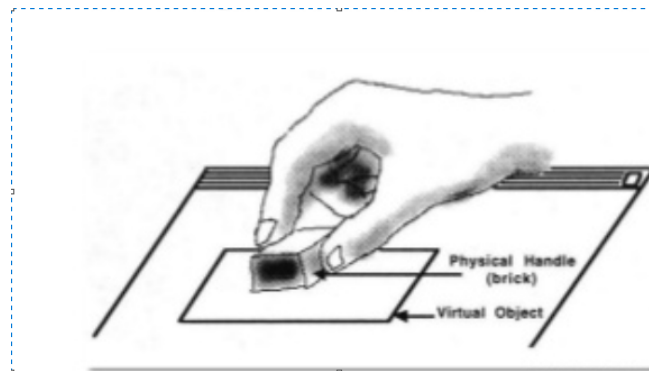


FIGURE 1.1 – Un objet "saisissable" selon Fitzmaurice, Ishii et Buxton permettant d'interagir sur un objet virtuel [5]

## 1.2 Les interfaces tangibles

En 1997, Ishii et Ullmer [9], proposent une nouvelle vision qui étend les interfaces saisissables. L'interface tangible (Tangible User Interface, en Anglais) est une interface utilisateur dans laquelle l'utilisateur interagit directement sur la donnée numérique en utilisant un objet physique qui permet de changer ou de contrôler l'état du système [4]. Pour permettre cela, les objets sont équipés de dispositifs appropriés de type capteurs ou caméras permettant d'interpréter les événements produits dans le monde physique, de les traduire dans les termes du système numérique et de rendre perceptibles à l'utilisateur, dans le monde physique, les résultats des traitements

numériques [8]. L'idée principale des TUI est de donner des formes physiques aux informations numériques. Ces formes physiques servent à la fois de représentations et de contrôles pour leurs homologues numériques. Les TUI rendent l'information numérique directement manipulable et perceptible par nos sens périphériques [8]. La figure 1.2 représente un exemple de dispositif tangible : le Knobslider proposé par Kim *et al.* [11] qui combine les avantages des boutons rotatifs et linéaires tout en changeant de forme à la demande (passe d'un bouton à un curseur). Ce dispositif pouvant être utilisé par des professionnels comme par exemple, les ingénieurs du son et de la lumière, les graphistes qui utilisent des interfaces physiques du type "table de mixage".



FIGURE 1.2 – Exemple d'interface tangible : le Knobslider proposé par Kim *et al.* [11]

### 1.3 Intérêt des interfaces tangibles

Les interfaces tangibles favorisent la collaboration, l'apprentissage et la conception en donnant des formes physiques à l'information numérique, en exploitant la capacité humaine à saisir et à manipuler des objets physiques. Depuis 1997, l'intérêt des interfaces tangibles n'a cessé de croître chaque année, comme le montre les différents projets du MIT (Massachusetts Institute of Technology) et plus exactement du **Tangible Media Group** (quelques exemples : **Ambiant**(1997), **Pinwheels**(2000), **CityScape**(2013), **Andante**(2014), **Kinetic Blocks**(2015), **Materiable**(2016), **AnimaStage**(2017), **LeakyPhones**(2018), **En force**(2019), **Kiosque**(2020)).

Dans le cadre de notre stage nous visons à trouver une ou plusieurs solutions afin de dématérialiser la petite monnaie tout en gardant un aspect physique (tangibile). Nous présentons dans la section suivante la notion de dématérialisation.

## 1.4 Définition de la dématérialisation

La dématérialisation est le fait de remplacer ou de transformer les données d'un support d'informations matériel par un support numérique. En d'autres termes, nous parlons de dématérialisation quand le contenu numérique se détache de son support et que ce dernier disparaît [3]. La dématérialisation de l'argent liquide représente la régression des pièces et des billets au profit de la monnaie "virtuelle" sous différentes formes (ex. utilisation de la carte bancaire, virements et prélèvements automatiques, paiement sans contact, *etc.*). Durant ces dernières années, la révolution numérique et technologique a conduit le milieu bancaire à repenser ses stratégies et ses outils pour répondre aux nouveaux besoins de ses utilisateurs. Ainsi, dans ce domaine, la révolution technologique a conduit à l'apparition de nouveaux instruments de paiement et petit à petit à la disparition de la monnaie [15].

## 1.5 Intérêt de la dématérialisation dans le domaine bancaire

Lors de la dématérialisation de l'argent liquide, l'artefact physique lié à un métal précieux ou un papier portant sa valeur est éliminé. Le principal avantage est en particulier financier puisque l'objet n'existe plus, mais aussi que ce dernier est plus facile à tracer et à contrôler. D'un autre côté, la manipulation d'un artefact dématérialisé portant une valeur monétaire demande peu d'efforts physiques ou cognitifs et sa forme permet une disponibilité illimitée, une flexibilité voire une omniprésence [17]. Toutefois, bien que ces techniques de paiement soient faciles et présentent de nombreux avantages en termes de sécurité, de confidentialité, de commodité, de réductions du coût de la distribution et de diminution de la conservation des espèces, elles n'en restent pas moins très coûteuses pour le secteur bancaire [2].

## 1.6 Argent liquide *vs.* dématérialisé : résultats d'études expérimentales

Un ensemble de recherches ont été menées visant à comparer le comportement des consommateurs lors de l'utilisation de monnaies dématérialisées. Nous pouvons citer par exemple, les recherches de Reinstein et Rienner [13] qui ont étudié l'effet de la tangibilité de la monnaie avec le jeu du dictateur ou encore Wang et Qin [19] qui ont introduit la notion de sanction dans un jeu de biens publics et également Shen et Takahashi qui ont mené une expérimentation visant à étudier l'effet de la tangibilité de la monnaie sur le comportement des participants [14]. D'une manière générale, ces recherches ont montré que la détention d'argent liquide (au sens objet physique) rendaient les dépenses des consommateurs plus significatives [16] et les rendaient plus conscients de la somme d'argent dépensée que le paiement totalement dématérialisé. De plus, la manipulation d'argent physique permet de mieux gérer les comportements financiers et de mieux surveiller son budget [18]. Plus de détails sur ces études sont disponibles dans notre état de l'art en Annexe.

## 1.7 Dématérialisation de l'argent liquide et objets tangibles : quelques exemples de projets

Dans le milieu bancaire, il existe plusieurs projets relativement récents issus du domaine de l'Interaction Homme-Machine, où les chercheurs ont proposé de dématérialiser l'argent tout en gardant la notion de tangibilité. Parmi ces projets nous avons retenu le système de paiement appelé Paisa Stick (Figure 1.3 a) qui reproduit l'expérience d'utilisation de l'argent liquide tiré d'un portefeuille physique [6] et Smart Piggie Bank (Figure 1.3 b) qui est une tirelire connectée par Bluetooth à une application disponible sur le smartphone des parents [12]. Le Proverbial Wallet (Figure 1.3 c) qui est un portefeuille tangible qui guide son utilisateur à prendre des décisions responsables lors de ses dépenses [10] et aussi un terminal de paiement tangible (Figure 1.3 d) proposé par Campenhout [1]. Ce dernier a réuni la flexibilité du monde numérique et la richesse de l'environnement physique tout en se

dirigeant vers un processus de dématérialisation. Enfin notons le prototype de terminal de paiement portable proposé par Hengevel *et al.* [7] qui fournit un retour haptique aux utilisateurs (Figure 1.3 e).

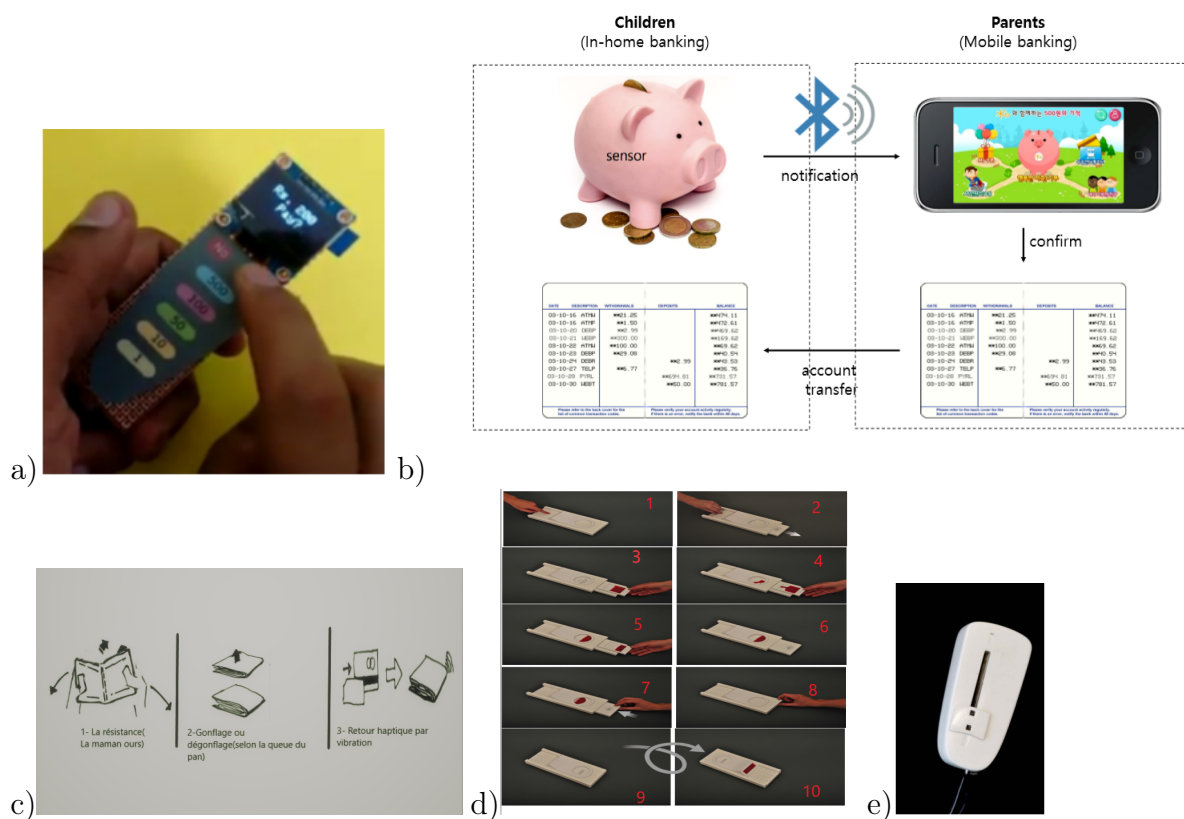


FIGURE 1.3 – Exemple de projets visant à dématérialiser l’argent liquide tout en gardant la notion de tangibilité

Le tableau 1.1 résume de manière très condensé les résultats obtenus des projets de recherche présentés ci-dessus qui se sont penchés sur la notion de dématérialisation de l'argent liquide tout en gardant la notion de physicalité/tangibilité.

<b>Principaux résultats issus des projets retenus et présentés dans ce rapport</b>
--

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Existence d'un objet qui porte la valeur de l'argent liquide.</li><li>- Le consommateur se rend compte de la valeur de la transaction.</li><li>- Le consommateur peut visualiser le flux d'argent.</li><li>- Le consommateur est "plus conscient" de la somme dépensée.</li><li>- Augmentation du sens émotionnel lors d'un achat.</li><li>- Rend le processus de paiement numérique plus abstrait.</li><li>- Incarnation des transactions numériques.</li><li>- reproduction de l'expérience de l'argent liquide.</li><li>- Facilite le suivi budgétaire du consommateur en représentant la somme dépensé.</li></ul> |
|---|

TABLE 1.1 – Tableau de synthèse des résultats issus des projets retenus et présentés dans ce rapport

La présentation complète et détaillée de ces projets et de leurs résultats est disponible dans notre état de l'art en Annexe.



## 2. Réalisation d'un dossier d'étude de conception

### 2.1 Établissement d'une veille technique

L'objectif de notre projet étant de réfléchir à la conception d'un prototype d'un objet visant à remplacer les échanges de la petite monnaie, nous avons mené et rédigé une veille technique. Celle-ci vise à explorer les différentes techniques qui pourraient être exploitées lors de la conception d'un futur prototype.

Une veille technique consiste à faire une analyse et collecter des informations sur les techniques et technologies les plus récentes et sur leur mise à disposition commerciale. C'est également un moyen d'aide à la décision et de rester informé sur les nouvelles technologies.

Dans notre veille technique, nous avons fait dans un premier temps un tour d'horizon des technologies actuelles afin d'éviter de prendre des décisions basées sur des informations pouvant être obsolètes. Nous avons observé et analysé ces informations collectées par différents moyens (*i.e.*, articles scientifiques, Wikipédia, sites spécialisés). Cela nous a permis d'élargir et de compléter nos compétences et connaissances techniques.

Dans un deuxième temps, nous avons présenté en détails les différentes technologies (*i.e.*, définition, dans quelles applications celles-ci étaient utilisées, leurs avantages et leurs inconvénients (limites), tarif et un lien vers un fournisseur). L'ensemble de ces éléments nous paraissent important en vue de discussions lors des ateliers de conception.

Parmi les technologies abordées dans notre veille, nous avons présenté des cartes Arduino qui sont devenues l'élément de base de tout prototype "bas coût", puis, nous avons présenté les technologies de communication (élément indispensable dans le cadre d'un objet connecté). Ensuite les technologies d'affichage pour qu'un retour utilisateur puisse être envisagé. Nous avons poursuivi par la présentation des technologies de retour haptique puisque nous avons vu de part les retours d'expériences qu'elles pouvaient avoir de réels impacts positifs sur les utilisateurs. De plus, nous avons essayé, avec les informations en notre possession, de lister les différentes technologies employées dans les projets cités dans notre état de l'art.

Enfin, nous avons conclu notre veille technique par la proposition d'un

ensemble de recommandations en vue d'un "prototype idéal". Ces recommandations sont : d'abord, en ce qui concerne le processeur embarqué, l'utilisation d'une carte Arduino UNO ou une carte Arduino. Ensuite, pour l'affichage, nous avons proposé d'utiliser un écran OLED ou LED et pour la technique de communication nous avons choisi NFC ou RFID. De plus, nous recommandons d'utiliser un retour haptique passif et invitons à ce que l'objet soit léger et petit et que ses données soient sécurisées.

Le choix des différentes technologies citées dans la partie recommandation a été basé sur plusieurs critères (la taille et la forme de l'objet, la sécurisation des données, la tangibilité, le retour d'informations en temps réel, la réduction de la consommation d'énergie, la facilité d'interaction avec le dispositif, la facilité de transmission des données). Nous déduisons ses recommandations de part nos recherches et l'analyse des résultats des différentes expérimentations dans le milieu bancaire qui ont été réalisées pour étudier le comportement financier des consommateurs.

## 2.2 Proposition d'un questionnaire d'enquête

De part le critère novateur du projet (dématérialisation de l'argent liquide tout en gardant la notion de tangibilité), nous estimons qu'il serait important de recueillir les habitudes mais aussi les attentes des potentiels futurs utilisateurs. Pour effectuer cela, nous proposons d'utiliser un questionnaire d'enquête.

L'enquête par questionnaire est un outil méthodologique d'observation qui comprend un ensemble de questions s'enchaînant de manière structurée et logique, et qui permet d'analyser et de comprendre les besoins et les habitudes des utilisateurs. C'est une méthode quantitative de recueil d'informations d'un grand nombre de personnes rapidement.

Une avons suivi une méthode de travail particulière afin de bien rédiger notre questionnaire. Dans un premier temps, nous avons proposé un ensemble de questions permettant de cibler les objectifs du questionnaire lui-même. Nous présentons ci-dessous ces "questions objectifs" :

- Les caractéristiques démographiques sont-elles des facteurs de différences dans les habitudes de paiement lors de petits montants ?
- Aujourd'hui, quels sont les principaux moyens de paiement utilisés par les consommateurs lors de petits montants ? Quelles sont les habitudes

de paiement ?

- L'argent liquide est-il toujours utilisé par les consommateurs ? Pour quels montants maximum ?
- Le numérique change t'il le comportement des consommateurs lors d'achats de faible montant ?
- Les consommateurs seraient-ils favorables au remplacement de la petite monnaie par un objet ?
- Du point de vue du consommateur, quel serait l'objet le plus adapté pour remplacer la petite monnaie ?

Après avoir défini les objectifs de notre questionnaire d'enquête, nous avons rédigé un ensemble de questions en les regroupant selon plusieurs thèmes :

- **Caractéristiques démographiques** : cette partie comporte un ensemble de questions qui visent à connaître l'individu. Elle nous permettra, lors de l'analyse des réponses, de regrouper ces dernières selon différents critères : sexe, âge, culture, niveau d'éducation, type de diplôme obtenu.

- **Moyens de paiement utilisés en fonction du montant** : cette partie contient un ensemble de questions qui visent à répondre d'une manière générale à la question suivante : selon le montant à payer, quel est le moyen de paiement préféré ou le plus utilisé par les consommateurs ?

- **Habitudes face aux achats de faibles montants / utilisation de l'argent liquide** : dans cette partie notre ensemble de questions vise à connaître le comportement des consommateurs face aux achats de faibles montants.

- **Les paiements et les objets** : cette partie contient un ensemble de questions qui visent à déterminer quel objet le consommateur préfère utiliser comme moyen de paiement lors d'un paiement sans contact ou d'une transaction inférieure à 30 euros ?

- **Recueil d'information en vue d'un prototype** : le but de cette partie et d'essayer d'obtenir des informations qui vont nous aider durant les ateliers de conception et de prototypage.

L'objectif de notre questionnaire étant de recueillir des habitudes ou un ensemble de besoins clients, nous aimerions bénéficier du support d'ARKEA pour diffuser ce questionnaire auprès de leurs clients. Aussi, avant d'effectuer cela il est nécessaire de valider ensemble sinon modifier ce questionnaire. Nous envisagions cela durant le stage, mais la crise sanitaire ne nous a pas permis

de le faire. C'est pourquoi nous proposons d'effectuer cela lors d'ateliers de réflexion puis de conception. Pour cela nous avons réfléchi et proposé un ensemble de "fiches atelier" que nous présentons dans la section suivante.

## 2.3 Proposition de "fiches atelier" de réflexion et de conception

L'atelier de conception est un moment où un ensemble de personnes de différents profils se réunissent pour répondre à une problématique précise, comme par exemple une nouvelle fonctionnalité à concevoir, la proposition d'une nouvelle métaphore d'interaction, etc. C'est une démarche couramment utilisé en IHM.

Le but d'un atelier de conception est de produire (des idées, des prototypes). Cependant cela ne veut pas dire que les participants doivent aboutir eux-mêmes à une solution définitive. Cette méthode permet aux participants d'exprimer des remarques, connaissances et des attentes qu'ils ne produiraient pas de manière spontanée. Cette collaboration a pour bénéfice principal de proposer des résultats et des idées innovantes.

Dans le but d'amorcer le travail de réflexion très rapidement après ce stage avec les membres d'Arkea, nous avons décidé de rédiger plusieurs "fiches atelier". Ces ateliers se dérouleraient autour de plusieurs thématiques où chaque thème poursuivrait un objectif. L'addition de ces thèmes et des résultats que nous obtiendrons après chaque atelier, nous permettra de concevoir un prototype répondant aux deux questions de notre problématique initiale :

- Comment dématérialiser l'argent liquide tout en gardant un côté tangible ?
- Quelles métaphores d'interactions utilisant des objets tangibles pourrions-nous proposer comme moyen de paiement ?

Nous présentons ci-dessous l'objectif de chacun de nos ateliers :

**Atelier 1 :** Définir les besoins des consommateurs en analysant les résultats du questionnaire et discuter autour de l'usage de la petite monnaie et des moyens de paiement actuels.

**Atelier 2 :** Définir les use-cases quant à la dématérialisation de la petite monnaie par un (ou plusieurs) objet(s) tangible(s).

**Atelier 3 :** Concevoir un ou plusieurs prototypes d'objet tangible répondant aux usages et fonctionnalités définies durant l'atelier 2.

**Atelier4** : Proposer et choisir la technologie (technologie d'affichage, de communication, etc.) adéquate pour notre objet tangible parmi les techniques proposées et recommandées.

D'un autre côté, le choix de nos participants est important car c'est l'addition des forces individuelles qui permettra d'atteindre correctement les objectifs. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'inviter durant les ateliers autant les membres d'Arkea (tout profil) qui connaissent mieux les besoins des consommateurs, que des membres du groupe INUIT et du CERV qui ont l'expérience de travailler sur des projets de recherche.

Pour conclure, dans cette partie, nous avons identifié les technologies qui peuvent être exploitées dans le cadre de la conception d'un prototype et nous avons préparé un questionnaire qui va nous permettre de définir les besoins du consommateur. De plus nous avons préparé des "fiches atelier" de conception afin d'aboutir, à terme, à des idées et des résultats innovants lors de la conception du (ou des) prototype(s).

## 3. Retour personnel et conclusion

### 3.1 Retour personnel

Ce stage a été pour moi un moyen de découvrir le monde de la recherche. La problématique du sujet était stimulante et m'a permis de faire appel à des connaissances théoriques variées tout en acquérant de nouvelles connaissances en termes de qualification professionnelle.

J'ai démarré ce projet avec peu de connaissance dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM). Cependant, cette expérience fût bien plus enrichissante que je ne l'aurais pensée et représente pour moi une passerelle vers ce domaine. Durant mon stage, j'ai pu assister aux cours d'IHM de l'ENIB et également participer à un atelier de conception d'un objet permettant la navigation dans le temps dans un environnement virtuel dans le cadre d'une thèse d'un des doctorants en IHM du laboratoire. J'ai aussi appris à améliorer mon travail en participant de manière régulière aux réunions de l'équipe INUIT durant lesquelles les participants ont pu m'adresser un ensemble de remarques lors de la présentation de l'état d'avancement de mes travaux. Finalement, cette situation liée au COVID-19 m'a permis d'établir une véritable recherche bibliographique bien plus aboutie que celle initialement prévue et de mener un travail de réflexion et de conception pouvant amorcer un travail de thèse de doctorat.

Ce stage a donc été pour moi une confirmation de choix de ma carrière. Je suis convaincue de faire une thèse à l'avenir.

### 3.2 Conclusion

Durant toute la période qu'a duré mon stage nous avons effectué plusieurs tâches. Dans un premier temps une recherche sur l'effet de la tangibilité de la monnaie et une synthèse de l'ensemble des résultats des études expérimentales ont été proposés. Ensuite, nous avons aussi proposé une veille technique contenant les technologies que nous estimons importantes sur un futur prototype. Nous avons rédigé un questionnaire visant à connaître et à comprendre les besoins des utilisateurs. Enfin nous avons proposé un ensemble de "fiches atelier" qui comportent le déroulement souhaité pour les ateliers de conception et leurs objectifs.

Finalement notre plus grande frustration, avec la crise sanitaire COVID-19, aura été de ne pas réussir à concevoir un prototype de l'objet étant donné que les ateliers de conception ont dû être annulés. Nous espérons cependant pouvoir continuer à travailler sur ce projet par exemple dans le cadre d'un sujet de thèse.

# Bibliographie

- [1] Van Campenhout. 2016. ) *Physical interaction in a dematerialized world*. Ph.D. Dissertation. Eindhoven University of Technology.
- [2] Promothesh Chatterjee and Randall L Rose. 2012. Do payment mechanisms change the way consumers perceive products? *Journal of Consumer Research* 38, 6 (2012), 1129–1139.
- [3] Paul Dourish. 2004. *Where the action is : the foundations of embodied interaction*. MIT press, Cambridge, MA, USA.
- [4] George W Fitzmaurice and William Buxton. 1997. An empirical evaluation of graspable user interfaces : towards specialized, space-multiplexed input. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43–50.
- [5] George W Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William AS Buxton. 1995. Bricks : laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '95)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 442–449.
- [6] Rohit Gupta, Udayan Vidyanta, and Silpa Murali. 2017. Paisa Stick : Tangible Currency Interface for Cashless Transactions. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 60–66.
- [7] Bart Hengeveld and Jordy Rooijackers. 2019. Adding Friction to Frictionless Payments : A Haptic Interface for Digital Transactions. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 243–250.
- [8] Hiroshi Ishii. 2008. Tangible bits : beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction (TEI '08)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, xv–xxv.
- [9] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. 1997. Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 234–241.



- [10] John Kestner, Daniel Leithinger, Jaekyung Jung, and Michelle Petersen. 2009. Proverbial wallet : tangible interface for financial awareness. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 55–56.
- [11] Hyunyoung Kim, Céline Coutrix, and Anne Roudaut. 2018. KnobSlider : Design of a Shape-Changing UI for Parameter Control. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 13.
- [12] Yong-Jae Lee, Koan Seok Kim, and Ho-Joon Lee. 2017. Demo Abstract : Smart Piggy Bank : In-Home Banking System for Children. In *2017 IEEE/ACM Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI) (IoTDI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 293–294.
- [13] David Reinstein and Gerhard Riener. 2012. Decomposing desert and tangibility effects in a charitable giving experiment. *Experimental Economics* 15, 1 (2012), 229–240.
- [14] Junyi Shen and Hiromasa Takahashi. 2017. The tangibility effect of paper money and coins in an investment experiment. *Economics and Business Letters* 6, 1 (2017), 1–5.
- [15] Lukas Van Campenhout, Achiel Standaert, Joep Frens, Herbert Peremans, and Caroline Hummels. 2014. Interactive demo of an experimental payment terminal. In *8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'14), Munich, Germany, 17-19 February 2014*. Association for Computing Machinery, Inc, United States, 1–6.
- [16] Sotiris Vandoros. 2013. My five pounds are not as good as yours, so I will spend them. *Experimental economics* 16, 4 (2013), 546–559.
- [17] Peter-Paul Verbeek. 2005. *What things do : Philosophical reflections on technology, agency, and design*. Penn State Press, Netherlands.
- [18] John Vines, Mark Blythe, Paul Dunphy, Vasillis Vlachokyriakos, Isaac Teece, Andrew Monk, and Patrick Olivier. 2012. Cheque mates : participatory design of digital payments with eighty somethings. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1189–1198.

- [19] Siyu Wang and Xiangdong Qin. 2015. The effect of digitalization on penalty payments : An experimental investigation. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics* 8, 4 (2015), 250.
- [20] Mark Weiser. 1991. The computer for the 21st century. *ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review* 3, 3 (1991), 3–11.

## 4. Annexes

### 4.1 Etat de l'art



---

Vers une dématérialisation de l'argent liquide :  
Un état de l'art sur les interfaces Tangibles et la Dématérialisation

---



BOUDJEMILA  
Chahrazed  
boudjemilachahrazed1@gmail.com

*Tuteur* : KUBICKI  
Sébastien  
sebastien.kubicki@enib.fr

24 août 2020

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>1 Présentation des TUIs (<i>Tangible User Interfaces</i>)</b>	<b>7</b>
1.1 Introduction	7
1.2 Définitions du mot <i>Tangible</i>	8
1.3 La notion d'interfaces <i>Saisissables</i>	9
1.4 La notion d'interfaces <i>Tangibles</i>	10
1.4.1 Propriétés des interfaces tangibles	12
1.4.2 Catégories des interfaces tangibles	12
1.4.3 Modélisation des interfaces tangibles	15
1.5 Quelles différences entre GUI et TUI? Pourquoi favoriser les TUIs?	17
1.6 Conclusion	17
<b>2 La notion de <i>Dématérialisation</i></b>	<b>19</b>
2.1 Introduction	19
2.2 Définition de la dématérialisation	20
2.3 La dématérialisation dans le milieu bancaire	20
2.3.1 La dématérialisation de l'argent liquide : avantages et inconvénients	21
2.3.2 Argent liquide <i>vs.</i> dématérialisé : résultats d'études expérimentales	22
2.4 Conclusion	24
<b>3 Dématérialisation de la monnaie et interfaces tangibles</b>	<b>26</b>
3.1 Les moyens de paiement	26
3.1.1 Paisa Stick	26
3.1.2 Smart Piggie Bank	28

3.1.3	Proverbial Wallet . . . . .	29
3.2	Les outils de paiement . . . . .	30
3.2.1	Conception d'un terminal de paiement tangible . . . . .	30
3.2.2	Évaluation d'un terminal de paiement à retour haptique	31
	<b>Conclusion</b>	<b>33</b>

# Table des figures

1	Évolution des moyens de paiement au fil du temps . . . . .	5
1.1	Les objets tangibles de la ReacTable [29] . . . . .	9
1.2	Un objet "saisissable" selon Fitzmaurice, Ishii et Buxton permettant d'interagir sur un objet virtuel . . . . .	10
1.3	Exemples d'interfaces tangibles . . . . .	11
1.4	Exemple de chaque catégorie de TUI . . . . .	14
1.5	Modélisation d'une TUI et des boucles de rétroaction proposées par Ishii [25] . . . . .	16
1.6	Différences entre TUI et GUI [4] . . . . .	17
3.1	Le prototype de PaisaStick[19] . . . . .	27
3.2	Scénario d'utilisation de Paisa Stick [19] . . . . .	27
3.3	Scénario d'utilisation de la tirelire "Smart Piggie Bank" . . . . .	28
3.4	Les trois métaphores d'interaction du Proverbial Wallet . . . . .	29
3.5	Scénario du transfert d'argent du client vers le vendeur . . . . .	30
3.6	Terminal de paiement à retour haptique . . . . .	32

# Introduction

Depuis des années, la vie quotidienne connaît une série d'évolutions qui ne fait que s'accroître avec l'essor des nouvelles technologies. Ces évolutions existent aujourd'hui dans de nombreux domaines, comme par exemple les assistants vocaux (*e.g.*, Alexa<sup>1</sup> ou Google Home<sup>2</sup>) pour le domaine de la domotique, les vélos ou trottinettes électriques pour le transport, les prises ou thermostats intelligents pour le confort ou encore les montres "hi-tech" pour le sport.

Le milieu bancaire n'a pas échappé à ces évolutions puisqu'il est aujourd'hui possible d'accéder à de nombreux services bancaires par quelques clics de souris sur internet [18].

Ces innovations technologiques ont conduit, dans le milieu bancaire, à la création de nouvelles formes de monnaies. En 2004, Mishin [34] définissait la monnaie comme étant : *"anything that is generally accepted in payment for good and services or in the repayment of debts"* c'est-à-dire, en français, "tout ce qui est généralement accepté en paiement de biens et services ou en remboursement de dettes". En effet, depuis des centaines d'années l'argent liquide est un moyen de paiement jouant le rôle d'intermédiaire dans les échanges, et permettant le paiement de biens et de services sous forme de pièces de monnaies et de billets. La monnaie n'a aujourd'hui plus de forme particulière mais elle évolue avec le temps. La figure 1 présente l'évolution des moyens de paiement au fil du temps.

De nos jours, les mécanismes de paiements traditionnels deviennent obsolètes et visent à être remplacés par des mécanismes plus avancés.

A l'international comme en France, il est aujourd'hui possible d'utiliser une carte à puce sans contact et rechargeable pour effectuer nos paiements. Nous passons donc à une société où l'artefact de paiement lui-même

---

1. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Amazon\\_Alexa](https://fr.wikipedia.org/wiki/Amazon_Alexa)

2. <https://store.google.com/fr/product/google-home>



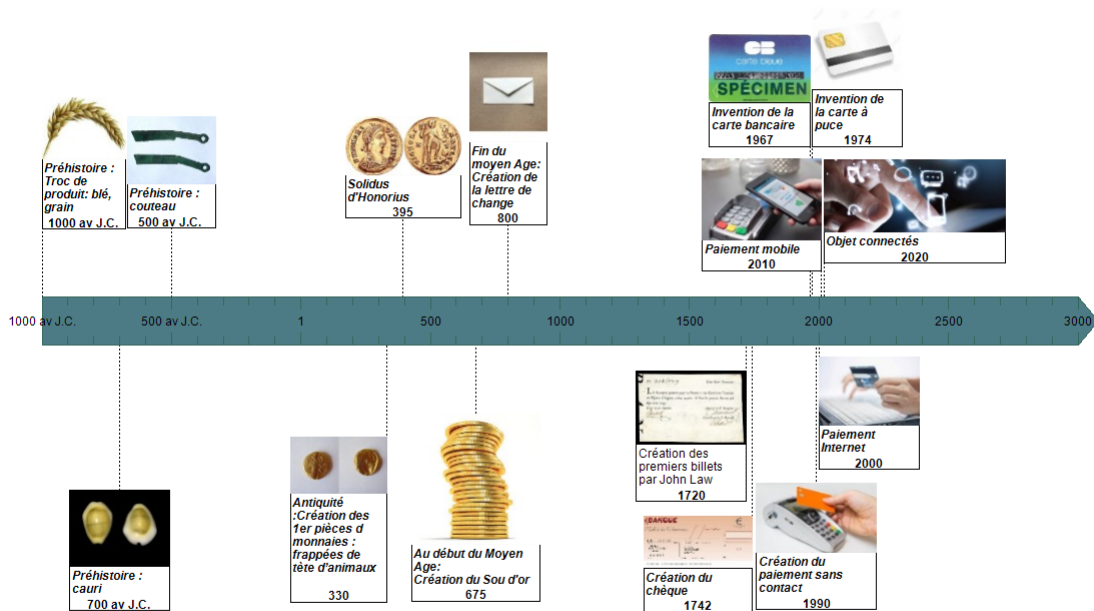


FIGURE 1 – Évolution des moyens de paiement au fil du temps

perd sa forme physique et sa valeur et est représenté virtuellement par un nombre [40]. Contrairement aux années passées où l'argent liquide était le moyen de paiement prédominant, aujourd'hui notre relation à l'argent est devenue abstraite. Les consommateurs peuvent choisir parmi une vaste gamme de moyens de paiement comme, par exemple, la carte bancaire, les paiements sans contact, les virements et prélèvements SEPA ou encore les chèques.

A présent, avec le développement des outils informatiques nous assistons premièrement à une numérisation de la monnaie appelée la monnaie électronique qui est stockée sous une forme électronique (*e.g.*, la puce d'une carte bancaire) ou à distance sur un serveur (*e.g.*, un compte en ligne), mais également à la naissance des banques à distance [41]. Ensuite, il existe maintenant ce que nous appelons la monnaie virtuelle. Le Bitcoin en est un parfait exemple c'est une monnaie immatérielle créée à partir d'un protocole cryp-

tographique de pair à pair, ne possédant pas de banque centrale ni aucun organisme central ou institutions financières. Le Bitcoin représente finalement le fruit du mariage des trois concepts suivants : le réseau P2P (de gré-à-gré) , les techniques de cryptographie et le concept de monnaie [13].

Durant ces dix dernières années, les paiements électroniques ont décollé. Poser un rectangle de plastique sur un terminal ou agiter un téléphone mobile est devenu une pratique quotidienne pour payer. Aujourd'hui, cette révolution est sur le point de transformer l'argent liquide en une espèce en voie de disparition dans de nombreux pays développés. Aussi, les moyens de paiements les plus courants (CB, virements) ne permettent plus de garder la notion d'objets physiques (palpables) représentatifs du montant, mais aussi de savoir si nous dépensons au-delà de nos moyens [52]. Aujourd'hui encore les consommateurs relient la notion d'argent liquide à des objets concrets. Que ce soit pour faire des achats ou régler un bien, nombreuses des transactions financières quotidiennes passent par du papier froissé ou des pièces de métal sonore.

C'est pourquoi nous visons dans le cadre de ce sujet de stage, à proposer une (ou plusieurs) alternative(s) innovante(s) ayant pour objectif la dématérialisation [10] des espèces (pièces et billets) lors des petits mouvements d'argent. Notre objectif réside dans le fait de rendre numérique l'ensemble de ces mouvements tout en favorisant les interactions tangibles qui *"permettent de coupler des informations numériques avec des environnements et des objets de la vie quotidienne"* selon la définition donnée par Ishii et Ullmer [28] en essayant de répondre aux deux questions suivantes :

- Comment dématérialiser l'argent liquide tout en gardant un côté tangible ?
- Quelles métaphores d'interactions utilisant des objets tangibles pourrions-nous proposer comme moyen de paiement ?

Nous proposons dans le premier chapitre de ce document, une présentation détaillée d'une technique d'interaction bien connue dans le domaine de l'IHM : les interfaces tangibles (en exposant leurs propriétés, leurs catégorisations). Dans le second chapitre, nous définirons la notion de dématérialisation en général puis la notion de dématérialisation dans le milieu bancaire. En nous raccrochant à ce dernier concept, nous présenterons un ensemble de projets relatifs. Nous poursuivrons par une discussion autour de la valeur ajoutée par rapport à la dématérialisation complète du moyen de paiement ?

# Chapitre 1

## Présentation des TUIs (*Tangible User Interfaces*)

### 1.1 Introduction

L'Interaction Homme-Machine (IHM) est la discipline qui se consacre à la conception, l'évaluation est la mise en oeuvre de systèmes informatiques interactifs pour l'usage humain ainsi qu'à l'étude des phénomènes majeurs qui les entourent [22]. Depuis plusieurs décennies, nous sommes devenus utilisateurs d'interfaces qui ne cessent elles-mêmes d'évoluer. Parmi les premières interfaces, nous pouvons citer les interfaces graphiques (GUI, *Graphical User Interface* en anglais) qui ont permis aux utilisateurs de visualiser mais aussi d'interagir avec des données numériques grâce aux interactions *WIMP*<sup>1</sup>.

Aujourd'hui, la communauté IHM s'intéresse de plus en plus à la capacité de pouvoir utiliser le monde qui nous entoure comme périphérique d'entrée afin de pouvoir agir dans un système informatique. Nous parlons alors d'interactions dites *Post-WIMP*. A l'avenir, tout objet nous entourant pourrait devenir un élément d'interface. C'est pourquoi depuis plus de 20 ans maintenant, les interfaces tangibles (TUI, *Tangible User Interface* en anglais) suscitent l'intérêt des chercheurs en IHM au vu de leurs avantages théoriques [12, 15, 28] et des nouvelles possibilités de conception qu'elles proposent [37]. La définition qu'en donnent Ishii et Ullmer en 1997 [28] est très succincte mais facilement compréhensible : il s'agit de manipuler des objets réels qui sont intégrés dans un environnement virtuel. En d'autres

---

1. Windows, Icons, Menu, Pointing Device

termes, les TUIs regroupent des techniques d'interaction dans lesquelles le (ou les) utilisateur(s) interagit(ssent) avec un système numérique grâce à la manipulation d'objets physiques [23, 25, 26, 43] ou la perception par les sens périphériques [27]. Selon Michel Beaudouin-Lafon [1], Les interfaces post-WIMP utilisent des nouvelles normes d'interactions (*e.g.*, interaction gestuelle, nouveaux périphériques physiques, réalité augmentée) afin de rendre les interactions plus efficaces et naturelles.

Ce chapitre vise à présenter en détail les travaux qui ont permis de définir les interfaces tangibles et donc de répondre globalement aux questions suivantes :

- Que signifie "Tangible" ?
- Quelle est la différence entre une interface saisissable et une interface tangible ?
- Qu'est-ce qu'une interface tangible ?
- Qu'est-ce qui caractérise une interface tangible ?

## 1.2 Définitions du mot *Tangible*

D'après la définition du LAROUSSE le mot *tangible* représente "*tout objet concret ou matériel qu'il est possible de toucher*"<sup>2</sup>.

Selon Fitzmaurice *et al.* [16] un objet tangible est un dispositif d'entrée physique qui peut être attaché à des objets virtuels pour la manipulation ou l'expression d'une action sur une surface interactive.

Selon *Ishii* [25], un artefact (ou objet) tangible est un moyen de contrôler une simulation informatique (en spécifiant l'emplacement des objets) et de contrôler une des représentations numériques. Prenons par exemple les objets de la ReacTable qui est un instrument de musique participatif et intuitif développée en 2005 au sein du Musique Technologie group à l'université de Pompeu Fabra à Barcelone [29]. La musique est déterminée par la position des divers objets physiques sur la table voir figure 1.1.

---

2. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/tangible/>

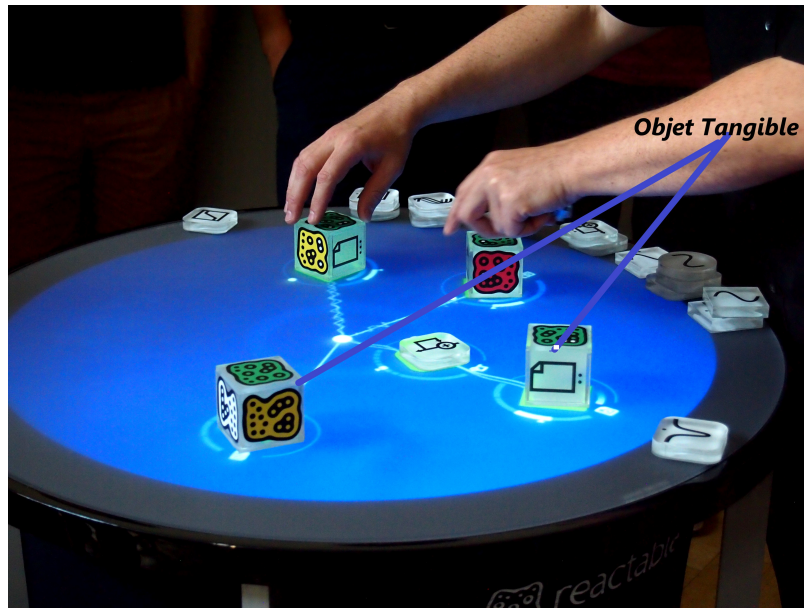


FIGURE 1.1 – Les objets tangibles de la ReactTable [29]

Nous proposons dans les sections suivantes de revenir sur les définitions proposées par Fitzmaurice *et al.* [16] et Ishii *et al.* [25] - pionniers de la notion - et de les détailler.

### 1.3 La notion d'interfaces *Saisissables*

En 1995, Fitzmaurice *et al.* [16] ont défini les interfaces saisissables (*graspable* en anglais) comme un ensemble d'éléments de l'interface graphique (*e.g.*, fenêtres, icônes, menus) où le contrôle et la manipulation directe des éléments virtuels se font à l'aide d'objets physiques (*e.g.*, petites briques). Derrière cette notion d'interfaces saisissables, les auteurs proposent l'utilisation de briques agissant comme des ancrs physiques (fonctions saisissables) et permettant la manipulation des informations numériques. De manière plus concrète, une ancre est un dispositif d'entrée attaché à une fonction numérique. En modifiant les paramètres du dispositif d'entrée, on fait appel à la fonction numérique associée permettant enfin d'agir sur l'objet virtuel qui lui est également associé (*cf.* figure 1.2).

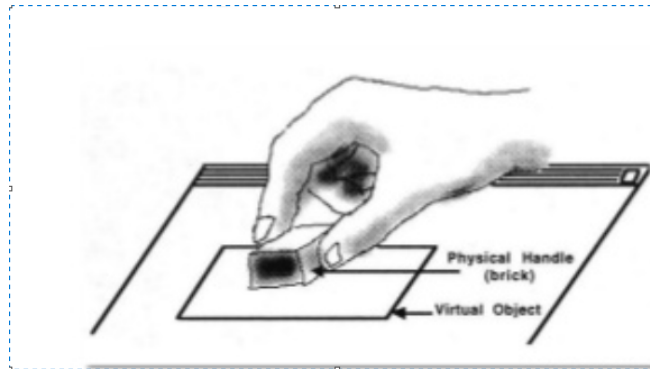


FIGURE 1.2 – Un objet "saisissable" selon Fitzmaurice, Ishii et Buxton permettant d'interagir sur un objet virtuel

Deux années plus tard, en 1997, Ishii et Ullmer [28] proposent un concept plus puissant que les interfaces saisissables et qui les englobe : les interfaces tangibles. Notons que dans leur proposition, les auteurs définissent les interfaces tangibles non pas comme une extension des interfaces saisissables mais comme une nouvelle vision (nouveau concept) qui contient elle-même les interfaces saisissables.

## 1.4 La notion d'interfaces *Tangibles*

Les interfaces tangibles (TUI, *Tangible User Interfaces* en anglais) désignent des interfaces homme-machine qui permettent à un (ou plusieurs) utilisateur(s) d'interagir avec un dispositif informatique en utilisant un (ou plusieurs) objet(s) physique(s). Pour permettre cela, les objets sont équipés de dispositifs appropriés de type capteurs ou caméras, permettant de capter ou d'interpréter les événements produits dans le monde physique, de les traduire dans les termes du système numérique et de rendre perceptibles à l'utilisateur, dans le monde physique les résultats des traitements numériques [25]. L'idée principale des TUIs est de donner des formes physiques aux informations numériques. Ces formes physiques servent à la fois de représentations et de contrôles pour leurs homologues numériques. Les TUIs rendent l'information numérique directement manipulable et perceptible par nos sens périphériques [25].

La figure 1.3 représente des exemples de projets qui explorent la notion

d'interface tangible. La figure 1.3.a) illustre les Pinwheels [27] qui représentent une donnée numérique par la vitesse de rotation des hélices (trafic d'un réseau informatique). La figure 1.3.b) illustre le projet Andante qui utilise la métaphore de la marche de personnages animés sur le clavier d'un piano afin de visualiser le mouvement musical (mouvement des touches) [53]. La figure 1.3.c) illustre le projet CityScape qui consiste en un affichage numérique d'ombres permettant à des planificateurs de convertir des informations abstraites au format tangible et de recouper les informations de plusieurs systèmes urbains<sup>3</sup>. Enfin, La figure 1.3.d) illustre l'objet KnobSlider qui est un dispositif déformable combinant les avantages des boutons rotatifs et linéaires grâce à un changement de forme à la demande (passe d'un bouton à un curseur) et répondant aux besoins de nombreux professionnels (par exemple, les ingénieurs du son et de la lumière, les graphistes, les opérateurs de caméra et les pilotes) qui utilisent généralement des interfaces physiques de type "table de mixage" [31].

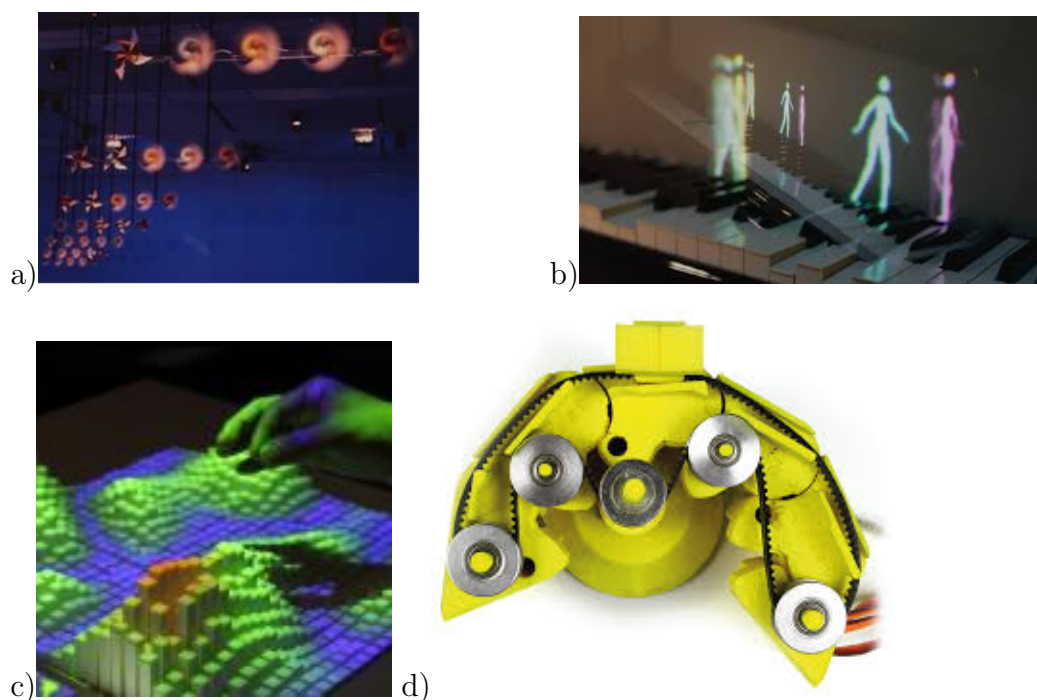


FIGURE 1.3 – Exemples d'interfaces tangibles

3. <https://tangible.media.mit.edu/project/tangible-cityscape/>

EN SOMME, IL CONVIENT DE RETENIR QU'UNE INTERFACE TANGIBLE UTILISE DES OBJETS PHYSIQUES POUR REPRÉSENTER ET MANIPULER DES INFORMATIONS NUMÉRIQUES.

### 1.4.1 Propriétés des interfaces tangibles

Il existe quatre propriétés fondamentales des interfaces tangibles qui ont été proposées par Ishii et Ullmer en 2000 [43], puis en 2008 [25] :

**Propriété 1 :** Les représentations tangibles sont reliées à l'information numérique et aux modèles informatiques sous-jacents.

**Propriété 2 :** Les représentations tangibles servent à contrôler l'information numérique. Par exemple si un objet physique permet de modifier une vitesse, dans une interface tangible cet objet sera couplé à une donnée numérique "vitesse" et permettra en même temps de la contrôler. Ces objets d'interaction aussi appelés interacteurs, ont été introduit par Faconti et Paterno en 1990 [42] et sont des widgets disponibles dans l'interface et qui peuvent être inertes, en mouvement (par l'utilisateur) ou animés de façon autonome par le système informatique (*e.g.*, utilisation de moteurs). Selon Calvary *et al.* [3], un interacteur est l'abstraction d'une entité capable à la fois d'entrée et de sortie dans un système interactif. Par interacteur tangible, les auteurs entendent un objet physique (tangible) de l'environnement de l'utilisateur utilisé pour contrôler ou représenter les données numériques d'une interface. Dans une TUI, ces interacteurs sont appelés props ou tangible objects.

**Propriété 3 :** Les représentations tangibles et intangibles sont fortement couplées. Les représentations intangibles au sein d'une TUI transportent et diffusent la majeure partie de l'information dynamique issue du système informatique.

**Propriété 4 :** L'état de la représentation tangible doit correspondre à l'état du modèle numérique. En conséquence, si l'état du modèle numérique change, sa représentation physique doit également changer.

### 1.4.2 Catégories des interfaces tangibles

En 2004, Fishkin a réalisé une analyse des TUIs existantes lui permettant de déterminer si une interfaces est tangible ou non [14]. Dans ses travaux, Fishkin interprète la notion de "tangibilité" comme un attribut à valeurs multiple. Il propose alors deux axes :



- L'axe métaphorique : qui permet de classer les TUIs en vérifiant si l'action effectuée par un utilisateur sur un système numérique est similaire à l'action effectuée dans le monde réel.
- L'axe d'incarnation : qui permet de classer les TUIs en fonction du degré de distinction entre l'entrée et la sortie.

Un an plus tard, en 2005, Ullmer *et al.* ont classés les TUIs en trois types [44]. Ishii [25] a étendu cette catégorisation à sept en 2008, puis, Ullmer *et al.* [45] ont ajouté à cette classification un huitième type de TUI.

**Catégorie 1 : Les surfaces interactives où les objets sont contrôlés :** appelées également "TUI de table". Ces interfaces représentent une surface de travail où des objets tangibles sont manipulés et dont les mouvements sont détectés. Par exemple, les travaux de Kubicki *et al.* proposent en 2009 une table interactive (figure 1.4a) basée sur la technologie RFID (Radio Frequency IDentification), cette table permet par exemple à des enfants de travailler en équipe ou individuellement en manipulant des objets de différentes tailles en les déplaçant sur la table [32].

**Catégorie 2 : Les assemblages constructifs :** ce sont les interfaces composées de plusieurs éléments reliés entre eux qui permettent des constructions plus grandes comme par exemple, DataTiles basé sur la notion de "tuiles" qui constituent une interface modulable(figure 1.4b).

**Catégorie 3 : Les systèmes munis de jetons dans des espaces contraints (*tokens+constraints systems*) [27] :** est une autre approche de TUI qui utilise des contraintes mécaniques pour exploiter des informations numériques abstraites. Par exemple dans le projet "Build my own Hercule" proposé par Rey en 2019 [36], une statue représentant une partie de corps compléter par des pièces représentés par des objets physiques (jetons) et pour lesquelles les contraintes sont les zones creuses dans lesquelles les pièces peuvent être placées (figure 1.4c).

**Catégorie 4 : Les TUIs à mémoire cinétique :** elles utilisent les gestes et les mouvements cinétique pour promouvoir des concepts d'apprentissage par exemple, ces interfaces ont la capacité de reproduire des actions (gestes, mouvements) à distance. Plus concrètement, on parle aujourd'hui d'interfaces "déformables" qui peuvent changer de forme en cours d'exécution. Par exemple les Pinwheels 1.4d).

**Catégorie 5 : Les objets augmentés :** le principe repose sur l'amélioration des produits numériques existant en ajoutant une certaine augmen-

tation numérique pour faciliter la compréhension des concepts de base. On parle ici d'objets physiques interactifs. Par exemple, I / O Brush<sup>4</sup> un pinceau physique qui contient une caméra, Ce pinceau qui est un outil de dessin pour explorer les couleurs, les textures qui se trouvent sur des objets ou des surfaces 1.4e).

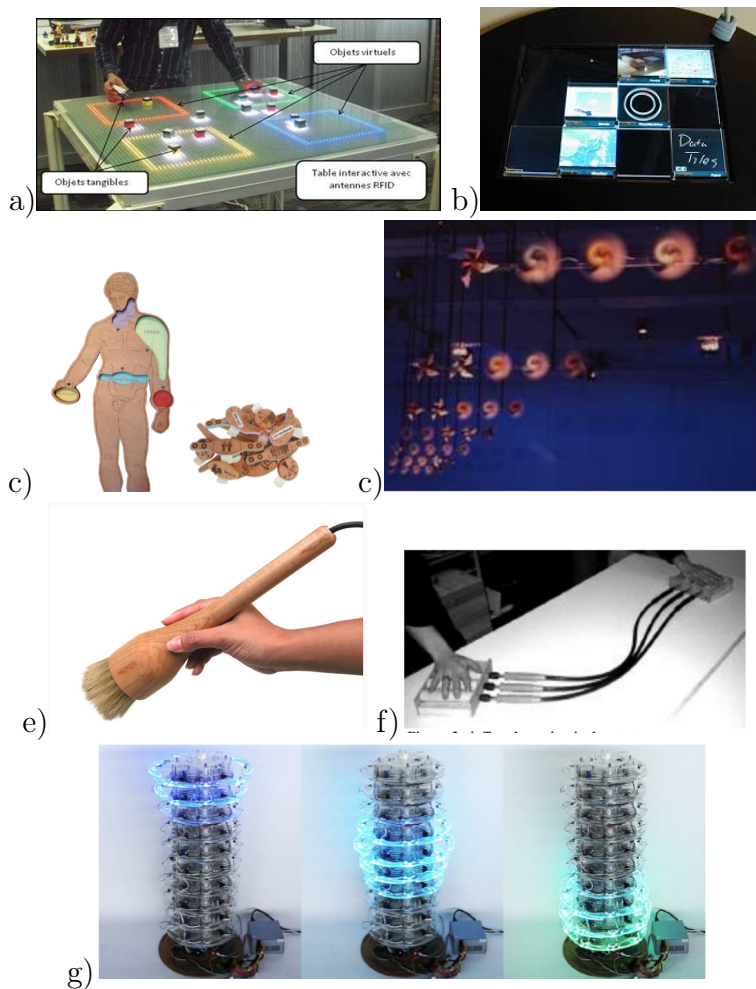


FIGURE 1.4 – Exemple de chaque catégorie de TUI

**Catégorie 6 : La téléprésence tangible :** ce sont des interfaces qui utilisent une représentation et un contrôle tangible par médiation, elles se

4. <https://tangible.media.mit.edu/project/io-brush/>

reposent sur la mise en correspondance entre les mouvements en entrée et la représentation haptique à distance comme par exemple, InTouch [2] qui permet à deux personnes à distance de sentir qu'ils sont en interaction avec un objet physique commun (voir figure 1.4f).

**Catégorie 7 : Les médias ambiants :** utilisent les éléments de l'espace ambiant afin d'informer d'un état ou d'une situation. Ici, aucune interaction n'est possible. L'interface tangible sert plutôt d'affichage. Par exemple, Cairn-Form [9] est un prototype d'afficheur cylindrique à symétrie dynamique où des cercles augmentent ou diminuent en fonction de la consommation d'énergie (voir figure 1.4g).

**Catégorie 8 : Les interfaces tangibles noyaux (core tangible) :** permettent d'assurer de façon uniforme la représentation et le contrôle des opérations communes à diverses interfaces tangibles (éléments d'interfaces que l'on retrouve dans plusieurs TUIs comme par exemple : ouvrir/fermer une application, copier/coller, etc.).

### 1.4.3 Modélisation des interfaces tangibles

Fondamentalement, pour la modélisation des TUIs, nous nous référons au modèle d'Ulmer et Ishii [43] proposé en 2000/2001 et à son évolution décrite par Ishii en 2008 [25]. Remarquons que pour la modélisation de l'interaction (vs. interface) tangible, nous nous référons au modèle décrit par Zuckerman *et al.* en 2005 [54] mais également à celui proposé par Ishii [26]. Dans cette section, nous proposons de développer uniquement le modèle proposé par Ishii en 2008, celui-ci se reposant sur les modèles d'Ulmer et de Zuckerman.

Dans une interface graphique, l'interaction se modélise par l'action (ou interaction) de l'utilisateur sur un dispositif comme la souris, clavier dont le résultat de l'action sera sous la forme d'une rétroaction visuelle [8]. Globalement, l'interaction tangible fonctionne de la même manière mais dans ce cas, l'utilisateur agit sur un interacteur tangible et perçoit le résultat à travers le système informatique. Ishii [25] propose alors de modéliser l'interaction tangible selon trois boucles de rétroaction (figure 1.5) :

**Boucle 1 :** Rétroaction haptique passive. A chaque fois que l'utilisateur déplace ou saisit un objet tangible, il reçoit une confirmation immédiate puisque l'objet est physique et est donc perçu par le sens "toucher" de l'utilisateur. Dans cette boucle il n'existe pas un délai dû au calcul puisqu'il n'y a pas de traitements numériques liés à cette boucle.

**Boucle 2 :** Rétroaction numérique. Dans cette boucle le système nécessite

la détection des mouvements de l'objet tangible sur la plate-forme interactive. La réponse est calculée à partir des données collectées et l'affichage sera une rétroaction visuelle ou auditive. A la différence de la première boucle, celle-ci nécessite un traitement numérique et prend donc plus de temps que la première.

**Boucle 3** : Rétroaction physique. En actualisant, l'ordinateur donne l'état de l'information numérique dans le cas où le modèle (positionnement d'un objet physique) a été modifié par le système lui-même.

Pour résumer, la première boucle correspond au retour de l'action sur l'objet physique, la seconde au retour visuel via la représentation de l'objet numérique et la troisième au retour de l'effet de l'interaction sur l'objet modifié.

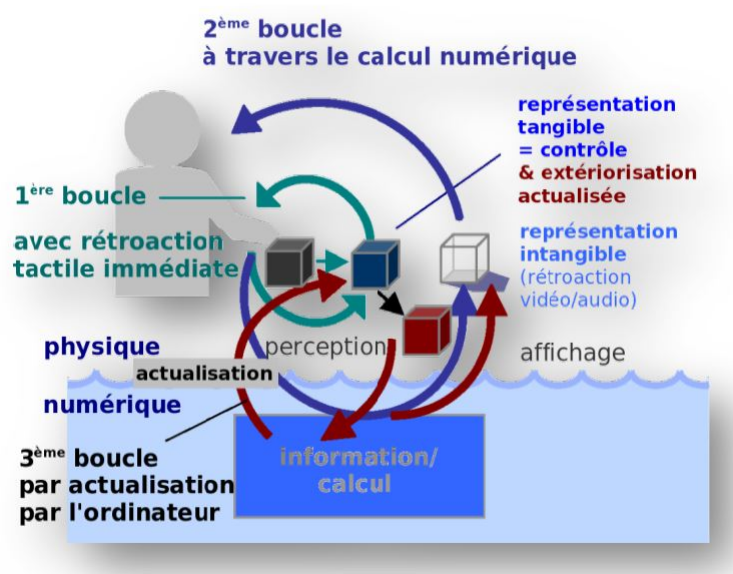


FIGURE 1.5 – Modélisation d'une TUI et des boucles de rétroaction proposées par Ishii [25]

## 1.5 Quelles différences entre GUI et TUI ? Pourquoi favoriser les TUIs ?

Interagir avec une TUI est très différent de l'interaction avec une GUI [55] et de nombreuses études ont démontré les bénéfices des TUIs, comme par exemple vivre une expérience plus naturelle, intuitive et/ou conviviale [28, 12] ainsi que l'avantage de l'affordance naturelle des objets tangibles puisque l'utilisateur n'a pas besoin d'apprendre le fonctionnement de l'interface car la représentation de l'objet physique suffit (*e.g.*, un objet "gomme" pour effacer ou supprimer une donnée ou un objet numérique). Enfin, l'interaction avec les deux mains a également été largement mise en avant. Le tableau 1.6 résume ces différences [4] :

<b>Types d'interfaces</b> <b>Attributs</b>	<b>Interface utilisateur</b> <b>graphique</b>	<b>Interface utilisateur</b> <b>Tangible</b>
<b>Domaines d'applications</b>	Réalisé pour plusieurs types de domaines d'application	Conçu pour un domaine d'application spécifique
<b>Fonctionnement du système</b>	Utilise des bits graphiques par exemple, pixels à l'écran	Utilisation d'un objet tangible pour contrôler l'information numérique
<b>Couplage entre les bits cognitifs et la sortie physique</b>	Manipulation de l'information numérique indirecte	Manipulation direct
<b>La façon dont l'utilisateur apprend son fonctionnement</b>	L'utilisateur doit apprendre le fonctionnement de l'interface	La connaissance de l'objet tangible signifie la connaissance de fonctionnement de l'interface
<b>Comportement de l'utilisateur à l'approche du système</b>	Reconnaissance	Intuition

FIGURE 1.6 – Différences entre TUI et GUI [4]

## 1.6 Conclusion

Pour conclure, dans ce chapitre nous avons présenté en détail les interfaces utilisateur tangibles (TUI). Dans ces interfaces, l'information numérique est

représentée et contrôlée par des objets physiques. l’affordance de ces objets permet aux utilisateurs de comprendre immédiatement leurs usages dans le monde numérique.

Nous avons présenté la notion de base des TUIs et l’avons illustré par des exemples d’applications. Ensuite nous avons abordé leurs propriétés, leurs catégories et leurs modélisations. Enfin, nous avons proposé une rapide comparaison des TUI face aux GUI.

Dans le chapitre suivant on présente la notion de Dématérialisation en général en l’appliquant ensuite au domaine bancaire.

# Chapitre 2

## La notion de *Dématérialisation*

### 2.1 Introduction

De nos jours, l'usage des technologies reflète les besoins et les attentes des utilisateurs. Ces derniers acceptent et utilisent les outils qui leur permettent d'avoir un contexte de vie confortable, facile, en essayant toutefois de minimiser leurs atteintes à leur vie privée.

Aujourd'hui, le processus de dématérialisation est visible dans tous les domaines. Il est parmi les processus qui permettent de transformer la vie quotidienne des gens, comme par exemple la comptabilité d'entreprise, l'utilisation des signatures électroniques, la numérisation des données ou encore la dématérialisation de la monnaie.

Dans le cadre de notre stage nous visons à trouver une ou plusieurs solutions afin de dématérialiser la petite monnaie tout en gardant son aspect physique (tangibile).

Pour cela, nous proposons de définir en première section de ce chapitre, le concept de dématérialisation en général. Dans un second temps, nous nous attarderons sur la notion de dématérialisation dans le milieu bancaire. En troisième lieu, nous chercherons à présenter les avantages et les inconvénients de la dématérialisation en nous appuyant sur un ensemble de travaux de recherche et d'expérimentations qui ont pu être menés au cours des 10 dernières années. Enfin, nous présenterons dans une dernière section une approche visant à réunir les avantages du monde physique et du monde numérique (dans un contexte monétaire) c'est-à-dire l'utilisation des objets physiques dans des mécanismes de paiements [46].

Dans ce chapitre, nous visons globalement à répondre aux questions suivantes :

- Qu'est-ce-que la dématérialisation ?
- Comment et pourquoi la dématérialisation dans le milieu bancaire ?
- Quels avantages ou inconvénients à dématérialiser l'argent ?

## 2.2 Définition de la dématérialisation

Selon John David Ebert, la notion de dématérialisation revient aux années 70 telle qu'explorée dans la première interface utilisateur graphique (GUI) au Xerox PARC [11]. Aujourd'hui, soit une cinquantaine d'années plus tard, la dématérialisation se retrouve partout. Elle concerne tous les outils que nous utilisons quotidiennement : les traitements de texte, les fichiers, la gestion des achats, la monnaie, la musique, *etc.* Très souvent, le mot *dématérialisation* est utilisé dans le sens de numérisation. Ce concept peut alors être défini comme suit : "*la dématérialisation c'est le fait de remplacer ou de transformer les données d'un support d'informations matériel par un support numérique*" [47]. En d'autres termes, nous parlons de dématérialisation quand le contenu numérique se détache de son support et que ce dernier disparaît. Ce contenu numérique (comme les livres, la musique ou l'argent) dont l'artefact a perdu sa forme physique et devient intangible, dynamique et transitoire, circule alors librement sur les réseaux et les appareils [10].

Nous proposons dans la section suivante, de présenter en détail la notion de dématérialisation appliquée au domaine bancaire.

## 2.3 La dématérialisation dans le milieu bancaire

Le milieu bancaire, comme tous les autres secteurs a ses progrès. Durant ces dernières années ce secteur a enregistré un accroissement majeur de dématérialisation. La révolution numérique et technologique ne faisant qu'évoluer, conduit ce domaine à devoir repenser ses stratégies et ses outils pour répondre aux nouveaux besoins de ses utilisateurs. Dans ce domaine, la dématérialisation ne concerne pas seulement le mode de communication et les démarches administratives qui peuvent être réalisées sur un support électronique, elle concerne également les moyens de paiement. Nous assistons



au fil du temps à l'apparition de nouveaux instruments de paiement et petit à petit à la disparition de la monnaie. Par exemple, dans un article récent de la presse française<sup>1</sup>, David Bounie Directeur du département économique et social de Télécom Paris expose que la fin de la monnaie s'annonce inéluctable. Nous assistons donc à la naissance d'un monde qui n'utilise qu'une valeur monétaire stockée sous une forme électronique ou magnétique.

### 2.3.1 La dématérialisation de l'argent liquide : avantages et inconvénients

Lors de la dématérialisation de l'argent liquide, l'artefact physique lié à un métal précieux ou un papier portant sa valeur est éliminé. D'une manière générale, la dématérialisation de l'argent liquide représente la régression des pièces et des billets au profit de la monnaie "virtuelle" (utilisation de la carte bancaire, virements et prélèvements automatiques, paiement sans contact, etc.). L'avantage ici est en particulier financier puisque l'objet n'existe plus, mais aussi que ce dernier est plus facile à tracer et à contrôler.

D'un autre côté, la manipulation d'un artefact dématérialisé portant une valeur monétaire demande peu d'efforts physiques ou cognitifs et sa forme permet une disponibilité illimitée, une flexibilité voire une omniprésence [49]. Aujourd'hui, le paiement sans contact est favorisé grâce à la technologie NFC ou les méthodes de paiement avec vérification biométrique. Toutefois, bien que ces techniques de paiement soient faciles et présentent de nombreux avantages en termes de sécurité, de confidentialité, de commodité, de réductions du coût de la distribution et de diminution de la conservation des espèces, elles n'en restent pas moins très coûteuses pour le secteur bancaire [7].

Aujourd'hui, nous nous retrouvons donc avec deux tendances : les personnes qui voient un intérêt à la dématérialisation de l'argent liquide et celles qui défendent l'idée du "droit au cash". Ces inquiétudes ont, par exemple, donné naissance à un mouvement Suédois qui soutient le paiement en liquide, celui-ci s'appelle en Suédois « Kontantupproret » ce qui signifie "rébellion en faveur du liquide"<sup>2</sup>. La dématérialisation complète de l'argent liquide est un sujet d'actualité et qui n'est clairement pas encore tranché.

---

1. <http://www.leparisien.fr/economie/consommation/on-a-teste-une-semaine-sans-billets-ni-monnaie-30-11-2019-8206503.php/>

2. <https://www.liberation.fr/planete/2018/10/12/dematérialisation-avis-de-liquidation-sur-le-cash/>

### 2.3.2 Argent liquide *vs.* dématérialisé : résultats d'études expérimentales

De nombreuses études ont été menées visant à comparer le comportement des consommateurs lors de l'utilisation de monnaies dématérialisées et liquide.

Dans un premier temps, les études ont montré que les nouveaux moyens de paiement dématérialisés pouvaient conduire une déconnexion entre les décisions et les conséquences financières. En effet, la plupart des consommateurs ne sont pas capables de correctement équilibrer leurs entrées et sorties d'argent [30]. Certaines études ont alors montré que l'argent liquide aidait les personnes à contrôler leurs dépenses et à assurer un suivi de leur budget plus clair [7]. Par ailleurs, la capacité des consommateurs à traduire la valeur de la monnaie et à gérer leurs dépenses est plus efficace lorsque l'utilisateur possède un objet qui porte cette valeur monétaire ou un moyen permettant un retour haptique<sup>3</sup> associé à leurs dépenses [24, 21].

D'une manière générale, en manipulant des espèces, le consommateur se rend compte de la valeur de la transaction plus facilement qu'avec sa carte de crédit. Cela est dû à la différence de couplage c'est-à-dire que lorsque le consommateur paye ses achats en espèces, la "séparation d'argent" est ressentie immédiatement ce qui n'est pas le cas lors d'un paiement par carte de crédit [21]. Chatterjee *et al.* [7], ont également montré qu'effectuer des achats en utilisant comme moyen de paiement les espèces, nous rendait plus conscients de la somme d'argent dépensée mais que le paiement avec une carte de crédit nous rendait plus conscients des avantages (facilité d'utilisation, sécurisation des transaction ou limites contre la fraude). Shah *et al.* [38], ont montré que l'utilisation des anciens moyens de paiement (argent liquide) augmentait également notre sens émotionnel lors d'un achat. Les recherches de John Vines *et al.* [50] corroborent ces résultats. Dans leurs études, ils ont remarqué que leurs participants préféraient conserver leur argent et le stocker chez eux. Malgré la conscience du danger de cette pratique, ils restent attachés au matériel (pièces de monnaie, billets) car celui-ci les aide à mieux gérer et contrôler leurs dépenses et leurs revenus.

Dans un second temps, de nombreuses études ont été réalisées afin de montrer que le sens du toucher jouait un rôle important lors d'achats pour les consommateurs. Par exemple, Shen et Takahashi ont mené une expé-

---

3. science qui exploite le sens du toucher

rimentation visant à étudier l'effet de la tangibilité de la monnaie sur le comportement des participants [39]. Leur expérience se composait de trois sessions nommées 1) "pièces", 2) "billets" et 3) "sans monnaie" (c'est-à-dire sans manipulation d'argent physique). Les résultats ont montré que la majorité des participants des sessions "billets" et "pièces" ont évité d'investir leur argent fraîchement gagné ce qui est le contraire pour les participants de la session "sans monnaie". De plus, lors des sessions "billets" et "pièces" l'investissement est en général moindre par rapport à la session "sans monnaie". Enfin, les participants masculins ont investi plus que les participants féminins ce qui confirme les hypothèses de Gneezy *et al.* [6, 20]. Pour conclure, ces résultats montrent que les participants se rendent pleinement compte de la valeur de la monnaie quand ils tiennent physiquement l'argent cela stimule les participants qui changent donc leur comportement.

Reinstein et Riener [35] ont également étudié l'effet de la tangibilité de la monnaie avec le jeu du dictateur qui est une expérience en psychologie et économie. Le principe du jeu est qu'une somme d'argent fixe est à distribuer entre deux joueurs. Au départ, le premier joueur doit proposer une répartition de l'argent au second joueur. Le second joueur doit alors décider si il accepte ou refuse l'offre du premier joueur. Si il refuse l'offre, aucun des deux joueurs ne reçoit d'argent. Le premier joueur a donc tous les pouvoirs sur la répartition et devrait chercher à maximiser la somme d'argent qu'il va recevoir. Deux expériences donc ont été menées par Reinstein et Riener : 1) dotation via manipulation d'argent physique (dans des enveloppes) et 2) dotation via l'écran d'un ordinateur puis payée en espèces à la fin de l'expérience. Ainsi, ils ont testé séparément si le fait de gagner et d'avoir de l'argent en main changeait le comportement des participants. Les résultats ont montré que les "dictateurs" donnaient moins quand la dotation était en espèce que lorsque la dotation était affichée sur l'écran de l'ordinateur. Là encore, la manipulation de l'argent liquide influe sur le comportement et décisions des participants.

D'un autre côté, Wang et Qin [51] ont introduit la notion de sanction dans un jeu de biens publics. Ils ont constaté que les pénalités étaient plus significatives pour les participants lors d'utilisation d'espèces que lors d'utilisation de moyens électroniques. Enfin, Vandors [48] a réalisé deux expériences afin de vérifier l'influence du type de monnaie (pièce / billet) sur le comportement des consommateurs lors d'achats. L'étude a alors révélée deux comportements : 1) dans le cas d'une valeur monétaire faible, les consommateurs préfèrent les billets aux (nombreuses) pièces de monnaie et 2) les consom-

mateurs qui portent des pièces de monnaie effectuent souvent des achats de valeur relativement faible.

## 2.4 Conclusion

Pour conclure, l'ensemble de ces recherches montrent que l'argent liquide permet de mieux gérer nos comportements financiers et de mieux surveiller notre budget contrairement aux moyens de paiement totalement dématérialisés. Les résultats de ces études ont montré que la détention et la manipulation d'argent liquide rendaient les dépenses des consommateurs plus significatives [48]. L'ensemble de ces résultats justifie l'attachement encore actuel des consommateurs envers l'argent liquide. Cependant, il est important de noter que le choix entre les divers moyens de paiements dépend de plusieurs facteurs liés à la nature du consommateur tels que l'âge, l'éducation, les revenus, la culture. Par ailleurs, les recherches montrent que le fait de détenir physiquement des espèces modifie le comportement des usagers et que la notion de tangibilité est importante. Nous proposons de synthétiser l'ensemble des résultats de ces études expérimentales présentées ci-dessus qui, pour la plupart, ont cherché à comparer le comportement des "consommateurs" lors de l'utilisation de l'argent liquide face à la monnaie dématérialisée. Nous présentons cette synthèse dans le tableau 2.1.

D'une manière générale, les résultats ci-dessus montrent que l'argent dématérialisé possède des avantages mais supprime la richesse du monde physique qui est lui garanti par l'argent liquide. Dans le chapitre suivant nous présentons un ensemble de projets de recherches qui se sont penchés sur la notion de dématérialisation de l'argent liquide tout en gardant la notion de physicalité/tangibilité.

Argent liquide	Argent dématérialisé
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence d'un objet qui porte sa valeur.</li> <li>- Le consommateur se rend compte de la valeur de la transaction.</li> <li>- Moyen de paiement plus "douloureux". (Le consommateur ressent immédiatement la séparation de l'argent).</li> <li>- Le consommateur est "plus conscient" de la somme dépensée.</li> <li>- Augmentation du sens émotionnel lors d'un achat.</li> <li>- Gestion et contrôle des dépenses et des revenus facilités.</li> <li>- Tangibilité.</li> <li>- Le consommateur adapte/change son comportement.</li> <li>- Facilite le suivi budgétaire du consommateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facile d'utilisation</li> <li>- Moyen de paiement sécurisé, dynamique.</li> <li>- Plus confortable et agréable.</li> <li>- Paiements confidentiels.</li> <li>- Limite contre les fraudes.</li> <li>- Réduction des coûts (de distribution).</li> <li>- Intangible et flexible.</li> <li>- Disponibilité illimitée.</li> <li>- Déconnexion entre les décisions et les conséquences financières.</li> </ul>

TABLE 2.1 – Argent liquide *vs.* dématérialisé

# Chapitre 3

## Dématérialisation de la monnaie et interfaces tangibles

Certaines recherches s'intéressent à une dimension plus particulière de la dématérialisation dans le milieu bancaire. Dans ce chapitre nous présentons quelques projets que nous avons retenus, issus du domaine de l'IHM, et visant à proposer une dématérialisation de l'argent tout en gardant la notion de tangibilité.

### 3.1 Les moyens de paiement

#### 3.1.1 Paisa Stick

Gupta *et al.* [19] ont proposé la conception d'un système de paiement appelé Paisa Stick (figure 3.1) fonctionnant sur le principe de l'argent liquide à destination des personnes âgées. Ce moyen de paiement donne une représentation de la somme dépensée et évite aux utilisateurs de porter un porte-monnaie. Paisa Stick contient 5 boutons représentant des montants de billets (montant des principaux billets utilisés en Inde) et deux boutons de validation (*NON*, *OUI*).



FIGURE 3.1 – Le prototype de PaisaStick[19]

La transaction bancaire se fait en utilisant une tonalité DTMF<sup>1</sup> (*Dual Tone Multi Frequency*, en Anglais). Les "codes"/données sont émis lors de l'appui sur la touche du téléphone ou du dispositif. Dans le cas de Paisa Stick, en cas d'échec de la transaction avec la tonalité DMTF, celle-ci peut s'effectuer via un QR code. Un exemple de scénario d'usage est visible avec la figure 3.2. Globalement, utiliser l'outil Paisa Stick reproduit l'expérience d'utilisation de l'argent liquide tiré d'un portefeuille physique grâce aux retours d'informations en temps réel sur l'écran d'affichage. Les utilisateurs bénéficient ici de l'avantage de la monnaie dématérialisée mais aussi de la plateforme tangible (par analogie au porte-monnaie dont on prélève l'argent liquide).

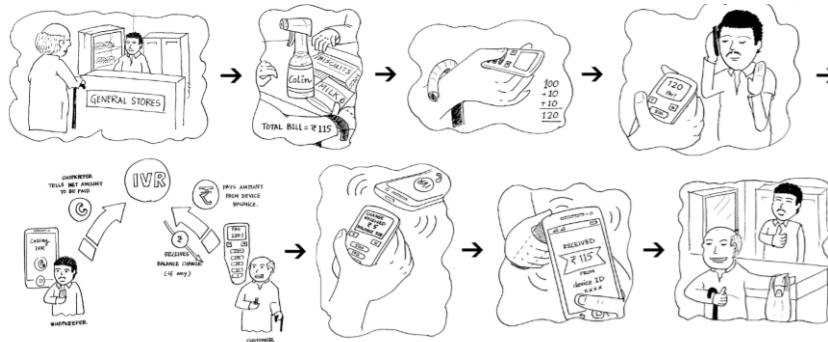


FIGURE 3.2 – Scénario d'utilisation de Paisa Stick [19]

1. Combinaison de huit fréquences réparties en deux groupes dits haut et bas utilisées pour la téléphonie fixe.

### 3.1.2 Smart Piggie Bank

Yong-Jae Lee *et al.* [33] ont proposé dans leurs travaux d'étudier les problèmes de manque de connectivité (et de synchronisation) entre les appareils à domicile en se basant sur l'internet des objets (IoT) et en essayant de les lier aux comptes bancaires des utilisateurs. Afin de surmonter ces problèmes de connectivité, les auteurs ont proposé une tirelire connectée par Bluetooth à une application disponible sur le smartphone des parents. Le scénario d'usage (figure 3.3) est le suivant : à chaque fois que l'enfant insère une pièce de monnaie dans la tirelire, une notification apparaît sur le smartphone des parents. Après vérification, les parents peuvent transférer l'argent (un montant prédéfini par la pièce) sur le compte bancaire de leurs enfants de manière manuelle ou automatique. De cette manière, il existe une "véritable" association entre l'objet (tirelire + pièces) et le compte bancaire de l'enfant. Pour conclure, la liaison forte entre la tirelire, les pièces de monnaie et le compte bancaire permet à cette tirelire d'obtenir les caractéristiques d'un moyen de paiement dématérialisé mais aussi d'un portefeuille physique, profitant ainsi de les avantages des interfaces tangibles mais aussi de la dématérialisation.

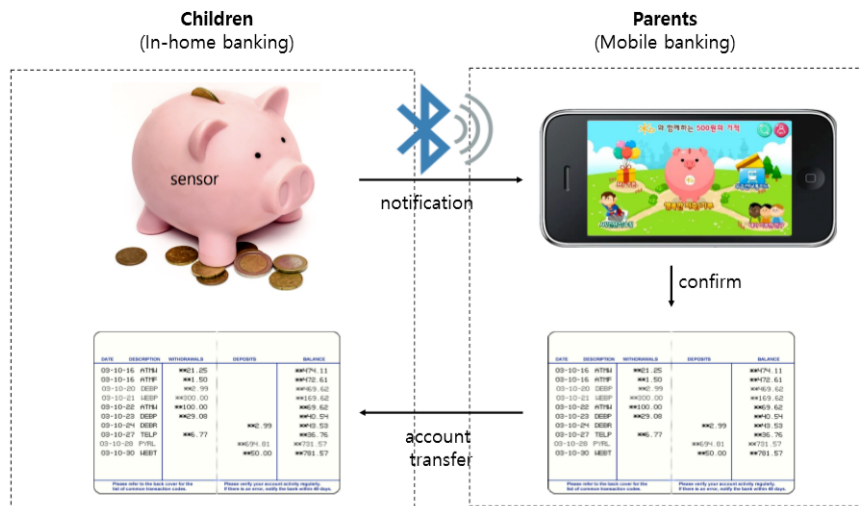


FIGURE 3.3 – Scénario d'utilisation de la tirelire "Smart Piggie Bank"



### 3.1.3 Proverbial Wallet

Dans leurs travaux, Kestner *et al.* [30] proposent un concept de portefeuille tangible qui guiderait un utilisateur à prendre des décisions responsables lors de ses dépenses. Pour cela, les auteurs présentent l'utilisation de leur portefeuille selon 3 métaphores d'interaction elles-même basées par analogie au comportement de trois animaux : la maman ours, le paon et le bourdon. Pour mettre en oeuvre cela, les auteurs se sont reposés sur le principe de Kairos décrit par Fogg [17] qui consiste à "*trouver le moment providentiel pour présenter votre message*". Ainsi, le portefeuille électronique (figure 3.4) fournit au propriétaire des informations sur son solde en utilisant 1) la résistance lors de l'ouverture du portefeuille dans le cas où le solde est faible (la maman ours qui protège ses petits), 2) le gonflage ou dégonflage du portefeuille selon la santé du compte bancaire plus ou moins rempli (analogie avec la queue du paon) ou 3) le retour haptique par vibration qui permet à l'utilisateur de rester "connecté" aux actions (transactions) sur son compte (ex. vibration lors d'un débit). Chacune de ces trois métaphores sont présentées dans la figure 3.4. Pour conclure sur ces travaux, l'utilisation d'un retour haptique dans ce portefeuille permet une incarnation des transactions numériques offrant aux utilisateurs un suivi et une prise de décisions financières plus responsables.

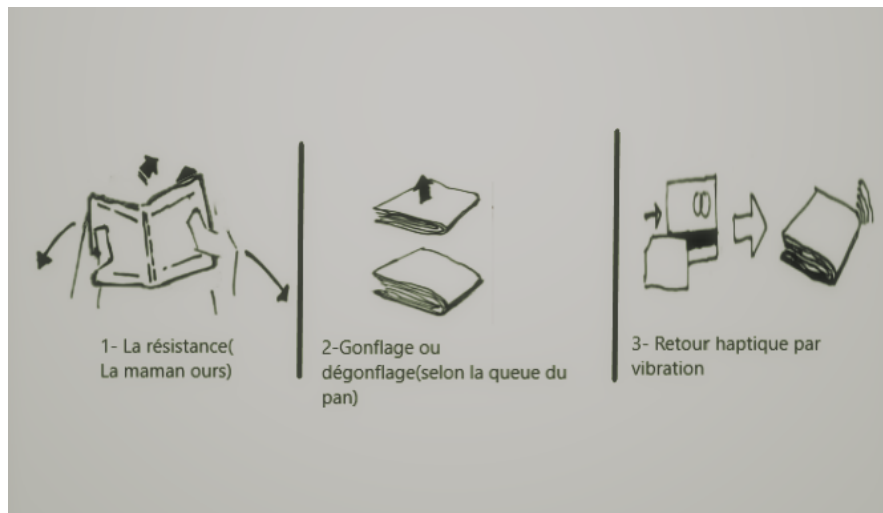


FIGURE 3.4 – Les trois métaphores d'interaction du Proverbial Wallet

## 3.2 Les outils de paiement

### 3.2.1 Conception d'un terminal de paiement tangible

Dans ses travaux de thèse, Campenhout [5] a proposé une approche consistant à réunir la flexibilité du monde numérique et la richesse de l'environnement physique tout en se dirigeant vers un processus de dématérialisation. Dans son approche, il change la vision traditionnelle de l'interaction tangible qui se base sur l'incarnation et la matérialisation des données numériques en artefacts saisissables. Il ne s'est alors pas penché sur l'incarnation des données numériques (l'argent liquide) mais sur ce qui peut être fait avec ces données. Plus concrètement, comment l'utilisateur peut interagir avec elles ? Pour cela, il propose un terminal de paiement composé de deux modules (Figure 3.5). Un premier module (partie de gauche sur la figure 3.5) pour le vendeur et un second pour le client (partie de droite sur la figure 3.5).

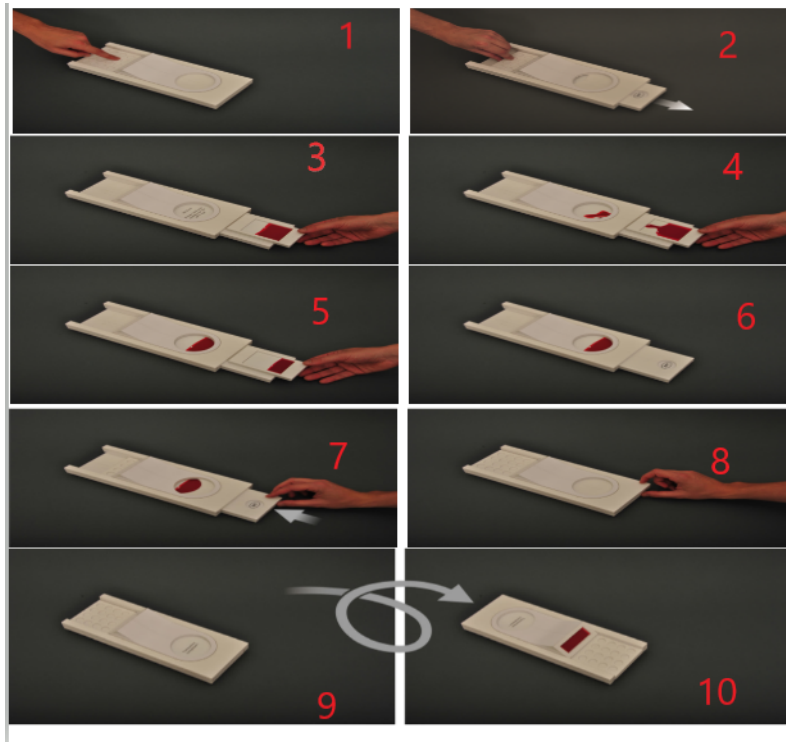


FIGURE 3.5 – Scénario du transfert d'argent du client vers le vendeur

Le module de ce dernier contient un curseur doté d'un support circulaire qui contient les détails de son compte ainsi qu'un afficheur, lui aussi circulaire. Le module du vendeur contient, quant à lui, un clavier numérique et également un afficheur circulaire appelé "voyageur" puisqu'il peut se déplacer du module du vendeur vers le module du client. Le transfert d'argent se fait lorsque le client insère son jeton (moyen de paiement) sur le support circulaire de son module. Un liquide vert s'affiche sur son afficheur pour indiquer le solde de son compte. Le vendeur saisit le montant de l'achat sur le clavier de son module puis déplace le "voyageur" vers le module du client qui affiche le prix de l'article. Pour valider le paiement, le client pousse son curseur (qui contient son jeton) vers le module du vendeur. Le transfert d'argent est alors représenté par le flux de liquide entre les deux modules (client  $\Leftarrow$  vendeur). La figure 3.5 illustre un scénario de transfert d'argent.

Dans ce projet Campenhout exploite la notion de tangibilité pour aborder différemment les affichages multitouch en proposant une nouvelle approche car, selon son point de vue, les nouveaux produits comme les smartphones et les tablettes sont des ordinateurs traditionnels avec une interface qui propagent un style d'interaction standardisé. Cette approche qui consiste à dématérialiser les produits tout en gardant la flexibilité du monde numérique pourrait ouvrir de nouvelles voies de réflexion sur les affichages multitouch et l'interaction. Pour conclure, les résultats de l'étude expérimentale de ce terminal de paiement montre que cet outil permet d'offrir aux utilisateurs le sentiment de gérer mieux leur argent mais également de générer une expérience tangible c'est-à-dire "sentir le flux d'argent". Enfin, ce terminal rend le processus de paiement numérique plus abstrait et le consommateur plus conscient quant à son comportement lors du paiement.

### 3.2.2 Évaluation d'un terminal de paiement à retour haptique

Dans leurs travaux récents, Hengeveld *et al.* [21] ont évalué la capacité des utilisateurs à traduire un retour haptique en une valeur monétaire. Pour cela, ils ont conçu un prototype de terminal de paiement portable qui fournit un retour haptique (Figure 3.6). Les résultats obtenus lors de leurs évaluations montrent qu'en moyenne les participants ont la capacité de deviner les montants réels fixés grâce au retour haptique de l'appareil. Ces travaux sont intéressants car ils montrent que les moyens de paiement dotés d'un

retour haptique fournissant à l'utilisateur une information sur la valeur de paiement, a le même effet que l'argent liquide (physique) d'un point de vue neurologique. La mise en place d'un retour haptique sur un (ou des) futurs prototypes en complément des travaux issus de ce stage serait donc à considérer.



FIGURE 3.6 – Terminal de paiement à retour haptique

# Conclusion

L'évolution des technologies suscite des changements dans de nombreux domaines. Dans le domaine des IHM, les interactions "classiques" (ou WIMP) ont laissé place aux interactions post-WIMP englobant, par exemple, les interfaces tangibles (*Tangible User Interfaces*, *TUI* en anglais). Ces TUI permettent d'intégrer la technologie numérique dans le tissu de l'environnement physique à travers l'utilisation d'objets physiques ce qui permet de proposer des expériences sensorielles nouvelles aux utilisateurs.

Dans le chapitre 1 de ce livrable, nous avons défini et présenté l'évolution des interfaces tangibles, leurs propriétés et leurs catégories. Nous nous sommes également attardé sur leur modélisation puis avons proposé une comparaison visant à mettre en évidence les différences entre les GUI (*Graphical User Interfaces* en anglais) et les TUI.

Dans le chapitre 2, nous avons présenté la notion de dématérialisation de façon générale mais également la définition de cette notion dans domaine bancaire, domaine dans lequel s'intègrent nos travaux de stage. En effet, les consommateurs se dirigent aujourd'hui vers des moyens de paiement plus "pratiques" et le processus de dématérialisation fait partie des nouvelles techniques qui facilitent la vie quotidienne des consommateurs. Cependant, si nous revenons à la présentation de la dématérialisation de l'argent liquide proposée dans le chapitre 2, nous pouvons remarquer que, tant l'argent liquide que l'argent dématérialisé, possèdent ses propres propriétés et ses avantages répondant chacun aux besoins des utilisateurs. Cela a donc amené les chercheurs à penser que la notion de dématérialisation pouvait et devait être abordée différemment, comme par exemple en homogénéisant les propriétés de l'argent liquide et de l'argent dématérialisé au sein d'interfaces tangibles.

Ce concept, nous l'avons présenté dans le chapitre 3 où nous avons présenté différents projets visant à combiner le monde numérique et le monde physique dans le milieu bancaire. Ces recherches visent à rendre la "consis-

tance physique" de l'argent numérique, aujourd'hui dématérialisé, en s'appuyant sur les interfaces et interactions tangibles. Ces nouvelles interactions, autour de l'argent et des services financiers, présentent un intérêt énorme en donnant un sens à l'argent ce qui joue un rôle très important dans notre vie quotidienne.

Les recherches que nous avons présentées dans ce livrable ont globalement permis de mettre en évidence que la détention et la manipulation d'argent physique rendaient les dépenses des consommateurs plus significatives, garantissaient la compréhension de leurs transactions mais aussi les guidaient dans leurs décisions financières. Ces résultats confirment que la notion de tangibilité est importante à prendre en considération et qu'une dématérialisation complète n'est sans doute pas à envisager pour le moment. Un compromis entre une dématérialisation et une physicalisation semble donc à envisager et conforte la proposition initiale du stage visant à dématérialiser l'argent liquide tout en gardant le concept d'objet physique/tangible et plus particulièrement lors d'échanges de petite monnaie.

# Bibliographie

- [1] Michel Beaudouin-Lafon. 1997. Interaction instrumentale : de la manipulation directe à la réalité augmentée. *Actes des neuvièmes journées sur l'Interaction Homme-Machine* (1997), 97–104.
- [2] Scott Brave and Andrew Dahley. 1997. InTouch : A Medium for Haptic Interpersonal Communication. In *CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '97)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 363–364. <https://doi.org/10.1145/1120212.1120435>
- [3] Gaëlle Calvary, Olfa Dâassi, Joëlle Coutaz, and Alexandre Demeure. 2005. Des widgets aux comets pour la Plasticité des Systèmes Interactifs. *Revue d'Interaction Homme Machine, Europia* 6, 1 (2005), 11–21.
- [4] John Campbell and Xharmagne Carandang. 2012. Comparing Graphical and Tangible User Interfaces for a Tower Defense Game. *Association for Information Systems* 1, 9 (2012), 1–9.
- [5] Van Campenhout. 2016. ) *Physical interaction in a dematerialized world*. Ph.D. Dissertation. Eindhoven University of Technology.
- [6] Gary Charness and Uri Gneezy. 2012. Strong evidence for gender differences in risk taking. *Journal of Economic Behavior & Organization* 83, 1 (2012), 50–58.
- [7] Promothesh Chatterjee and Randall L Rose. 2012. Do payment mechanisms change the way consumers perceive products? *Journal of Consumer Research* 38, 6 (2012), 1129–1139.
- [8] Nadine Couture. 2010. *Interaction Tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps*. Ph.D. Dissertation. L'université Bordeaux école doctorale de mathématique et informatique

- [9] Maxime Daniel. 2018. *Afficheurs cylindriques à changement de forme : application à la physicalisation des données et l'interaction périphérique pour la gestion de la demande de l'énergie*. Ph.D. Dissertation. Université Bordeaux.
- [10] Paul Dourish. 2004. *Where the action is : the foundations of embodied interaction*. MIT press, Cambridge, MA, USA.
- [11] John David Ebert. 2011. *The new media invasion : digital technologies and the world they unmake*. McFarland, USA.
- [12] Rebecca Fiebrink, Dan Morris, and Meredith Ringel Morris. 2009. Dynamic mapping of physical controls for tabletop groupware. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 471–480.
- [13] Jean-Marc Figuet. 2015. “Le Bitcoin : Une Monnaie? (2015).
- [14] Kenneth P Fishkin. 2004. A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous computing* 8, 5 (2004), 347–358.
- [15] George W Fitzmaurice and William Buxton. 1997. An empirical evaluation of graspable user interfaces : towards specialized, space-multiplexed input. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 43–50.
- [16] George W Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William AS Buxton. 1995. Bricks : laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '95)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 442–449.
- [17] Brian J Fogg. 2002. Persuasive technology : using computers to change what we think and do. *Ubiquity* 2002, December (2002), 2.
- [18] Pierre Gazé. 2003. Nouveaux moyens de paiement : nouveaux risques? *Les cahiers du numérique* 4, 1 (2003), 93–113.
- [19] Rohit Gupta, Udayan Vidyanta, and Silpa Murali. 2017. Paisa Stick : Tangible Currency Interface for Cashless Transactions. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 60–66.



- [20] Christine R Harris and Michael Jenkins. 2006. Gender differences in risk assessment : why do women take fewer risks than men? *Judgment and Decision Making* 1 (2006), 48–63.
- [21] Bart Hengeveld and Jordy Rooijakkers. 2019. Adding Friction to Frictionless Payments : A Haptic Interface for Digital Transactions. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 243–250.
- [22] Thomas T Hewett, Ronald Baecker, Stuart Card, Tom Carey, Jean Gassen, Marilyn Mantei, Gary Perlman, Gary Strong, and William Verplank. 1992. *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- [23] Eva Hornecker and Jacob Buur. 2006. Getting a grip on tangible interaction : a framework on physical space and social interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems (CHI '06)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 437–446.
- [24] Mark Huber and Gunnar Stevens. 2014. Money and emotions : How to rematerialize household accounting practices. In *Proceedings of the CHI 2014 Conference on Human Factors in Computer Systems*. ACM New York, NY.
- [25] Hiroshi Ishii. 2008a. Tangible bits : beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction (TEI '08)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, xv–xxv.
- [26] Hiroshi Ishii. 2008b. The tangible user interface and its evolution. *Commun. ACM* 51, 6 (2008), 32–36.
- [27] Hiroshi Ishii, Sandia Ren, and Phil Frei. 2001. Pinwheels : visualizing information flow in an architectural space. In *CHI'01 extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '01)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 111–112.
- [28] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. 1997. Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 234–241.

- [29] Sergi Jordà. 2010. The Reactable : Tangible and Tabletop Music Performance. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2989–2994.
- [30] John Kestner, Daniel Leithinger, Jaekyung Jung, and Michelle Petersen. 2009. Proverbial wallet : tangible interface for financial awareness. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 55–56.
- [31] Hyunyoung Kim, Céline Coutrix, and Anne Roudaut. 2018. KnobSlider : Design of a Shape-Changing UI for Parameter Control. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 13.
- [32] Sébastien Kubicki, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, Christian Perrot, and Jean Caelen. 2009. 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 (IHM '09)*, Vol. 21. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 351–354.
- [33] Yong-Jae Lee, Koan Seok Kim, and Ho-Joon Lee. 2017. Demo Abstract : Smart Piggy Bank : In-Home Banking System for Children. In *2017 IEEE/ACM Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI) (IoTDI '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 293–294.
- [34] Frederic S Mishkin and James L Butkiewicz. 2004. *The Economics of Money, Banking, and Financial Markets : Test Bank*. Pearson, New York, NY, USA.
- [35] David Reinstein and Gerhard Riener. 2012. Decomposing desert and tangibility effects in a charitable giving experiment. *Experimental Economics* 15, 1 (2012), 229–240.
- [36] Stéphanie Rey, Célia Picard, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémy Manéré, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture, and Anke Brock. 2019. Build Your Own Hercules : une interface tangible de choix de parcours de visites personnalisées au musée. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible,*

- Embedded, and Embodied Interaction (TEI '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 495–502.
- [37] Orit Shaer, Eva Hornecker, and others. 2010. Tangible user interfaces : past, present, and future directions. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction* 3, 1–2 (2010), 4–137.
  - [38] Avni M Shah, Noah Eisenkraft, James R Bettman, and Tanya L Chartrand. 2016. “Paper or plastic ?” : How we pay influences post-transaction connection. *Journal of Consumer Research* 42, 5 (2016), 688–708.
  - [39] Junyi Shen and Hiromasa Takahashi. 2017. The tangibility effect of paper money and coins in an investment experiment. *Economics and Business Letters* 6, 1 (2017), 1–5.
  - [40] Dilip Soman. 2003. The effect of payment transparency on consumption : Quasi-experiments from the field. *Marketing Letters* 14, 3 (2003), 173–183.
  - [41] Dilip Soman and Vivian MW Lam. 2002. The effects of prior spending on future spending decisions : The role of acquisition liabilities and payments. *Marketing Letters* 13, 4 (2002), 359–372.
  - [42] Juan Carlos Torres and Buenaventura Clares. 1995. Using an Abstract Model for the Formal Specification of Interactive Graphic Systems. In *Interactive Systems : Design, Specification, and Verification*, Fabio Paternó (Ed.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 429–444.
  - [43] Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii. 2000. Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM systems journal* 39, 3.4 (2000), 915–931.
  - [44] Brygg Ullmer, Hiroshi Ishii, and Robert JK Jacob. 2005. Token+ constraint systems for tangible interaction with digital information. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)* 12, 1 (2005), 81–118.
  - [45] Brygg Ullmer, Rajesh Sankaran, Srikanth Jandhyala, Blake Tregre, Cornelius Toole, Karun Kallakuri, Christopher Laan, Matthew Hess, Farid Harhad, Urban Wiggins, and Shining Sun. 2008. Tangible Menus and Interaction Trays : Core Tangibles for Common Physical/Digital Activities. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 209–212.
  - [46] Lukas Van Campenhout, Joep Frens, Kees Overbeeke, Achiel Standaert, and Herbert Peremans. 2013. Physical interaction in a dematerialized

- world. *International journal of design.-Taipei, 2007, currens* 7, 1 (2013), 1–18.
- [47] Lukas Van Campenhout, Achiel Standaert, Joep Frens, Herbert Peremans, and Caroline Hummels. 2014. Interactive demo of an experimental payment terminal. In *8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'14), Munich, Germany, 17-19 February 2014*. Association for Computing Machinery, Inc, United States, 1–6.
- [48] Sotiris Vandoros. 2013. My five pounds are not as good as yours, so I will spend them. *Experimental economics* 16, 4 (2013), 546–559.
- [49] Peter-Paul Verbeek. 2005. *What things do : Philosophical reflections on technology, agency, and design*. Penn State Press, Netherlands.
- [50] John Vines, Mark Blythe, Paul Dunphy, Vasillis Vlachokyriakos, Isaac Teece, Andrew Monk, and Patrick Olivier. 2012. Cheque mates : participatory design of digital payments with eighty somethings. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1189–1198.
- [51] Siyu Wang and Xiangdong Qin. 2015. The effect of digitalization on penalty payments : An experimental investigation. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics* 8, 4 (2015), 250.
- [52] C. Woebken. 2020. A new relationship to digital money. [http://www.woebken.net/future\\_of\\_money.html](http://www.woebken.net/future_of_money.html). (Fevrier 2020).
- [53] Xiao Xiao, Pablo Puentes, Edith Ackermann, and Hiroshi Ishii. 2016. Andantino : Teaching Children Piano with Projected Animated Characters. In *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children (IDC '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 37–45.
- [54] Oren Zuckerman, Saeed Arida, and Mitchel Resnick. 2005. Extending Tangible Interfaces for Education : Digital Montessori-Inspired Manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 859–868.
- [55] Oren Zuckerman and Ayelet Gal-Oz. 2013. To TUI or not to TUI : Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies* 71, 7-8 (2013), 803–820.

## 4.2 Veille technique



---

## Veille technique

Quelles sont les technologies envisageables pour un prototype d'objet tangible visant à supprimer les échanges de petite monnaie ?

---



BOUDJEMILA  
Chahrazed  
boudjemilachahrazed1@gmail.com

*Tuteur* : KUBICKI  
Sébastien  
sebastien.kubicki@enib.fr

24 août 2020

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>1 Les cartes de prototypage rapide : Arduino</b>	<b>4</b>
1.1 Qu'est ce qu'une carte Arduino?	4
1.2 Une carte Arduino : pour quel usage?	5
1.3 Tarif d'une carte Arduino	6
<b>2 Les technologies de communication</b>	<b>7</b>
2.1 La RFID ( <i>Radio Frequency Identification</i> )	7
2.2 La NFC ( <i>Near Field Communication</i> )	9
2.3 Le Bluetooth	10
2.4 Le WIFI ( <i>Wireless Fidelity</i> )	11
2.5 La DMTF ( <i>Dual Tone Multi Frequency</i> )	12
2.6 Les Codes QR ( <i>Quick Response Code</i> )	13
<b>3 Les technologies d'affichage</b>	<b>14</b>
3.1 Le LCD ( <i>Liquid Cristal Display</i> )	14
3.2 La LED ( <i>Light-Emitting Diode</i> )	15
3.3 L'OLED ( <i>Organic Light-Emitting Diode</i> )	16
3.4 Le tube Nixie	17
3.5 Les Afficheurs fluorescents	18
<b>4 Les technologies permettant un retour haptique</b>	<b>19</b>
4.1 Qu'est-ce qu'un retour haptique?	19
4.2 Les formes de retours haptiques	19
4.3 Actionneurs permettant un retour haptique	20
<b>5 Caractéristiques techniques des projets présentés dans notre état de l'art</b>	<b>23</b>
5.1 Paisa Stick	23
5.2 Smart Piggy Bank	24
5.3 Proverbial Wallet	24
5.4 Terminal de paiement tangible	25
5.5 Terminal de paiement à retour haptique	25
<b>6 Recommandations de conception</b>	<b>27</b>

# Table des figures

1.1	Une carte Arduino Uno avec ses connecteurs . . . . .	4
1.2	Principe de fonctionnement d'une carte Arduino . . . . .	5
1.3	Exemple de dispositifs / prototypes intégrant des cartes Arduino . . . . .	5
2.1	Fonctionnement de la technologie RFID . . . . .	7
2.2	Fonctionnement de la technologie NFC . . . . .	9
2.3	Exemples d'appareils utilisant la technologie Bluetooth : a) kit "mains libres" b) le smart connect du Magimix cook) . . . . .	10
2.4	Exemples d'appareils utilisant la technologie WIFI : a) Console SONY PSP b) Imprimante c) Caméra) . . . . .	11
2.5	Exemples d'appareils utilisant la technologie DTMF : a) prototype de pilotage d'un robot b) Système téléphonique. . . . .	12
2.6	Deux types de support des code QR . . . . .	13
3.1	Exemples d'écrans LCD (Liquid Cristal Display) . . . . .	14
3.2	Exemples de dispositifs munis d'écran LED (Light-Emitting Diode) a) panneau d'affichage b) montre . . . . .	15
3.3	Exemples de dispositifs munis d'un écran OLED . . . . .	16
3.4	Horloge utilise des tubes Nixie . . . . .	17
3.5	Four à micro-ondes utilise un afficheur fluorescent . . . . .	18
4.1	L'haptique passive pour des expériences de réalité virtuelle . . . . .	19
4.2	Exemples de dispositifs proposant un retour haptique actif : a) Gant à retour d'effort et b) Phantom Desktop . . . . .	20
4.3	Le bras élastique (Pseudo-haptique) . . . . .	20
4.4	Exemples de dispositifs proposant un retour haptique . . . . .	21



# Introduction

Dans l'objectif futur (suite de projet Crédit Mutuel ARKEA envisagée) de concevoir un objet visant à supprimer les échanges de petite monnaie, nous proposons dans cette note de veille de présenter (de manière non exhaustive) les différentes technologies qui pourraient être exploitées sur un prototype.

En effet, les technologiques ne cessant d'évoluer, il nous semble intéressant de faire un rapide "tour d'horizon" des technologies actuelles. Chacune des technologies présentées dans ce document vise à faciliter les interactions ou les moyens d'interagir avec le dispositif, quel qu'il soit. D'un autre côté, ces technologies peuvent également permettre une diminution de la consommation d'énergie ou faciliter la transmission des données.

Ce document technique est décomposé de la façon suivante.

Dans un premier temps, nous nous attarderons sur la présentation des cartes Arduino, aujourd'hui devenues l'élément de base de tout prototype électronique. Dans un second temps, nous présenterons les technologies de communication (importantes de notre point de vue si le futur prototype s'intègre dans "l'Internet des Objets", IoT). Dans un troisième temps, nous nous attarderons sur les technologies d'affichage (importantes si un retour (feedback visuel) utilisateur est envisagé sur le futur prototype). Nous poursuivons avec une présentation des technologies de "retour haptique" (nous avons vu dans notre document *"Vers une dématérialisation de l'argent liquide : Un état de l'art sur les interfaces Tangibles et la Dématérialisation"* que ce type de retour sensoriel sur un dispositif pouvait avoir de réels impacts positifs).

Ensuite, nous reviendrons sur les projets présentés dans notre état de l'art. Nous essayerons, pour chacun d'eux, de lister les technologies employées. Notons cependant qu'il est souvent difficile d'indiquer les types de technologies utilisés dans des projets de recherche puisque peu d'informations sont mentionnées dans les articles scientifiques. Toutefois, en nous basant sur quelques critères simples comme les technologies de communication, d'affichage, le retour haptique, etc. présentés dans cette veille, nous essaierons d'établir les caractéristiques techniques de ces divers prototypes.

Pour terminer, nous viserons à proposer un ensemble de recommandations en vue d'un "prototype idéal".

# 1. Les cartes de prototypage rapide : Arduino

## 1.1 Qu'est ce qu'une carte Arduino ?

Les cartes Arduino (Arduino UNO, Arduino Mega, Arduino Due, Arduino Leonardo, Arduino Nano, etc.) sont un ensemble de carte électroniques (Open Source) programmables dotées d'un processeur et de mémoire. Elles permettent de "rendre intelligent" des systèmes électroniques. Ces cartes de petites tailles (5,33 x 6,85 cm) peuvent être complétées de capteurs, d'afficheurs, de moteurs ou d'écrans. Le micro-contrôleur présent sur ces cartes permet, à partir d'événements détectés par les capteurs, de programmer et de commander des actionneurs. Il existe plusieurs modèles de cartes Arduino (17 en tout) mais le modèle le plus utilisé est le modèle appelé "Uno" (voir figure 1.1).

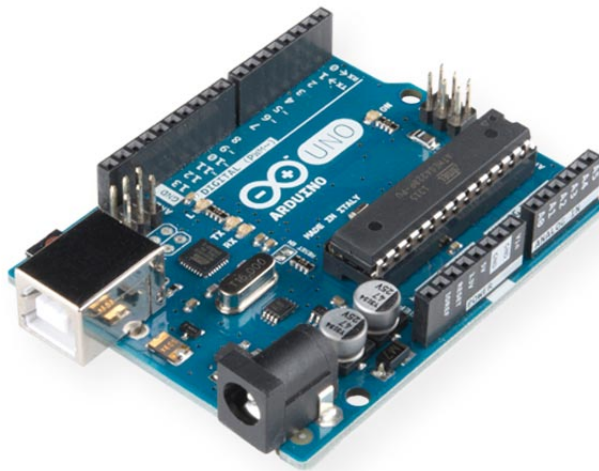


FIGURE 1.1 – Une carte Arduino Uno avec ses connecteurs

## 1.2 Une carte Arduino : pour quel usage ?

Les cartes Arduino sont utilisées pour nombreuses applications : détecter des événements (variation de température, mouvements, présence, distance). Ces événements permettent d'agir sur le monde réel avec des actionneurs (ex. lampe, afficheur, écran, moteur)(voir figure 1.2).

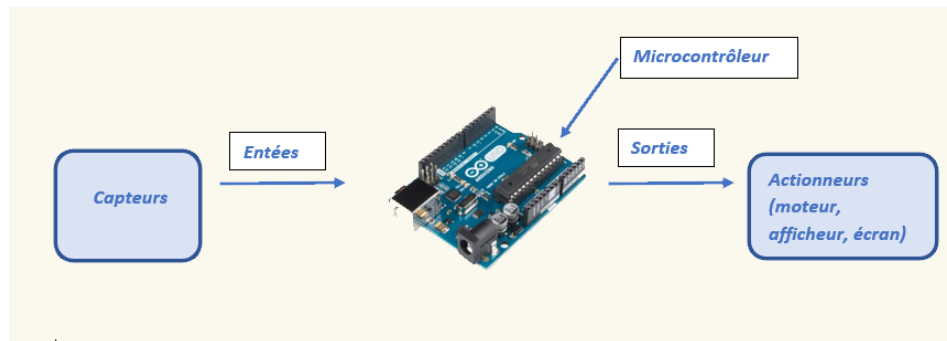


FIGURE 1.2 – Principe de fonctionnement d'une carte Arduino

A l'aide de ces cartes, de nombreux systèmes et prototypes peuvent être réalisés à très bas coûts comme par exemple des systèmes d'alarmes, des robots, des drones, etc. (voir figure 1.3).

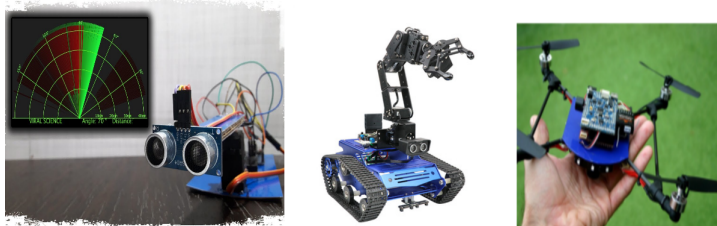


FIGURE 1.3 – Exemple de dispositifs / prototypes intégrant des cartes Arduino

Le tableau 1.1 résume les avantages et les inconvénients de la carte Arduino.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Compatible avec de nombreux éléments (GPS, capteurs divers) et système de communication (Bluetooth et Wifi...)</li><li>- Open Source</li><li>- Simplicité d'utilisation et la communauté et le prix pas cher.</li><li>- Communauté</li><li>- Prix peu élevé</li><li>- Aucune limite et le multiplateforme.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- il faut apprendre à assembler soi-même les composants.</li></ul>

TABLE 1.1 – Avantages et inconvénients de la carte Arduino

### 1.3 Tarif d'une carte Arduino

Le prix d'une carte Arduino dépend de son modèle mais en général son prix varie entre 20€ et 70€. Voir la [boutique officielle](#) (consulté le 02/07/2020).

## 2. Les technologies de communication

### 2.1 La RFID (*Radio Frequency Identification*)

La technologie RFID permet de sauvegarder et de récupérer des données à distance sur des radios-étiquettes.

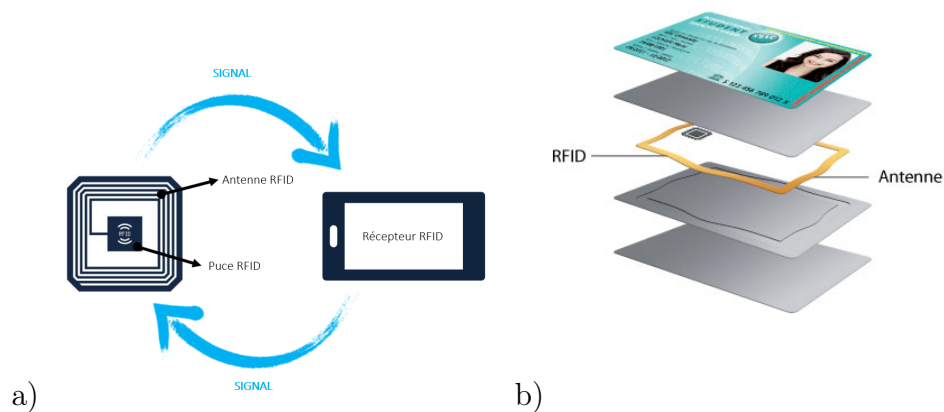


FIGURE 2.1 – Fonctionnement de la technologie RFID

Pour cela il est nécessaire de disposer de marqueurs (étiquettes ou tags RFID), d'un lecteur RFID ou d'une antenne. Cette technologie repose sur le transfert d'énergie par électromagnétisme entre l'étiquette et l'émetteur RFID. Elle est utilisée dans plusieurs produits comme les cartes de transport, certaines cartes de crédit ou plus communément les forfaits de ski ou les étiquettes antivols des magasins (ex. Décathlon). Lors d'une communication, l'étiquette RFID est interrogée par le lecteur, qui transmet un signal à l'étiquette grâce à l'antenne. L'étiquette renvoie alors les informations demandées (voir figure 2.1).

Le tableau 2.1 résume les avantages et les inconvénients de la technologie RFID.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transfert de données sans contact (gain de temps).</li> <li>- Possibilité d’opter pour une grande distance de lecture/écriture (en fonction du matériel choisi).</li> <li>- Taux de transfert rapide (en fonction du matériel choisi).</li> <li>- Accès en lecture/écriture possible au travers de certains matériaux (comme le bois, le carton, le verre).</li> <li>- Lecture simultanée possible de plusieurs puces RFID.</li> <li>- Usure réduite / particulièrement solide selon le support.</li> <li>- Possibilités de cryptage.</li> <li>- Réinscriptible sur certains modèles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encore très peu normalisé (surtout sur le plan international).</li> <li>- Perturbation du transfert radio par les liquides et les métaux (en fonction de la fréquence utilisée)</li> <li>- Transparence et protection des données.</li> <li>- À la différence des codes-barres (lecture par caméra), les tags RFID ne peuvent être lus qu’au moyen d’un appareil (lecteur) spécifique.</li> </ul>

TABLE 2.1 – Avantages et inconvénients de la technologie RFID

**Matériel pouvant être envisagé en vue d’un prototype :**

- Module sans fil RFID RC5225, tarif : 7.99€ [disponible sur Amazon.fr](#) (consulté le 02/07/2020)
- Carte mikroBus CR95HF, tarif : 24,78€, référence : MIKROE-1434 [disponible sur rs.com](#) (consulté le 02/07/2020)

## 2.2 La NFC (*Near Field Communication*)

La NFC est une technologie qui permet l'échange de données par le biais d'une puce et n'importe quel terminal mobile compatible ou entre les terminaux eux-mêmes pouvant servir de lecteur. La NFC se base sur les mêmes principes que la technologie RFID (voir figure 2.2).

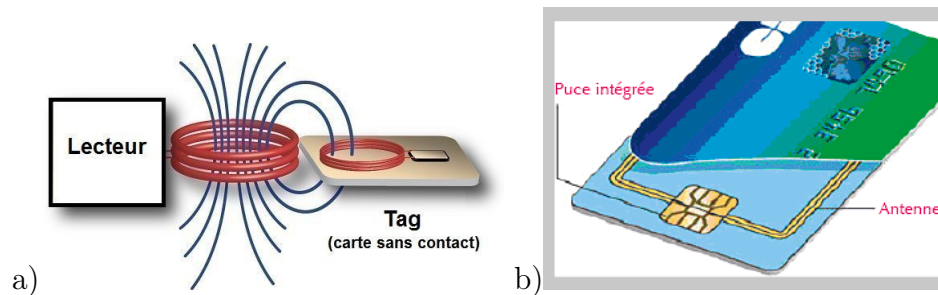


FIGURE 2.2 – Fonctionnement de la technologie NFC

Le tableau 2.2 résume les avantages et les inconvénients de la technologie NFC.

Avantages	Inconvénients
- La durée d'initialisation petite - Fréquence - Rapide et très pratique	- Débit très faible. - Sécurité

TABLE 2.2 – Avantages et inconvénients de la technologie NFC

### Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :

- Carte mikroBus (NT3H1101), référence : MIKROE-2462, tarif : 12.32€ [disponible sur rs.com](#) (consulté le 02/07/2020).
- Carte mikroBus (PN7120 IC), référence : MIKROE-2395, tarif : 34.92€ [disponible sur rs.com](#) (consulté le 02/07/2020).
- Carte NFC PN532, référence : KTS053, tarif : 29.90€ [disponible sur kubii.fr](#) (consulté le 02/07/2020).

## 2.3 Le Bluetooth

Le Bluetooth est une norme de transmission sans fil des informations bidirectionnelles entre appareils électroniques à très courte distance. Cette technologie utilise des ondes radio UHF sur une bande de fréquences de 2,4 GHz. De nombreux appareils disposent de ce moyen de communication car il représente un gain de temps considérable lorsque l'on souhaite connecter rapidement deux appareils sans internet (voir figure 2.3).

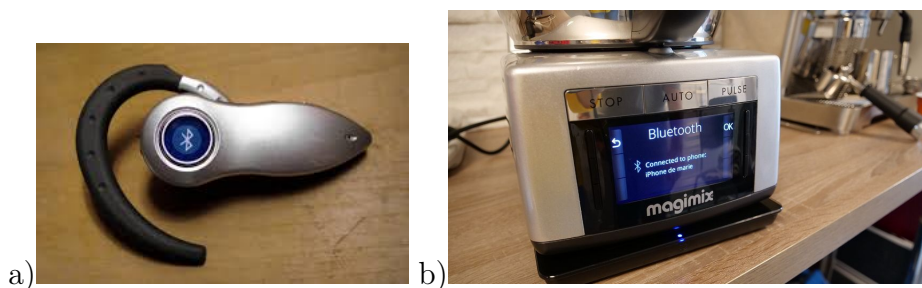


FIGURE 2.3 – Exemples d'appareils utilisant la technologie Bluetooth : a) kit "mains libres" b) le smart connect du Magimix cook)

Le tableau 2.3 résume les avantages et les inconvénients du Bluetooth.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Bluetooth est automatique et évolutif.</li><li>- Faibles coûts de mise en place</li><li>- Petite taille de la puce</li><li>- Franchissement d'obstacles.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Incompatibilité entre deux versions Bluetooth.</li><li>- Débit limité</li><li>- Débit souvent faible</li><li>- Bandes de fréquences pas homogènes entre tous les pays du monde</li></ul>

TABLE 2.3 – Avantages et inconvénients de la technologie Bluetooth

### Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :

- module HC-06, référence : EU-036, tarif : 13.99€ [disponible sur Amazon.fr](#) (consulté le 02/07/2020)
- module Bobury HC-05 RS232, référence : amzbobury1528, tarif : 4.97€ [disponible sur Amazon.fr](#) (consulté le 02/07/2020)



## 2.4 Le WIFI (*Wireless Fidelity*)

Le WIFI est une technologie de transmission à haut débit et sans fil (réseau local) qui utilise les ondes radio (radioélectriques) pour relier entre eux plusieurs appareils informatiques. Avec le WIFI, les utilisateurs peuvent profiter d'internet sur plusieurs appareils (ordinateur, tablette, mobile, console de jeux, imprimante, voir figure 2.4). Remarquons que le WIFI permet également de connecter facilement les objets entre-eux.



FIGURE 2.4 – Exemples d'appareils utilisant la technologie WIFI : a) Console SONY PSP b) Imprimante c) Caméra)

Le tableau 2.5 résume les avantages et les inconvénients du WIFI.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Mobilité</li><li>- Facilité d'utilisation</li><li>- Faibles coûts de mise en place</li><li>- Évolutif</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Qualité et continuité du signal</li><li>- Sécurité (selon configuration)</li></ul>

TABLE 2.4 – Avantages et inconvénients de la technologie WIFI

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- Carte Arduino intégrant WIFI tarif : 38.90€ [disponible sur store.arduino.cc](https://store.arduino.cc) (consulté le 02/07/2020)

## 2.5 La DTMF (*Dual Tone Multi Frequency*)

La DTMF est une combinaison de huit fréquences réparties en deux groupes dits haut et bas utilisées pour la téléphonie fixe. Ces codes à deux fréquences sont émis lors de l'appui sur une touche d'un téléphone, par exemple.

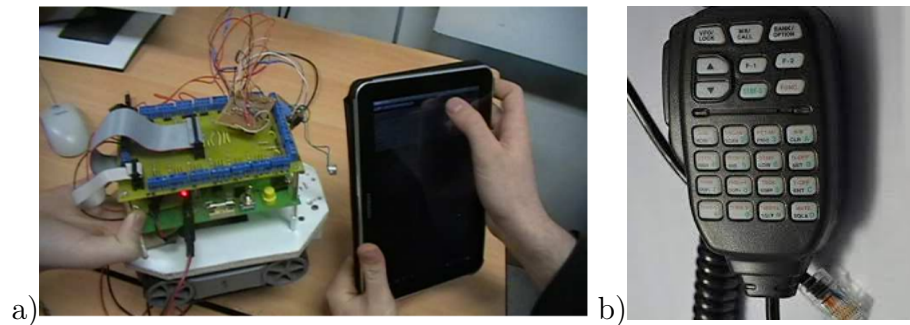


FIGURE 2.5 – Exemples d'appareils utilisant la technologie DTMF : a) prototype de pilotage d'un robot b) Système téléphonique.

Le tableau 2.5 résume les avantages et les inconvénients de la technologie DTMF.

Avantages	Inconvénients
- Pas besoin d'internet	- Technologie vieillissante - Nécessite un lien/communication téléphonique

TABLE 2.5 – Avantages et inconvénients de la technologie DTMF

### Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :

- Arduino UNO + Résistances + Condensateurs : [Tutoriel](#)
- Clavier Dtmf, référence : 190831KPL028, tarif : 14.18€ [disponible sur Amazon.fr](#) (consulté le 02/07/2020)
- Module décodeur MT8870 DTMF, tarif : 1.53€ [disponible sur aliexpress.com](#) (consulté le 02/07/2020)

## 2.6 Les Codes QR (*Quick Response Code*)

Les Codes QR sont des codes-barres à deux dimensions (code matriciel) qui a été créé par Masahiro Hara en 1994 dans le but de suivre le chemin des pièces détachées dans les usines de Toyota. Il se constitue à l'origine de modules noirs. La disposition de ces modules ou points permet d'encoder des données.

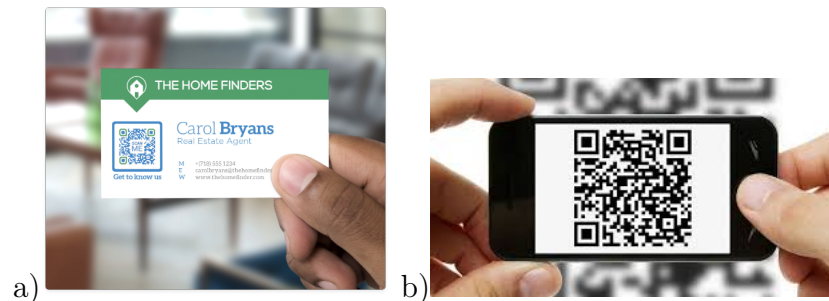


FIGURE 2.6 – Deux types de support des code QR

Le tableau 2.6 résume les avantages et les inconvénients des codes-barres.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Peut se positionner sur tous les supports</li><li>- Coût très faible</li><li>- Possibilité de personnaliser l'URL pour tracker la connexion des contacts</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nécessite une application pour lire le code QR</li><li>- Son utilisation est limité aux téléphones et tablettes</li><li>- L'outil d'encodage des données est un peu vieillissant</li></ul>

TABLE 2.6 – Avantages et inconvénients des codes QR

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- Lecture de QR codes via caméra compatible Arduino :
  - Caméra ESP32CAM, tarif : 1.49€. [disponible sur AliExpress.com](https://www.aliexpress.com) (consulté le 02/07/2020)

# 3. Les technologies d'affichage

## 3.1 Le LCD (*Liquid Cristal Display*)

La technologie LCD signifie en français "affichage à cristaux liquides", cet outil d'affichage exploite les propriétés électro-optiques dans les cristaux liquides (voir figure 3.1).

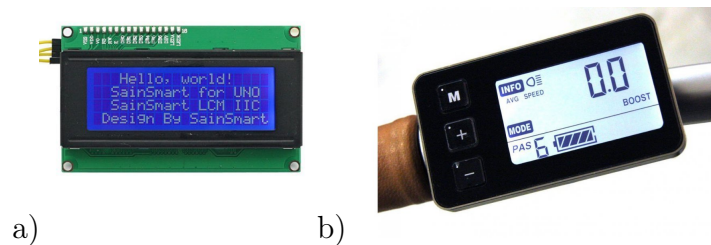


FIGURE 3.1 – Exemples d'écrans LCD (Liquid Cristal Display)

Le tableau 3.1 résume les avantages et les inconvénients de la technologie LCD.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Grande luminosité</li><li>- Faibles Coûts</li><li>- Léger</li><li>- Faible consommation d'énergie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Parfois encombrants</li><li>- L'affichage du noir tend vers le gris</li><li>- Restitution d'une lumière diffuse</li><li>- Facilement manipulable</li></ul>

TABLE 3.1 – Avantages et inconvénients de la technologie LCD

### Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :

- AptoFun IIC/I2C/TWI Serial LCD, référence :RG2004A, le prix : 14.09€  
disponible sur [Amazon.fr](https://www.amazon.fr) (consulté le 02/07/2020)

## 3.2 La LED (*Light-Emitting Diode*)

La LED est un dispositif opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Aujourd'hui, il existe de nombreux écrans composés de LED (voir figure 3.2).

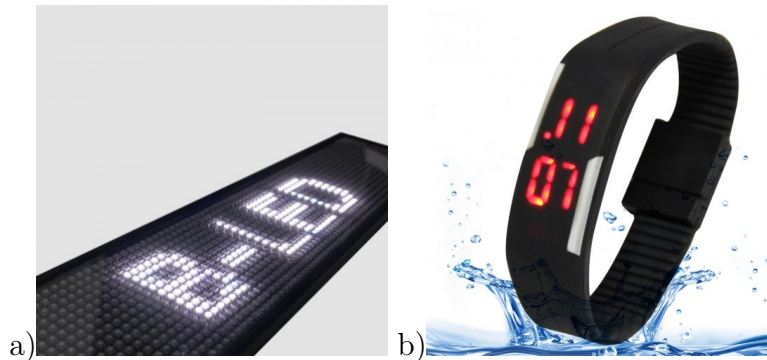


FIGURE 3.2 – Exemples de dispositifs munis d'écran LED (Light-Emitting Diode) a) panneau d'affichage b) montre

Le tableau 3.2 résume les avantages et les inconvénients de la technologie LED.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Excellente résistance mécanique (chocs, écrasement, vibrations)</li><li>- Faible consommation</li><li>- Petite taille</li><li>- Fonctionnement en très basse tension</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Selon la taille de l'écran : le cout élevé</li></ul>

TABLE 3.2 – Avantages et inconvénients de la technologie LED

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- Module MAX7219, référence : Magideal, le prix :3.73€ [disponible sur Aliexpress.com](https://www.aliexpress.com) (consulté le 02/07/2020)

### 3.3 L'OLED (*Organic Light-Emitting Diode*)

L'OLED est un composant électronique qui produit de la lumière. Un écran OLED se constitue de plusieurs couches fines contenant des matériaux organiques. Cette technique n'a pas besoin d'un dispositif de rétro-éclairage supplémentaire puisque chaque pixel se transforme en une source de lumière (voir figure 3.3).



FIGURE 3.3 – Exemples de dispositifs munis d'un écran OLED

Le tableau 3.3 résume les avantages et les inconvénients de la technologie OLED.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Contraste très élevé</li><li>- Écrans fins et légers</li><li>- Faible consommation énergétique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sensible au marquage</li><li>- Durée de vie</li></ul>

TABLE 3.3 – Avantages et inconvénients de la technologie OLED

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- SSD1306, le prix : 9.99€ [disponible sur amazon.fr](https://www.amazon.fr) (consulté le 02/07/2020)

### 3.4 Le tube Nixie

Le tube Nixie est un composant électronique utilisé principalement pour l’affichage des chiffres. (voir figure 3.4).



FIGURE 3.4 – Horloge utilise des tubes Nixie

Le tableau 3.4 résume les avantages et les inconvénients des tubes Nixie.

Avantages	Inconvénients
- Faible consommation	- Moins simple que les afficheurs fluorescents
- Durée de vie	-La présence de la structure cathodique complexe diminue la résolution
- Les tubes Nixie offrent une lumière facile à lire.	- Moins lumineux

TABLE 3.4 – Avantages et inconvénients d’un tube Nixie

**Matériel pouvant être envisagé en vue d’un prototype :**

- Tube Nixie IN-14 NCS314, le prix de la puce : 69.65€ [disponible sur ebay.com](https://www.ebay.com) (consulté le 02/07/2020)

### 3.5 Les Afficheurs fluorescents

Les afficheurs fluorescents sont des dispositifs d'affichage utilisés dans plusieurs appareils électroniques tels que les fours à micro-ondes et les auto-radios. Cette technique est liée à la fois au tube cathodique et au tube Nixie. Leur fonctionnement est multiplexé : il y'a des grilles et des segments (voir figure 3.5).



FIGURE 3.5 – Four à micro-ondes utilise un afficheur fluorescent

Le tableau 3.5 résume les avantages et les inconvénients des afficheurs fluorescents.

Avantages	Inconvénients
- Faible consommation	- Encombrants et restituent une lumière diffuse
- Durée de vie	- La durée de vie dépend du nombre d'allumage
- Luminosité	- Nécessite une armature spécifique avec starter et ballas

TABLE 3.5 – Avantages et inconvénients d'un afficheur fluorescent

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- tubes VFD , tarif : 27.29€ [disponible sur aliexpress.com](https://www.aliexpress.com) (consulté le 02/07/2020)



## 4. Les technologies permettant un retour haptique

### 4.1 Qu'est-ce qu'un retour haptique ?

D'après la définition du Larousse<sup>1</sup> le retour haptique est l'étude scientifique du toucher. Au sens physiologique, le terme haptique est utilisé pour parler de deux catégories d'informations sensorielles : 1) le retour kinesthésique qui contient des informations sur le mouvement et la position des membres, et 2) les informations tactiles (une vibration associée aux réponses des mécanorécepteurs de la peau).

### 4.2 Les formes de retours haptiques

Dans la littérature scientifique, il existe 3 types de retours haptiques :

1. **Le retour passif** qui est un ensemble de techniques permettant de fournir un retour haptique en utilisant les propriétés physiques inhérentes d'objets réels. L'objet manipulé dans le monde virtuel est le même que celui manipulé en réalité **haptique passif** (voir la figure 4.1)

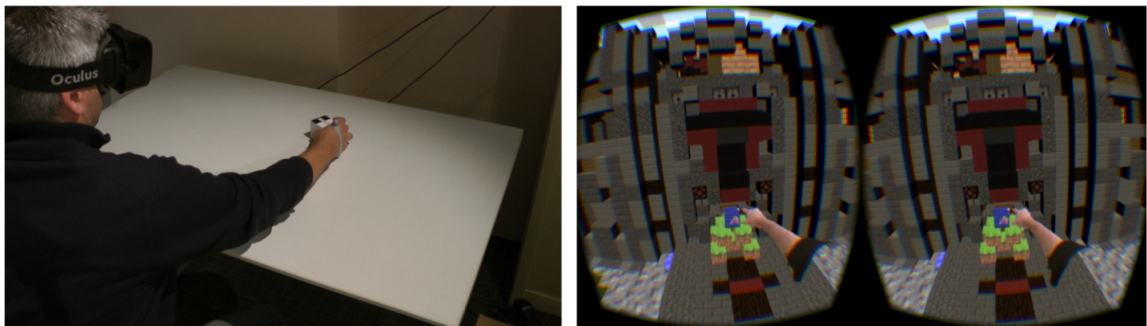


FIGURE 4.1 – L'haptique passive pour des expériences de réalité virtuelle

2. **Le retour actif**, désigne les dispositifs contrôlés par un programme. Dans ce cas, la technique va s'opposer à un mouvement sans en créer

---

1. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/haptique/39040/>

elle-même en renvoyant à l'utilisateur des informations par le biais du périphérique (simulation par un ordinateur) comme les gants à retour d'effort<sup>2</sup> ou le Phantom Desktop<sup>3</sup> (voir la figure 4.2)

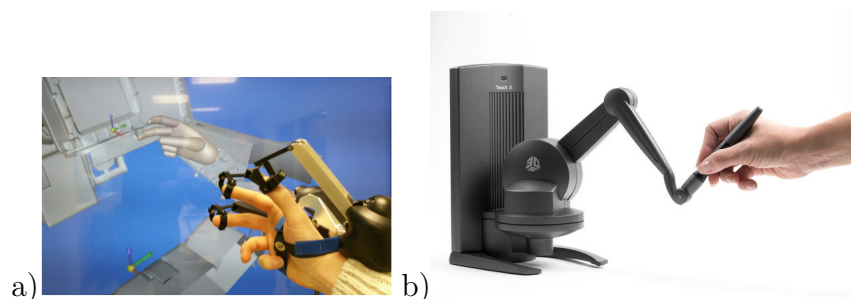


FIGURE 4.2 – Exemples de dispositifs proposant un retour haptique actif : a) Gant à retour d'effort et b) Phantom Desktop

3. **Le pseudo-haptique.** Cette approche utilise les propriétés de la perception humaine pour simuler des sensations haptiques. Ce type de retour nous le retrouvons par exemple dans : le bras élastique (Elastic-Arm) (voir la figure 4.3)

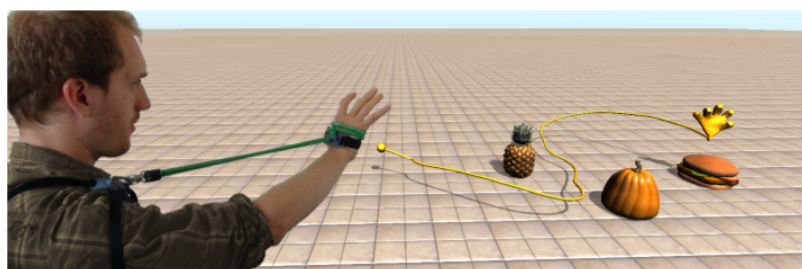


FIGURE 4.3 – Le bras élastique (Pseudo-haptique)

## 4.3 Actionneurs permettant un retour haptique

Il existe plusieurs actionneurs pouvant être utilisés pour réaliser un retour haptique (lire [Thèse](#) de Gaston M'BOUNGUI pour plus d'informations). Les

---

2. <https://www.dextarobotics.com/en-us/#product/>

3. <https://fr.3dsystems.com/haptics-devices/touch-x>

plus utilisés sont les moteurs à courant continu car ils sont faciles à commander. Parmi les systèmes qui utilisent ce type de moteur, nous pouvons citer SPIDAR (voir la figure 4.4 a). D'un autre côté, il y a les moteurs piézo-électriques utilisé par exemple sur l'Optacon (voir la figure 4.4 b).

Nous pouvons citer aussi les dispositifs qui utilisent les technologies hydrauliques ou pneumatiques, comme par exemple les gants Rutgers (voir la figure 4.4 c) ou électromagnétiques comme le dispositif Vital destiné à transmettre une information par le toucher (voir la figure 4.4 d). Pour les interfaces à retour tactile les techniques piézo-électriques sont souvent les plus utilisées pour faire vibrer une matrice d'aiguilles à différentes fréquences.

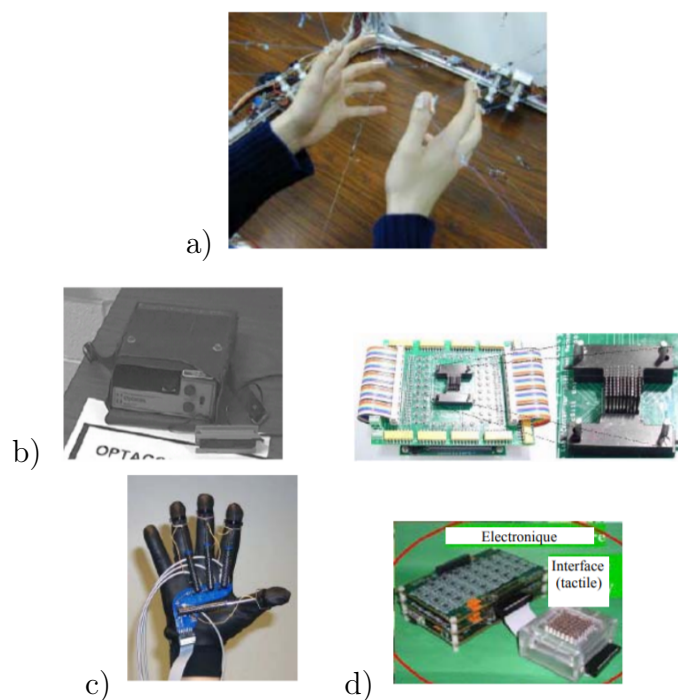


FIGURE 4.4 – Exemples de dispositifs proposant un retour haptique

Le tableau 4.1 résume les avantages et les inconvénients du retour haptique.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de ressentir la rigidité de l'objet.</li> <li>- Permet de reproduire des mouvements directement dans le monde virtuel.</li> <li>- Simplicité et efficacité d'utilisation</li> <li>- Enrichissement de l'interaction homme-machine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts très élevés</li> <li>- Limite le contrôle individuel.</li> </ul>

TABLE 4.1 – Avantages et inconvénients de la technologie WIFI

**Matériel pouvant être envisagé en vue d'un prototype :**

- Capteur de vibrations piézoélectrique, référence : 3322561308812, tarif : 4.45€, [disponible sur shop.compozan.com](http://shop.compozan.com) (consulté le 03/07/2020)
- Module de moteur de vibration PWM, référence :191027LIB186, tarif : 1.30€, [disponible sur amazon.fr](http://amazon.fr) (consulté le 03/07/2020)
- Force sensing resistor 02AH9089, référence : FSR06BE, tarif : 8.40€, [disponible sur farnell.com](http://farnell.com) (consulté le 03/07/2020)

# 5. Caractéristiques techniques des projets présentés dans notre état de l'art

Afin de proposer un ensemble de recommandations techniques dans le but de concevoir un prototype d'objet, nous proposons dans cette partie de revenir sur les différents projets (mêlant dématérialisation de la monnaie et interface tangible) présentés dans notre état de l'art. Pour chaque projet, nous avons listé les caractéristiques techniques (telles que mentionnées dans les articles scientifiques). L'objectif ici n'est pas d'obtenir une liste exhaustive des caractéristiques techniques utilisées pour chaque projet mais simplement de mettre en évidence ces dernières.

## 5.1 Paisa Stick

### **Ordinateur / processeur embarqué**

- Arduino Nano

### **Technologie de communication**

- DTMF crypté + serveur vocal interactif (SVI)
- Le SVI reconnaît ces tonalités DTMF et accepte le paiement
- QR Code

### **Technologie d'affichage**

- Ecran OLED

### **Retour Haptique**

- Oui (Paisa reçoit un accusé de réception)
- Comment : pas de mention claire.

### **Taille & Forme**

- 4cm x 10cm x 0,6cm
- Ressemble à un téléphone portable

### **Sécurisation des données**

- Le vendeur appelle un numéro (gratuit) qui sert d'identification unique

## 5.2 Smart Piggy Bank

### Ordinateur / processeur embarqué

- Carte de développement type Arduino mais non précisé

### Technologie de communication

- Bluetooth

### Technologie d'affichage

- Aucune

### Retour Haptique

- Oui
- Comment : pas de mention claire

### Taille & Forme

- Tirelire de taille moyenne
- Forme classique du "cochon-tirelire"

### Sécurisation des données

- Authentification sur l'application mobile des parents.

## 5.3 Proverbial Wallet

### Ordinateur / processeur embarqué

- Non communiqué

### Technologie de communication

- WIFI

### Technologie d'affichage

- Aucune

### Retour Haptique

- Oui
- Comment : Non communiqué

### Taille & Forme

- Taille d'un portefeuille

### Sécurisation des données

- Non communiqué

## 5.4 Terminal de paiement tangible

### Ordinateur / processeur embarqué

- Non communiqué

### Technologie de communication

- NFC

### Technologie d'affichage

- Écran LED

### Retour Haptique

- Oui
- Comment : Non communiqué

### Taille & Forme

- Non communiqué

### Sécurisation des données

- Non communiqué

## 5.5 Terminal de paiement à retour haptique

### Ordinateur / processeur embarqué

- Arduino Pro Mini

### Technologie de communication

- Non communiqué

### Technologie d'affichage

- Pas d'affichage.

### Retour Haptique

- Oui
- Comment :
  - Un potentiomètre motorisé ALPS
  - Utilisation de PWM de l'arduino <sup>1</sup>

---

1. Le MLI (Modulation de Largeur d'Impulsions) ou *Pulse Width Modulation* (PWM) en anglais, est utilisé dans le principe de construire un signal alternativement LOW et HIGH et de répéter très vite cette alternance.

**Taille & Forme**

- Non communiqué

**Sécurisation des données**

- Non communiqué



# 6. Recommandations de conception

## Ordinateur / processeur embarqué

- Une carte Arduino UNO :
  - Elle contient des caractéristiques techniques suffisantes pour construire un prototype. De plus, Il est possible de lui ajouter plusieurs modules.ou
- Une carte Arduino DiamondBack :
  - Permet l'utilisation du WIFI sans avoir à acheter une carte arduino + shield wifi.

## Technologie de communication

- NFC ou RFID :
  - Intégration facile dans le produit
  - Lecture sans obstacle
  - Facilité d'utilisation
  - Possibilité d'ajouter des protocoles d'authentification avec la cryptographie( HMAC, lightwhite )
  - Faible consommation d'énergie
- Bluetooth :
  - Transmission des données sans internet

## Technologie d'affichage

- Ecran OLED :
  - fin
  - léger
  - consommation d'énergie faible
  - Prixou
- Ecran LED
  - consommation d'énergie faible
  - Prix

### **Retour Haptique**

- Utilisation d'un retour haptique passif - Peut donner un sentiment satisfaisant de manipulation et de présence aux utilisateurs

### **Taille & Forme**

- Favoriser les petits objets (similitude avec la petite monnaie)
- Faire attention au poids de l'objet

### **Sécurisation des données**

- Se poser la question de la sécurisation des données (authentification)
- Dans le cas d'utilisation de RFID, tout contenu de données sensible peut être protégé par un mot de passe.

### 4.3 Questionnaire d'enquête et "fiches ateliers"



---

**Questionnaire d'enquête et "fiches ateliers"**  
Quels sont les besoins et les habitudes des utilisateurs ?  
Quelle organisation pour un prototype futur ?

---



BOUDJEMILA  
Chahrazed  
boudjemilachahrazed1@gmail.com

*Tuteur* : KUBICKI  
Sébastien  
sebastien.kubicki@enib.fr

24 août 2020

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Questionnaire d'enquête</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction . . . . .	2
1.2	Questionnaire . . . . .	2
1.2.1	Caractéristiques démographiques . . . . .	2
1.2.2	Moyens de paiement utilisés en fonction du montant . . . . .	3
1.2.3	Habitudes face aux achats de faibles montants / utilisation de l'argent liquide . . . . .	5
1.2.4	Les paiements et les objets . . . . .	5
1.2.5	Recueil d'information en vue d'un prototype . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Proposition de "fiches atelier" de réflexion et de conception</b>	<b>8</b>
2.1	Atelier 1 : Présentation du projet et de ses objectifs. Définition des besoins utilisateur. . . . .	8
2.2	Atelier 2 : Fonctionnalités du prototype . . . . .	10
2.3	Atelier 3 : Prototypage "basse fidélité" . . . . .	12
2.4	Atelier 4 : Choix techniques . . . . .	14

# 1. Questionnaire d'enquête

## 1.1 Introduction

Afin de recueillir les besoins et les habitudes des utilisateurs (pouvant être de différents profils) quant à l'utilisation d'un prototype visant à dématérialiser la petite monnaie, nous proposons de construire une enquête par questionnaire. Ce questionnaire pourra être retravaillé avec les membres d'Arkea en atelier (voir section 2). Toutefois, avec ce questionnaire, nous visons aujourd'hui à répondre aux questions suivantes :

- Les caractéristiques démographiques sont-elles des facteurs de différences dans les habitudes de paiement lors de petits montants ?
- Aujourd'hui, quels sont les principaux moyens de paiement utilisés par les consommateurs lors de petits montants ? Quelles sont les habitudes de paiement ?
- L'argent liquide est-il toujours utilisé par les consommateurs ? Pour quels montants maximum ?
- Le numérique change t'il le comportement des consommateurs lors d'achats de faible montant ?
- Les consommateurs seraient-ils favorables au remplacement de la petite monnaie par un objet ?
- Du point de vue du consommateur, quel serait l'objet le plus adapté pour remplacer la petite monnaie ?

## 1.2 Questionnaire

### 1.2.1 Caractéristiques démographiques

Afin d'avoir une analyse plus profonde sur les réponses des utilisateurs. Nous avons décidé de partitionner les participants selon les critères suivants : sexe, âge, situation familiale, statut d'activité, niveau de formation et secteur d'activité.

1. Quel est votre sexe ?
  - Homme
  - Femme

2. Quelle est votre année de naissance ?
  - liste déroulante ou champ texte forcé à 4 chiffres (ex. 1983)
3. Quelle est votre situation familiale ?
  - En couple avec enfants
  - En couple sans enfant
  - Seul(e) avec enfants
  - Seul(e) sans enfant
4. Quelle est votre statut d'activité ?
  - Actif
  - Au chômage
  - En formation
  - A la retraite
5. Quel est votre niveau de formation ?
  - Réponse libre
6. Quelle est votre secteur d'activité ?
  - Réponse libre

### **1.2.2 Moyens de paiement utilisés en fonction du montant**

7. D'une manière générale, sans considération de montant, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
  - Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide
  - Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)
8. Lors d'un achat inférieur à 10€, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
  - Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide

- Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)
9. Lors d'un achat compris entre 10 et 30€, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
- Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide
  - Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)
10. Lors d'un achat compris entre 30 et 50€, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
- Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide
  - Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)
11. Lors d'un achat compris entre 50 et 100€, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
- Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide
  - Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)
12. Lors d'un achat compris supérieur à 100€, quel est le moyen de paiement que vous préférez utiliser ?
- Carte bancaire
  - Sans contact
  - Argent liquide
  - Chèque
  - Paiement en ligne
  - Autres (précisez)



### **1.2.3 Habitudes face aux achats de faibles montants / utilisation de l'argent liquide**

13. Dans une journée, combien de fois effectuez-vous un paiement de faible coût (<30€) ?
  - jamais
  - 1 fois
  - 2 fois
  - 3 fois
  - 4 fois
  - plus de 5 fois
14. Vous avez en poche de l'argent liquide (toutes sommes confondues)
  - Toujours
  - Souvent
  - Rarement
  - Jamais
15. D'une manière générale, quel est le montant que vous possédez en liquide en poche ?
  - moins de 10€
  - entre 10 et 30€
  - entre 30 et 50€
  - entre 50 et 100€
  - plus de 100€

### **1.2.4 Les paiements et les objets**

16. Dans le cas d'un paiement sans contact, quel dispositif préférez-vous utiliser :
  - Carte bancaire
  - Smartphone
  - (- Application de paiement) ?
  - Porte-clé
  - Autres (précisez)
  - Je n'ai pas de moyen de paiement sans contact

17. Vous avez recours au paiement sans contact :
  - Toujours
  - Le plus souvent
  - Parfois
  - Rarement
  - Jamais
18. Quel serait, selon-vous, le moyen de paiement idéal lors d'une transaction inférieure à 10€ ?
  - Carte bancaire
  - Smartphone
  - un autre objet de votre quotidien (ex. clé, porte clé, rouge à lèvres, etc.)
19. Quel serait, selon-vous, le moyen de paiement idéal lors d'une transaction comprise entre 10 et 30€ ?
  - Carte bancaire
  - Smartphone
  - un autre objet de votre quotidien (ex. clé, porte clé, rouge à lèvres, etc.)
20. Quel serait, selon-vous, le moyen de paiement idéal lors d'une transaction comprise entre 30 et 50€ ?
  - Carte bancaire
  - Smartphone
  - un autre objet de votre quotidien (ex. clé, porte clé, rouge à lèvres, etc.)
21. Aimeriez-vous disposer d'un nouveau moyen de paiement pour remplacer la petite monnaie (pièces et billets < 50€) ?
  - Oui
  - Non

### **1.2.5 Recueil d'information en vue d'un prototype**

22. Quel serait selon-vous l'objet le plus adapté pour un paiement de faible montant ?
  - Réponse libre

23. Dans le cas de l'utilisation d'un objet, aimeriez-vous qu'il affiche votre solde avant et après votre transaction ?
- Oui
  - Non
24. Aimeriez-vous avoir un retour (tactile, vibration) lors d'un paiement ?
- Oui
  - Non
25. Quelles seraient les fonctionnalités indispensable de l'objet si celui-ci devait remplacer votre petite monnaie ?
- Réponse libre

## 2. Proposition de "fiches atelier" de réflexion et de conception

### 2.1 Atelier 1 : Présentation du projet et de ses objectifs. Définition des besoins utilisateur.



#### Objectifs :

Dans cet atelier nous proposons de revenir sur les outils et moyens de paiement actuels, de discuter autour de l'usage de l'argent liquide et des échanges de petite monnaie, et enfin d'effectuer une analyse des résultats du questionnaire d'enquête visant à recueillir les habitudes et besoins des utilisateurs/consommateurs.

#### Livrables attendus :

- Mise en place d'une "équipe projet"
- Analyse du questionnaire d'enquête
- Liste de besoins et attentes utilisateurs

#### Participants envisagés :

- Responsables du département Innovation d'ARKEA
- Membres d'ARKEA (tout profil, tout département)
- Membres de l'équipe INUIT (*Immersive and Natural User Interactions Team*) du CERV/Lab-STICC
- Étudiants / Stagiaires (ARKEA / ENIB)

**Durée estimée :** 2h30 à 3h

**Organisation générale** : Nous proposons d'effectuer cet atelier selon les trois étapes suivantes :

**Étape 1 : Présentation du projet, de ses objectifs**

- Présentation de la problématique, du contexte et de l'objectif du projet
- Présentation des interactions tangibles et de leur intérêt dans milieu bancaire
- Présentation de la notion de dématérialisation et de son impact dans milieu bancaire

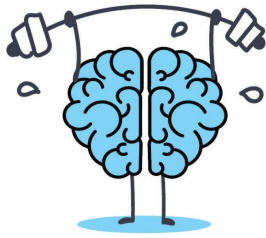
**Étape 2 : Brainstorming - définition des besoins et attentes utilisateurs**

- Analyse des résultats du questionnaire d'enquête
- Mise en évidence des besoins et attentes utilisateurs

**Étape 3 : Discussions**

- Au delà de l'utilisateur / consommateur, quelles sont les attentes d'ARKEA ?
- Position d'ARKEA face à la dématérialisation de la petite monnaie ?
- Quels sont les souhaits des utilisateurs / consommateurs face à la dématérialisation de l'argent liquide ?
- Vers quelles solutions / prototypes tendre ?

## 2.2 Atelier 2 : Fonctionnalités du prototype



### Objectifs :

Dans cet atelier nous proposons de réfléchir aux usages et de définir les fonctionnalités du prototype (objet tangible). Plus concrètement, cet atelier vise à définir les use-cases quant à la dématérialisation de la petite monnaie par un (ou plusieurs) objet(s) tangible(s). Exemples : Action de paiement, ou Dons/cadeaux de petits montants

### Livrables attendus :

- Ensemble de Use-Cases
- Liste de fonctionnalités

### Participants envisagés :

- Responsables du département Innovation d'ARKEA
- Membres d'ARKEA (tout profil, tout département)
- Membres de l'équipe INUIT (*Immersive and Natural User Interactions Team*) du CERV/Lab-STICC
- Étudiants / Stagiaires (ARKEA / ENIB)
- Clients ?

**Durée estimée :** 2h30

**Organisation générale** : Nous proposons d'effectuer cet atelier selon les quatre étapes suivantes :

**Étape 1 : Retours sur les attentes et besoins (atelier 1)**

**Étape 2 : Brainstorming - Définition de Use-cases**

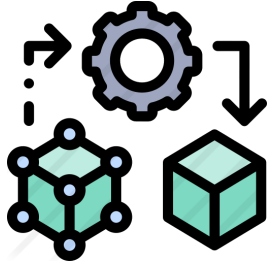
- QUESTION : Quels seraient les usages de l'objet tangible (dématérialisation de la petite monnaie) ?

**Étape 3 : Brainstorming - Définition des fonctionnalités**

- QUESTION : Quels seraient les fonctionnalités de l'objet tangible ?

**Étape 4 : Résultats des brainstorming et Discussions**

## 2.3 Atelier 3 : Prototypage "basse fidélité"



### Objectifs :

Dans cet atelier nous proposons de concevoir un ou plusieurs prototypes de l'objet tangible répondant aux usages et fonctionnalités définis durant l'atelier 2.

### Livrables attendus :

- Ensemble de prototypes
- Analyse et sélection du "best-of" des prototypes en vue d'un prototype final

### Participants envisagés :

- Responsables du département Innovation d'ARKEA
- Membres d'ARKEA (tout profil, tout département)
- Membres de l'équipe INUIT (*Immersive and Natural User Interactions Team*) du CERV/Lab-STICC
- Étudiants / Stagiaires (ARKEA / ENIB)

### Matériel envisagé :

- Lego
- Feuilles cartonnées
- Pate à modeler
- Post-it
- Paperboard
- Feuille colorée
- Colle
- Feutres et crayons

**Durée estimée :** 2h30 à 3h



**Organisation générale** : Nous proposons d'effectuer cet atelier selon les cinq étapes suivantes :

**Étape 1 : Retours sur les attentes et besoins (atelier 1), sur les Use-Cases et fonctionnalités (atelier 2)**

**Étape 2 : Brainstorming - Définition de l'objet**

- QUESTION : Quels objets tangibles proposer répondant aux Uses-Cases et fonctionnalités ?

**Étape 3 : Prototypage**

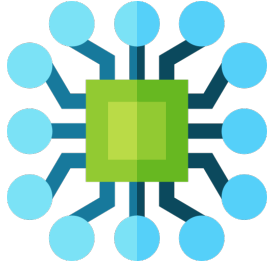
- Prototyper les objets et les interactions (en individuel ou en petit groupe)

**Étape 4 : Présentation des prototypes**

**Étape 5 : Analyse et sélection du "best-of" des prototypes en vue d'un prototype final**

- Définition d'un ensemble de caractéristiques (taille, forme) + caractéristiques techniques

## 2.4 Atelier 4 : Choix techniques



### Objectifs :

Dans cet atelier nous proposons de définir et choisir ensemble les différentes technologies du prototype : la technologie de communication, d'affichage, *etc.*

### Livrables attendus :

- Liste de caractéristiques techniques
- Choix de matériel

### Participants envisagés :

- Responsables du département Innovation d'ARKEA
- Membres de l'équipe INUIT (*Immersive and Natural User Interactions Team*) du CERV/Lab-STICC
- Étudiants / Stagiaires (ARKEA / ENIB)

**Durée estimée :** 2h

**Organisation générale :** Nous proposons d'effectuer cet atelier selon les trois étapes suivantes :

### Étape 1 : Retours sur les ateliers précédents

### Étape 2 : Brainstorming - Caractéristiques techniques de l'objet

- QUESTION : Quel seraient les technologies les plus adéquates pour notre prototype ?

### Étape 3 : Synthèse

- Choix finaux des caractéristiques et éléments techniques