

# ***KnobSlider* : Conception d'un Dispositif Déformable Répondant aux Besoins des Utilisateurs**

Hyunyoung KIM<sup>1,2</sup>  
Hyunyoung.Kim@imag.fr

Céline COUTRIX<sup>1,2</sup>  
Celine.Coutrix@imag.fr

Anne ROUDAUT<sup>3</sup>  
anne.roudaut@cs.bris.ac.uk

<sup>1</sup> CNRS and Université Grenoble Alpes, 38041 Grenoble, France

<sup>2</sup> University of Stuttgart, 70569 Stuttgart, Germany

<sup>3</sup> University of Bristol, Bristol BS8 1UB, United Kingdom

## **RESUME**

Dans cet article, nous examinons comment combiner les avantages des boutons rotatifs et linéaires à l'aide du changement de forme afin de transformer l'un vers l'autre sur demande. Ce faisant, nous fusionnons les avantages des deux dispositifs d'interaction: les boutons rotatifs permettent le contrôle angulaire relatif avec un gain dynamique et nécessitent peu d'espace; les boutons linéaires nécessitent plus d'espace, mais permettent le contrôle linéaire absolu et peuvent être regroupés pour être ajustés et contrôlés simultanément. Nos enquêtes contextuelles initiales dévoilent des situations où un tel dispositif dynamique pourrait être particulièrement bénéfique pour les professionnels tels que les ingénieurs du son et les éclairagistes. Nous présentons ensuite 9 prototypes basse fidélité du *KnobSlider*, un dispositif de contrôle déformable qui peut changer d'un bouton rotatif à un bouton linéaire et vice-versa. Nous proposons un ensemble de 11 exigences pour un tel dispositif déformable et effectuons une analyse systématique de nos 9 alternatives par rapport à ces 11 exigences. Ce travail est une première étape vers la construction d'un *KnobSlider* haute fidélité.

## **Mots Clés**

Interface tangible déformable ; Bouton rotatif ; Bouton linéaire ; Potentiomètre ; Enquête contextuelle.

## **ABSTRACT**

In this paper, we explore how to combine the advantages of physical knobs and sliders by using shape-change in order to transform one into another on-demand. By doing so we merge the benefits of both input devices: knobs enable relative angular input with dynamic gain and require little space; sliders require more space but enable absolute linear input and can be grouped to be simultaneously adjusted and monitored. Our initial contextual interviews unveil situations where such dynamic device could be particularly beneficial for

professionals such as sound and light engineers as they require tangible devices and high flexibility. We then present the 9 alternative designs of *KnobSlider*, a shape changing input device that can switch from a knob to slider and vice-versa. We propose a set of 11 requirements for such a shape-changing device and conducted a systematic analysis of our 9 designs against our 11 requirements. This work is a first step toward building a high-fidelity *KnobSlider*.

## **Author Keywords**

Shape-changing TUI; Knob; Dial ; Slider; Potentiometer; Contextual interview

## **ACM Classification Keywords**

H5.2 [information interfaces and presentation]: user interfaces - graphical user interfaces, input devices and strategies.

## **INTRODUCTION**

Les dispositifs de contrôle tangibles tels que les boutons poussoirs, les boutons rotatifs (« knobs ») ou les boutons linéaires (« sliders ») ont commencé à être utilisés avant même l'invention des ordinateurs. Lorsqu'on les compare à leurs homologues graphiques, ils offrent une meilleure affordance ainsi qu'un meilleur retour haptique. Cependant, ils manquent de flexibilité. Par exemple, une liste graphique peut être facilement transformée en un menu déroulant lorsque l'espace manque à l'écran, ou la taille d'un bouton linéaire graphique peut être augmentée pour augmenter la précision du contrôle. Ceci est impossible avec les dispositifs de contrôle tangibles. Ils manquent de flexibilité dans leurs formes et leurs fonctionnalités.

Ce manque de flexibilité cause plusieurs problèmes aux utilisateurs. En particulier, ils doivent faire un compromis entre l'espace et les fonctionnalités: si l'utilisateur a besoin de plusieurs fonctionnalités, il aura autant de dispositifs de contrôle tangibles que de fonctionnalités, et donc besoin d'autant d'espace. Dans un espace limité, il devra choisir un sous-ensemble de ces dispositifs qui pourra ne pas être adapté à toutes les situations. Ce problème est encore plus grave quand les utilisateurs doivent faire face à une grande quantité de dispositifs comme avec les tables de mixage. Par exemple, une des tables de mixage que nous avons observée<sup>1</sup> demande aux ingénieurs d'utiliser 28 boutons linéaires et 65 boutons rotatifs (Figure 1, P5 et P6).

---

<sup>1</sup> <http://www.allen-heath.com/ahproducts/ilive-t112/>

Pour pallier au manque de flexibilité des dispositifs de contrôle tangibles, nous proposons d'utiliser la déformation. Cette idée reçoit un intérêt croissant et plusieurs chercheurs ont proposé des dispositifs qui changent de forme pour s'adapter à différentes fonctionnalités [19,21]. Cependant, en dépit de la variété des déformations qui ont été proposées, peu de recherches proposent de répondre au manque de flexibilité des dispositifs de contrôle tangibles existants. Les plus proches travaux fusionnent plusieurs dispositifs tangibles mais leur manipulations sont encore loin des boutons rotatifs et linéaires d'aujourd'hui [4,20].

Dans cet article, nous examinons en particulier comment utiliser la déformation physique afin de transformer un bouton rotatif en un bouton linéaire sur demande, permettant ainsi la combinaison de leurs avantages respectifs : un bouton rotatif permet un contrôle relatif avec un gain dynamique, occupe moins de surface et peut avoir une plus grande résolution par rapport au bouton linéaire. Un bouton linéaire permet un contrôle linéaire absolu, fournit une indication haptique de la valeur du paramètre contrôlé, et permet de contrôler jusqu'à 4 curseurs simultanément [6]. Les contributions de cet article sont:

1. Nous présentons les résultats d'une enquête contextuelle avec des utilisateurs professionnels, experts des interfaces tangibles comprenant des boutons rotatifs et linéaires. Cette enquête nous a aidé à comprendre comment ces dispositifs sont utilisés et à identifier les besoins des nos utilisateurs. Elle nous a permis de confirmer expérimentalement le manque de flexibilité des boutons rotatifs et linéaires.
2. Nous proposons un ensemble de 11 exigences souhaitables pour un *KnobSlider* déformable.
3. Nous présentons 9 alternatives de conception d'un *KnobSlider* déformable. Nous discutons leurs avantages et inconvénients à l'aide de prototypes basse fidélité.

Ensemble, les trois auteures, chercheuses en IHM, ont réalisé les enquêtes, ont proposé les exigences, et ont conçu et analysé les prototypes présentés dans le document.

### **TANGIBILITE, FLEXIBILITE ET DEFORMABILITE**

Nos travaux visent à fournir une interaction, à la fois tangible et flexible, avec des boutons rotatifs et linéaires. Nous présentons ici les travaux antérieurs qui ont proposé des dispositifs de contrôle déformables. Nous avons identifié les quatre approches présentées ci-dessous.

#### **Flexibilité d'un unique dispositif de contrôle**

Nous présentons les travaux proposant de déformer un dispositif de contrôle sans en changer la manipulation. Par exemple, on trouve une souris dont le volume change et sur laquelle la pression exercée permet de contrôler le zoom ou le défilement [12]. Un bouton linéaire physiquement zoomable a été proposé pour permettre à l'utilisateur de faire le compromis entre la surface occupée par le dispositif et la performance d'interaction [3]. Cependant, la performance du dispositif se dégrade quand il devient plus petit. Pour contrebalancer la dégradation des performances, il est donc intéressant

d'explorer de nouvelles interactions lorsque peu d'espace est disponible. Un bouton poussoir déformable a été proposé [7]. Cependant, le changement de forme est dédié au retour d'information et aux notifications, et n'est pas mis à profit pour le contrôle. Au contraire, le *Haptic Chameleon* [15] est un bouton rotatif dont le changement de forme modifie le contrôle de la lecture d'une vidéo : la lecture est continue lorsqu'il a une forme de cercle, scène par scène lorsqu'il a une forme de ligne, et sémantique (par exemple, une scène heureuse après l'autre), lorsqu'il est en demi-cercle. Vázquez *et al.* [25] ont proposé un autre changement de forme pour des boutons rotatifs et linéaires, parmi d'autres dispositifs : via une pression variable dans des chambres à air embarquées dans les dispositifs, le retour haptique (friction) est variable. Toutefois, la forme du dispositif ne change pas.

#### **Multiplexage spatial**

D'autres travaux ont également proposé de répondre au manque de flexibilité en fournissant simultanément des boutons rotatifs et linéaires, répartis à des endroits différents, et disponible pour être utilisés à tout moment. Nous avons identifié deux configurations spatiales différentes relevant de cette approche :

1. Côte à côte, comme sur les consoles de mixage : Les utilisateurs manipulent plusieurs dispositifs tangibles, y compris des boutons rotatifs et linéaires [1]. Ceux-ci peuvent être combinés pour fournir simultanément des boutons rotatifs et linéaires les uns à côté des autres. L'inconvénient de cette approche est l'espace occupé, lorsque celui-ci est une ressource critique.
2. L'un sur l'autre, comme avec *Zebra Widgets* [2], bien que ce système ne permette pas d'empiler un bouton rotatif par dessus un bouton linéaire (ou vice-versa). Il permet uniquement d'empiler des boutons rotatifs par dessus des boutons rotatifs et des boutons linéaires par dessus des boutons linéaires.

#### **Multiplexage temporel**

Une autre approche consiste à fournir à la fois des boutons rotatifs et linéaires l'un après l'autre. Cela permet aux utilisateurs d'interagir avec des dispositifs différents au même endroit, l'un après l'autre. Par exemple, *Paddle* [18] est un dispositif mobile que l'utilisateur peut déformer pour accéder à différentes fonctionnalités: sous forme de surface plane, l'utilisateur peut naviguer en glissant son doigt ; ou sous forme de bracelet, il peut naviguer en le faisant tourner. Cependant, la manipulation de ce dispositif est différente de celle des boutons rotatifs et linéaires tangibles actuels. Dans le domaine des interfaces tangibles, plusieurs travaux ont fourni aux utilisateurs des boutons rotatifs et linéaires au même emplacement [4,20]. Avec *ForceForm* [24], l'utilisateur creuse sur une table un support pour le contrôle tactile rotatif ou linéaire. Cependant la manipulation du curseur est différente de la manipulation d'un curseur rotatif ou linéaire actuel parce qu'il est dépourvu d'un curseur tangible [4,24] ou de continuité [20].

#### **Combinaison des multiplexages spatial et temporel**

Certaines approches permettent à la fois le multiplexage spatial et temporel. Par exemple, des travaux permettent



**Figure 1: Six participants utilisant des boutons rotatifs et linéaires, tangibles ou graphiques, dans leur activité quotidienne : (P1) un opérateur de cinéma utilise 4 boutons rotatifs et un linéaire, (P2) une illustratrice avec une tablette graphique avec des guides tactiles rotatifs et linéaires, (P3) un artiste utilise des boutons rotatifs et linéaires graphiques sur une tablette, (P4) un ingénieur lumière utilise des boutons tangibles, et (P5) et (P6) ingénieurs du son utilisent des boutons rotatifs et linéaires, tangibles et graphiques.**

un positionnement libre des dispositifs tangibles sur une surface [11,10]. Les utilisateurs placent tous les dispositifs simultanément sur la surface, ou l'un après l'autre au même emplacement sur la surface. Parmi les travaux présentés précédemment [4,24,20], en raison de la taille de la surface, il est également possible de fournir plusieurs boutons rotatifs et linéaires simultanément et séquentiellement.

Notre approche relève de la combinaison de multiplexages spatial et temporel. En revanche, au contraire des dispositifs que l'utilisateur doit poser ou retirer de la surface [11,10], nous voulons éviter ces manipulations supplémentaires pour l'utilisateur. Nous voulons également permettre la manipulation *continue* d'un curseur *tangible*, alors que les approches permettant au système d'effectuer le placement des dispositifs [4,24,20] ne le permettent pas.

### ENQUETE CONTEXTUELLE

Cette enquête contextuelle [8] nous a permis d'ancrer nos recherches dans des besoins réels. Nous avons identifié plusieurs profils d'utilisateurs d'interfaces tangibles. Nous les avons observés dans leur activité professionnelle quotidienne et avons réalisé des entretiens afin d'identifier leurs problèmes d'utilisabilité non résolus, en lien avec la tangibilité et la flexibilité des boutons rotatifs et linéaires.

### Participants

6 participants (2 femmes) âgés de 25 à 55 ans (Fig. 1) ont participé: Deux ingénieurs/artistes lumière (P4 et P3), 2 ingénieurs du son (P5 et P6), un opérateur de cinéma (P1) et une illustratrice (P2). Lors de leurs tâches quotidiennes, certains utilisaient uniquement des interfaces tangibles (P4 et P6), d'autres des interfaces tangibles et tactiles (P1, P2 et P5), ou avaient récemment abandonné l'utilisation des interfaces tangibles pour les interfaces tactiles (P3). L'étude a eu lieu de juin à décembre 2015 en France.

### Protocole

Nous avons porté notre attention sur la façon dont les participants contrebalançaient leurs besoins de flexibilité

et de tangibilité, et sur leur utilisation des boutons rotatifs et linéaires, graphiques ou tangibles. Notre étude a eu lieu sur le lieu de travail des participants, alors qu'ils effectuaient leurs tâches quotidiennes. Parfois, l'enquête a eu lieu dans un moment tendu, par exemple pendant la préparation d'un spectacle le soir même (P3-6). Nous avons observé et interviewé les participants environ 2 heures chacun. Lorsqu'il n'était pas possible de poser des questions (par exemple, P3 avait besoin de silence pour se concentrer), nous avons réalisé l'entretien le lendemain matin.

L'observatrice se plaçait à côté des participants. À chaque fois qu'une action n'était pas tout à fait claire pour l'observatrice, elle demandait au participant d'expliquer cette action. Nous avons recueilli des notes manuscrites, y compris des croquis. Nous avons également enregistré des vidéos de séquences d'actions particulières et des photos des dispositifs manipulés. Lorsque cela était possible, c'est-à-dire lorsque l'environnement n'était pas trop bruyant, nous avons également enregistré l'audio.

### Analyse

Pour chaque participant, nous avons effectué l'analyse au plus tard 48 heures après l'entretien. Lors de l'analyse, nous avons décrit dans un document chaque séquence d'actions qui était liée aux boutons rotatifs et linéaires, à la tangibilité et à la flexibilité. Pour cela, nous avons utilisé nos notes et nos enregistrements. Nous en avons ensuite extrait les motivations suivantes pour un *KnobSlider* déformable.

### Résultats

Nous avons identifié les trois besoins suivants: le besoin de boutons rotatifs et linéaires, le besoin de tangibilité et le besoin de flexibilité.

#### *Besoin à la fois des boutons rotatifs et linéaires*

Les six participants utilisent les deux dispositifs, rotatifs et linéaires. P1 utilise un total de 4 boutons rotatifs tangibles et un bouton linéaire tangible pour contrôler les paramètres de ses caméras stéréoscopiques. P2 utilise un guide tactile rotatif pour faire défiler la page Web contenant sa documentation. Cela lui permet d'éviter

d'utiliser une souris. Elle a également configuré l'un des guides tactiles linéaires pour zoomer son illustration. P3 a configuré un écran de sa tablette pour interagir avec 3 boutons rotatifs et un bouton linéaire, tous tactiles. Il a utilisé tous ces widgets pour une partie de son spectacle. Avant le spectacle, P4 utilise un bouton rotatif tangible pour sélectionner le projecteur placé sur la scène qu'il veut contrôler. Il associe ensuite le projecteur avec un bouton linéaire tangible pour contrôler ce projecteur pendant le spectacle. P5 et P6 utilisent les boutons rotatifs et linéaires de leur console de mixage. P6 définit une courbe à 4 degrés de liberté. Pendant les *balances*, il a ajusté cette courbe environ 20 fois, pour chaque instrument et microphone présent sur scène. Il utilise également un bouton linéaire pour affiner les *balances*, puis pour le retour audio vers les musiciens. Ces observations démontrent que toutes ces personnes utilisent à la fois les boutons rotatifs et linéaires.

#### ***Besoin de tangibilité***

Pour les ingénieurs son et lumière, nous avons observé que la nécessité du tangible était primordiale. Par exemple nous avons observé un geste de P3 sur un bouton rotatif tactile: il a commencé à suivre de son doigt le bouton affiché sur la tablette, tout en regardant la scène. Son doigt s'est éloigné du bouton et il en a perdu le contrôle. Quand il l'a remarqué, il a du baisser la tête pour regarder sa tablette et replacer son doigt sur le bouton rotatif tactile. Plus tard, nous l'avons observé en train d'essayer sans succès de placer, sans regarder, deux doigts (index et majeur) simultanément sur deux boutons linéaires tactiles adjacents. Il a baissé les yeux pour pouvoir placer ses doigts correctement. Il nous a plus tard expliqué qu'un problème de son interface tactile est qu'il a l'impression d'être aveugle, car elle ne lui donne aucun retour d'information quand il ne peut pas la regarder.

De même, P5 a expliqué que, bien qu'il utilise la tablette car elle lui permet d'aller sur scène, il n'aime pas utiliser les boutons graphiques et préfère leurs homologues tangibles. Il a également expliqué que sur sa console de mixage, il n'utilise jamais l'écran tactile, mais plutôt les boutons rotatifs et linéaires tangibles. Par exemple, pour ajuster les quatre degrés de liberté de chaque courbe des *balances*, il peut indifféremment (1) utiliser la modalité tactile sur la tablette mobile ou sur l'écran tactile embarqué dans la console de mixage, et toucher directement les points de contrôle sur la courbe, ou (2) utiliser les quatre boutons rotatifs qui contrôlent chacun un point de contrôle. Nous avons observé qu'il a toujours utilisé les boutons tangibles lorsqu'il était à la table de mixage.

#### ***Besoin de flexibilité***

Nous avons observé de nombreuses séquences d'actions où les participants avaient besoin de flexibilité dans l'interaction. Par exemple, lorsqu'elle utilise le bouton linéaire, P1 place sa main avec soin pour éviter de toucher par erreur les boutons rotatifs placés dessous. P2 nous a expliqué que son bureau est toujours bien rangé : elle a besoin d'espace pour passer d'un dispositif à un autre sans perte de temps. Elle garde donc ses esquisses, faites à la main, sur une autre table. Après la réalisation

d'esquisses au crayon ou à l'aquarelle, P2 ne travaille plus que sur ordinateur. Elle nous a expliqué que son travail exige plusieurs aller-retours avec le client demandant des modifications. L'ordinateur lui permet de faire des corrections rapides (*undo*). P3 utilise une interface graphique personnalisable pour chaque spectacle. Il a abandonné les interfaces tangibles car la flexibilité est plus importante que la tangibilité. Il compense le manque de tangibilité avec de grands boutons tactiles. Mais cela ne suffit pas et la tangibilité lui fait encore défaut (son absence provoquait des erreurs graves pendant un spectacle).

La mobilité est un cas particulier de flexibilité que nous avons remarqué : les participants ont besoin d'interagir à des endroits différents ou pendant le déplacement même. P1 utilise ses caméras et leurs appareils de contrôle à différents endroits pour chaque film et pour chaque scène. P2 travaille parfois ailleurs que dans son bureau, par exemple dans un camion lorsqu'elle est en vacances en famille. P3 va et vient plusieurs fois entre son bureau et le devant de la scène (le point de vue du public) pendant la répétition. Lorsqu'il retourne à son bureau, soit il emporte sa tablette avec lui, soit il la laisse sur le sol. Au bureau, il fait des ajustements sur son ordinateur portable. Devant la scène, il reste debout, puis s'assois sur le sol au même endroit. Il a expliqué que se déplacer en face de la scène est important pour pouvoir voir le résultat de son travail. Quand il ne peut pas utiliser la tablette, il travaille avec quelqu'un qui se place devant la scène et avec qui il communique. Cette personne n'est pas un collègue de travail sur le spectacle, mais un employé de la salle de spectacle. Il est donc difficile pour cette personne de comprendre ce qu'il veut, et/ou cette personne n'a pas la même exigence de qualité que lui-même.

Nous avons observé P4 monter sur scène pour mieux voir la lumière, puis revenir à la console. Il s'est plaint de devoir travailler en journée et en plein air, ce qui rendait le travail difficile et long à cause des déplacements intempestifs. Afin d'éviter cela, nous avons parfois observé P4 criant aux personnes sur scène de lui donner des informations sur les projecteurs qui y étaient installés. P5 utilise une tablette pour contrôler à distance la table de mixage. Il emmène la tablette sur la scène et fait les réglages des retours juste à côté des musiciens. Cela facilite grandement la communication avec eux. Lorsqu'il ne peut pas utiliser la tablette, soit il utilise le micro (dans une main, alors indisponible pour interagir sur la table de mixage), soit il crie ou signe pour communiquer avec les musiciens depuis la zone de mixage. Parfois même, une troisième personne est nécessaire pour relayer la communication entre P5 et le musicien qui n'a pas de micro (par exemple le batteur). Nous avons observé P6 pendant le concert sortir de la zone dédiée au mixage pour écouter le rendu sonore depuis d'autres emplacements que la zone de mixage. Il est revenu ensuite à la table de mixage pour régler des paramètres.

Ces entretiens contextuels montrent que ces utilisateurs devraient bénéficier de dispositifs tangibles flexibles. Les travaux existants ne permettent pas de leur fournir un outil servant à la fois de bouton rotatif et linéaire tangible.

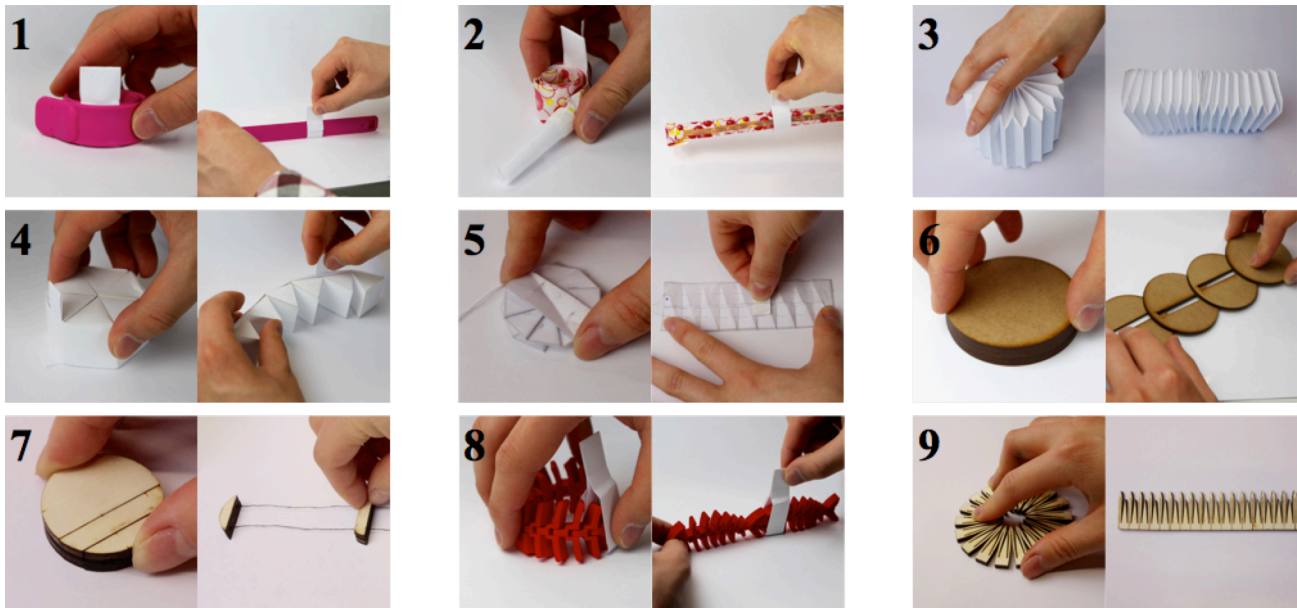


Figure 2. Prototypes basse-fidélité: Bouton linéaire (gauches) and rotatif (droites). 1) serre-pantalons, 2) sifflet de fête, 3) accordéon, 4) roly-poly, 5) origami, 6) disques empilables, 7) tyrolienne, 8) arêtes de poisson, 9) modèle dukta.

Nous présentons maintenant les exigences pour un tel outil, ainsi que nos alternatives de conception d'un *KnobSlider*.

### CONCEPTION DU KNOBSLIDER

Pour répondre au manque de tangibilité et de flexibilité dans les systèmes actuels, nous proposons de concevoir un *KnobSlider*, un dispositif auto-transformable pouvant être modifié entre un bouton rotatif ou linéaire, et vice versa. Cette section présente notre exploration initiale pour la conception d'un tel dispositif changeant de forme, le *KnobSlider*. En particulier notre approche pour trouver le meilleur candidat consiste en quatre étapes. **Étape 1** : À partir des résultats de l'enquête contextuelle, nous avons créé une liste d'exigences; **Étape 2** : Nous avons cherché des idées de déformations inspirées d'objets du quotidien ou de sites de fabrication (e.g thingiverse) et créé des prototypes à basse fidélité; **Étape 3** : Nous avons ensuite analysé nos prototypes en utilisant la liste des exigences; **Étape 4** : Nous avons identifié la meilleure approche pour la future mise en œuvre d'un *KnobSlider* de haute fidélité.

Pour éviter l'auto-censure et avoir des idées variées, nous avons d'abord cherché des idées de déformation avant de créer la liste d'exigences à partir des résultats de l'enquête contextuelle. Pour une meilleure lisibilité, nous présentons tout de même l'étape 1 avant l'étape 2.

#### Étape 1 : Liste d'exigences

Pour répondre aux besoins des utilisateurs cibles, nous proposons une liste d'exigences pour la conception d'un *KnobSlider*. Nous ne présenterons pas les exigences communes à tous les dispositifs d'interaction, comme la précision des entrées [1]. Celle-ci par exemple dépend des technologies choisies pour la capture des entrées, c'est-à-dire des potentiomètres rotatifs et linéaires embarqués dans le *KnobSlider*, ou du capteur capacitif ou résistif de la surface servant de support au *KnobSlider*. Le *KnobSlider* aura donc la même précision des entrées que les boutons linéaires et rotatifs existants.

Les exigences présentées ici visent plus particulièrement à combler les manques de tangibilité et/ou de flexibilité identifiés dans l'enquête contextuelle.

#### Exigences de tangibilité :

- *R1. Stabilité sans alimentation* : le bouton rotatif et le bouton linéaire peuvent garder leur forme sans que le dispositif soit alimenté par une source d'électricité.
- *R2. Solidité* se réfère à la résistance physique du dispositif. Il est souhaitable d'avoir un dispositif solide pour un contrôle précis.
- *R3. Stabilité de l'axe* se réfère à la présence d'un axe stable de translation/rotation lors de la manipulation.
- *R4. Curseur physique* se réfère à la présence d'un curseur tangible. Si aucun curseur n'est présent, une détection tactile est nécessaire (par exemple en utilisant des capteurs capacitifs).
- *R5. Retour haptique* exprime la possibilité d'ajouter une information haptique (*detents* en anglais) pour aider l'utilisateur à choisir avec précision la position du curseur.

#### Exigences de flexibilité

- *R6. Taille* correspond à la taille globale du dispositif. Le *KnobSlider* doit être suffisamment petit pour une utilisation flexible: sur des surfaces fixes et stables (tables) et sur des surfaces mobiles (téléphones ou tablettes).
- *R7. Rapport des tailles* décrit le rapport entre les dimensions des deux formes, à savoir du bouton rotatif ou linéaire. Il peut être souhaitable d'avoir un faible rapport afin d'avoir un petit bouton rotatif qui peut être transformé en bouton linéaire offrant une grande zone interactive.
- *R8. Vitesse d'auto-déformation* est la vitesse de déformation du système. Il est souhaitable d'avoir une transformation rapide, bien qu'observable, pour permettre à l'utilisateur de changer rapidement entre un bouton rotatif ou linéaire en cas de besoin.

- *R9. Simplicité de déformation pour les utilisateurs* exprime s'il est facile pour les utilisateurs de déformer le dispositif. Bien que nous souhaitions une déformation automatique, l'utilisateur pourrait aussi vouloir effectuer la déformation par manipulation directe.
- *R10. Cohérence du curseur* est la capacité à maintenir la position du curseur après de multiples déformations.
- *R11. Automatisation du curseur* est la propriété du système d'auto-déplacer la position du curseur. Ceci peut fournir plus de flexibilité (par exemple synchroniser plusieurs dispositifs d'entrée tels que dans [17]). Cela peut également être utilisé pour générer un retour haptique.

### Étape 2 : Génération d'idées et prototypage

En nous inspirant d'objets du quotidien (par exemple, un serre-pantalon, un sifflet de fête ou des pliages origami) ou sur les sites de fabrication (par exemple, les arêtes de poisson ou le modèle de découpe de Dukta), nous avons proposé neuf idées et prototypes de déformation pour créer un *KnobSlider* (voir Figure 2). Cette liste est non exhaustive et sert de source d'inspiration pour la conception de *KnobSliders*. Chaque prototype est expliqué individuellement plus loin dans cette section.

### Étape 3 : Analyse

Une description de chaque prototype est présentée ci-après, et un résumé comparatif est fourni dans le tableau 1. Nous présentons d'abord le principe général des prototypes. Nous proposons ensuite diverses solutions d'implémentation pour la mise en œuvre. Enfin, nous présentons l'analyse de nos solutions par rapport à notre liste d'exigences.

Idée	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stabilité sans alimentation *	●	●	●	●	●	●	●	○	●
Solidité *	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Stabilité de l'axe *	●	○	○	●	●	●	●	○	○
Curseur physique *	●	●	●	●	●	○	●	●	●
Retour haptique *	●	●	●	●	●	●	●	●	○
Taille *	○	●	●	●	●	●	○	●	●
Rapport des tailles *	●	●	●	●	●	●	●	○	●
Vitesse d'auto-déformation *	●	●	●	●	●	●	●	○	●
Simplicité de déformation	●	○	○	●	●	●	●	●	●
Cohérence du curseur	●	●	●	●	○	●	●	●	●
Automatisation du curseur *	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<b>Score total</b>	14	13	14	17	16	13	18	9	12
<b>Score pondéré (* compte double)</b>	25	24	26	30	28	24	32	15	21

**Tableau 1. Résumé des prototypes et de leur conformité aux exigences (cercle complet = conformité totale = 2 points)**

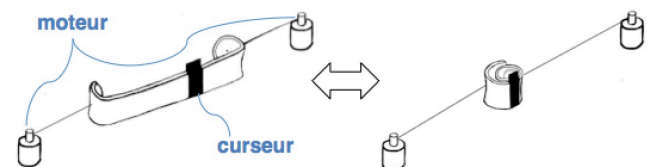
Nos solutions impliquent l'utilisation de procédés de fabrication (imprimante 3D, découpe au laser) ainsi que plusieurs modes d'actionnement tels que des moteurs disponibles dans le commerce. Nous incluons aussi les mécanismes pneumatiques qui peuvent être couplés avec des techniques pour mouler des chambres à air en silicone

[14]. Finalement nous incluons également des alliages à mémoire de forme (SMA) bien qu'ils exigent une implémentation plus complexe. Par exemple ils nécessitent des courants spécifiques en fonction de la longueur des fils utilisés, ils peuvent être facilement endommagés par un effort trop important et doivent être combinés avec des matériaux résistant à la chaleur. On peut distinguer deux types de SMA: les fils sont relativement minces et rétrécissent lorsqu'ils sont chaud; les câbles qui sont plus épais et dont la déformation consiste à passer d'une forme prédéterminée à une autre lorsqu'ils sont chauffés. Avec les câbles, il est possible de changer la forme finale en « éduquant » le métal. Cela se fait en maintenant le câble dans la forme désirée tout en chauffant à haute température (> 500 degrés qui peuvent être obtenus avec un chalumeau ou une plaque de cuisson au gaz).

#### Idée n°1 : Serre-pantalon

*Principe* : L'idée est d'utiliser une bande bistable, comme dans les serre-pantalons de vélo ou les mètres enrouleurs. Ce genre de matériau bistable peut être dans deux formes stables: roulé ou droit. Lorsqu'il est enroulé, il peut être utilisé comme un bouton rotatif et lorsqu'il est droit, il peut être utilisé comme un bouton linéaire.

*Implémentation* : Le prototype peut être actionné à l'aide de deux moteurs (fig. 3). Chaque moteur peut être fixé sur une surface au niveau des deux extrémités de la bande, et relié par des fils. Lorsque les moteurs sont actionnés, ils tirent les ficelles, ceci permettant d'étirer la bande sauf à ses extrémités. Parce que les extrémités sont enroulées, le dispositif est stable. Lorsque les moteurs sont actionnés dans le sens opposé, la bande redevient un rouleau. En laissant les fils assez lâches, il est possible d'effectuer des mouvements de rotation avec le rouleau. Le curseur est un morceau de matériau qui se fixe autour de la bande et qui coulisse. Lorsque le prototype est enroulé, le curseur ne bouge pas. Notez qu'il serait possible d'utiliser un seul moteur car la bande se comporte comme un ressort et peut donc retourner en forme de rouleau s'il n'y a pas de tension.



**Figure 3. Idée n°1 (serre-pantalon) avec moteur d'actionnement. Les moteurs tirent les fils pour créer le bouton linéaire (gauche), et les détendent pour le bouton rotatif (droite).**

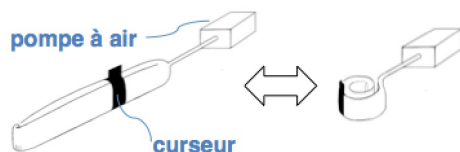
*Analyse* : Le dispositif est stable sous forme de bouton rotatif, mais pas sous forme de bouton linéaire parce que les moteurs doivent être alimentés pour maintenir la tension dans la bande (R1). Le prototype est solide dans le cas où la bande n'est pas étendue entièrement, laissant ainsi les extrémités incurvées pour rendre le dispositif stable sur une surface (R2). Cette implémentation ne permet pas un axe stable pour le bouton rotatif (R3), mais permet un curseur physique pour le bouton linéaire (R4). Il est possible d'ajouter des encoches en ajoutant des

bosses sur les bords de la bande, ou sous le bouton lors de la rotation (R5). La taille (R6) de notre prototype non actionné est de  $3 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$  (zone = diamètre des extrémités enroulées  $\times$  longueur). Ceci est relativement faible, mais parce que les moteurs doivent être ancrés à la surface, cette conception est difficilement utilisable dans des scénarios mobiles. Le rapport des tailles de notre prototype est d'environ  $2,52 \times \pi \times 3 / 18 = 0,36$  (R7). La vitesse de déformation (R8) dépend des caractéristiques des moteurs, ainsi que l'épaisseur de la couverture souple de la bande (plus épaisse = plus difficile à déformer). Les utilisateurs peuvent facilement déformer le prototype (R9). Cependant, nous avons constaté que la bande peut s'enrouler rapidement ce qui peut être surprenant et potentiellement dangereux si la couverture souple est trop mince : la bande peut couper la peau de l'utilisateur. Le curseur peut garder sa position même en étant enroulé (R10). Enfin l'automatisation du curseur est techniquement possible avec deux moteurs supplémentaires parallèles à ceux qui existent déjà, mais cette solution paraît peu pratique (R11). On notera que, théoriquement, il est possible d'utiliser des SMAs qui seraient placés sur le côté arrière de la bande. En pratique, ceci est difficilement réalisable parce que nous aurions besoin de SMA sensiblement plus fort que ceux qui existent actuellement.

#### *Idée n°2 : Le sifflet de fête*

*Principe* : L'idée est d'utiliser un mécanisme de sifflet de fête, qui est roulé dans sa forme initiale (bouton rotatif), mais devient linéaire lorsqu'il est gonflé (bouton linéaire).

*Implémentation* : Le prototype peut utiliser des éléments pneumatiques, à savoir une pompe à air reliée à la base du sifflet. Un curseur en forme d'anneau peut entourer la partie gonflée. Le curseur doit être suffisamment déformable pour que le curseur s'adapte au diamètre du sifflet, même lorsqu'il est gonflé (Fig. 4).



**Figure 4. Idée n°2 (sifflet de fête). La pompe à air gonfle le dispositif pour faire le bouton linéaire (gauche), et le dégonfle pour le bouton rotatif (droite).**

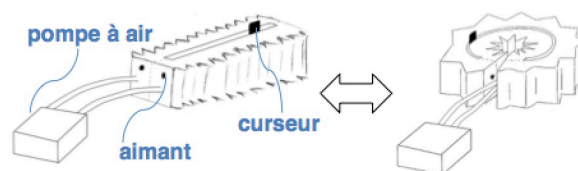
*Analyse* : Sous forme de bouton rotatif, le dispositif est stable. Sous forme linéaire c'est aussi le cas en utilisant une pompe péristaltique qui peut bloquer le flux d'air sans alimentation (R1). Toutefois, cette implémentation est fragile car le matériau de base de ce dispositif est déformable (R2). Le dispositif n'a pas un axe stable (R3), mais il a un curseur physique (R4). Un retour haptique est possible en créant des bosses sur l'axe de déplacement du curseur (R5). Dans notre prototype, le diamètre du bouton est de 3 cm. C'est l'un de nos plus petits prototypes (R6). Une telle implémentation est donc utilisable dans des scénarios mobiles, bien que le bruit de la pompe à air puisse diminuer les possibilités d'application. La longueur maximale du bouton linéaire est de 27 cm, et peut être modifiée en fonction de la pression de l'air à l'intérieur. Cela crée un rapport de  $0,17 (\approx \pi \times 1,52 / (27 \times$

$1,5))$  (R7). La vitesse de la déformation dépend de la pompe à air (R8). Typiquement, un tube de 5 mm de diamètre sur une pompe péristaltique de 24V nécessiterait 30-60 secondes pour obtenir la déformation souhaitée, ce qui est un peu plus long. Cependant une pompe plus puissante (cylindre d'air comprimé, par exemple) pourrait fixer ce problème. Nous ne pensons pas qu'il serait pratique pour les utilisateurs de gonfler le dispositif eux mêmes (R9). Enfin, le curseur peut maintenir sa position durant la déformation (R10); mais le curseur est difficilement automatisable (R11).

#### *Idée n°3 : Accordéon*

*Principe* : Le dispositif est constitué d'un parallélépipède rectangle dont la structure utilise un pliage en accordéon. Cette structure permet au dispositif d'être étendu ou arrondi comme représenté sur la Figure 2. Lorsqu'il est étendu, le dispositif prend la forme d'un bouton linéaire, et lorsqu'il est arrondi, il prend la forme d'un bouton circulaire.

*Implémentation* : La déformation peut être réalisée à l'aide d'éléments pneumatiques, par deux chambres à air adjacentes le long de l'axe principal du bouton linéaire. En gonflant les deux chambres à air simultanément, nous pouvons étendre le dispositif. En gonflant une unique chambre à air et en dégonflant l'autre, le dispositif s'arrondit jusqu'à former un bouton circulaire. Des (électro-)aimants à chaque extrémité des chambres à air peuvent compléter le mécanisme et verrouiller le dispositif sous la forme d'un bouton rotatif. Une rainure entre les deux chambres à air permet d'y faire glisser un curseur dont l'extrémité inférieure touche le bas du dispositif.



**Figure 5. Idée n°3 (accordéon). La pompe gonfle les deux chambres pour créer le bouton linéaire (gauche). La pompe gonfle la chambre extérieure pour le bouton rotatif (droite).**

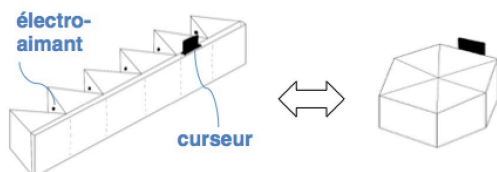
*Analyse* : Avec l'aide d'une pompe péristaltique, le bouton linéaire et le bouton rotatif peuvent être stables (R1). La structure pliée rend le dispositif solide et capable de résister aux manipulations des utilisateurs (R2). Toutefois, la flexibilité des chambres à air rend le bouton linéaire moins rigide que d'autres prototypes comme l'idée n°4 (Roly-Poly). Le bouton linéaire et le bouton rotatif n'ont pas d'axes stables (R3), mais le curseur peut être tangible (R4). Un retour haptique est fourni par les plis en accordéons des chambres à air le long desquelles glisse le curseur. Des électro-aimants sous la surface peuvent aussi permettre un retour haptique dynamique (R5). Notre prototype mesure 9 cm de diamètre et 16 cm de longueur. Il est assez grand, mais sa taille peut être réduite car il est possible de créer de plus petites chambres à air. L'inconvénient majeur est la taille de la pompe utilisée (R6). La longueur du bouton linéaire est, au plus, 3,14 fois le diamètre du bouton linéaire. Le bouton linéaire peut être raccourci en dégonflant les deux

chambres à air (R7). La vitesse de déformation est plus lente que l'idée n°2 (sifflet de fête) parce que cette implémentation demande des chambres à air plus volumineuses (R8). Il est peu pratique pour les utilisateurs de le gonfler (R9). Le bouton linéaire conserve la position de son curseur lorsque le dispositif prend la forme d'un bouton rotatif (R10). Nous n'avons pas trouvé de solutions simples pour automatiser le curseur (R11).

#### *Idée n°4 : Roly-poly*

*Principe* : Six prismes triangulaires sont reliés les uns aux autres par une arête, comme sur la Figure 4 et dans [5]. Lorsque les prismes sont repliés sur eux-mêmes, ils forment un volume dont la base est hexagonale (bouton rotatif). Lorsqu'ils sont dépliés avec une de leurs faces alignées, ils fournissent alors une face de support pour le curseur du bouton linéaire. Il est ensuite possible d'ajouter une bande extérieure (Fig. 6) pour fournir l'autre face de support. Le curseur tangible peut glisser entre les deux faces linéaires (bouton linéaire).

*Implémentation* : Nous envisageons deux façons possibles de réaliser cette idée : la première avec des moteurs, la seconde avec des électroaimants. Pour la première solution, un moteur est placé à l'intérieur de chaque prisme (sauf le dernier) pour effectuer le pliage et le dépliage d'un prisme par rapport à son voisin. Pour la seconde solution, une paire d'électro-aimants est placée à l'intérieur de chaque prisme. L'un d'eux est utilisé pour attirer le prisme voisin tandis que l'autre est utilisé pour le repousser. Le matériau utilisé pour créer la face de support pour le bouton linéaire peut fournir la tension nécessaire pour que le dispositif s'ajuste et se verrouille dans sa forme de bouton rotatif.



**Figure 6. Idée n°4 (Roly-poly). Les électroaimants attirent les prismes voisins pour transformer le dispositif en bouton rotatif (droite). Quand ils changent de polarité, le dispositif repasse en forme de bouton linéaire (gauche).**

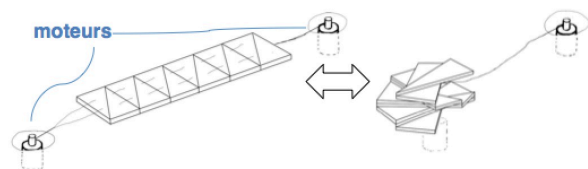
*Analyse* : Avec des moteurs pas-à-pas, le bouton rotatif et le bouton linéaire seront stables, mais pas avec des électro-aimants (R1). Les deux implémentations permettent la solidité des boutons rotatif et linéaire (R2). Le bouton linéaire pourrait avoir un axe relativement stable grâce à son poids (R3). Le dispositif bénéficie d'un curseur physique (R4) et des bosses sur la surface de support du bouton linéaire permettrait un retour haptique (R5). Le prototype est suffisamment petit pour être portable, mais la taille du bouton rotatif est assez grande si l'on utilise les moteurs disponibles dans le commerce. Nous avons mesuré environ 24cm × 4cm avec des mini-servomoteurs (R6). Par exemple nous ne pourrions pas l'utiliser sur la surface de la plupart des téléphones. L'utilisation des électroaimants, quant à elle, permettrait de proposer un dispositif plus petit. Le bouton linéaire mesure deux fois le diamètre du bouton rotatif (rapport = 0,5) (R7). L'implémentation avec moteurs est plus lente

que celle avec électro-aimants (R8). Avec des moteurs pas-à-pas, le dispositif n'est pas déformable par les utilisateurs. Par contre, il est facilement déformable avec des électroaimants (R9). La position du curseur peut être maintenue pendant la déformation (R10), mais l'automatisation du curseur ne semble pas possible (R11).

#### *Idée n°5 : Origami*

*Principe* : L'idée s'inspire d'un motif d'origami [9] où une forme rectangulaire est pliée en zigzag en suivant de petits triangles rectangles (Figure 7). La forme du bouton linéaire est un rectangle plat et celle du bouton rotatif un polygone plié. Pour approcher la forme d'un cercle pour le bouton rotatif, de nombreux plis sont nécessaires.

*Implémentation* : Plutôt qu'un matériau souple comme le papier, un matériau composite sera préféré : les couches externes contiendront des triangles rectangles rigides, la couche centrale, malléable, servira de joint flexible entre les triangles voisins. Deux câbles fins parallèles traversent chaque triangle. Pour plier le prototype en bouton rotatif, un moteur tire les deux fils simultanément, tandis que le triangle à l'extrémité inférieure est maintenu fixe sur la surface de support. Pour déplier le prototype en bouton linéaire, un autre moteur tire le triangle à l'extrémité supérieure vers sa position initiale. Il est possible d'avoir un curseur tangible qui glisse le long d'une rainure centrale (Figure 2, idée 5). Par contre, ce curseur tangible doit pouvoir s'aplatir avant la déformation en bouton rotatif pour que le prototype puisse se plier. Nous n'envisageons pas d'utiliser les SMAs pour réaliser cette idée. Il est en effet très difficile d'entraîner un SMA à se plier à 180 degrés sans machines industrielles. Le matériau n'est pas assez résistant et peut se briser.



**Figure 7. Idée n°5 (origami). Le moteur gauche tire des fils pour plier l'objet en bouton rotatif. Le moteur droit tire l'extrémité du dispositif pour le déplier en bouton linéaire.**

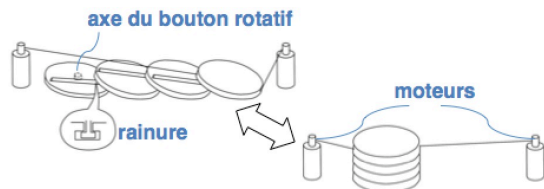
*Analyse* : Le maintien d'une alimentation électrique est nécessaire pour maintenir le bouton rotatif et le bouton linéaire dans des états stables, sinon les charnières entre les triangles sont naturellement légèrement repliées (R1). Ceci peut également être surmonté en utilisant un aimant sous la table pour maintenir en forme le bouton linéaire. Le bouton rotatif a un problème de solidité (R2): plus le matériau utilisé est épais et/ou plus il comporte de triangles, plus l'espace est grand entre les triangles repliés à l'état de bouton rotatif. Son axe de rotation est alors flexible, ce qui peut être gênant lorsqu'un degré de liberté doit être contrôlé séparément. Les boutons rotatif et linéaire auraient un axe stable en maximisant la tension des fils avec le(s) moteur(s) (R3). Un curseur physique est possible, aplati dans l'état de bouton rotatif (R4). Le retour haptique sur le curseur est gênant à cause des charnières entre les triangles. Mais des bosses disposées en cercle sur la surface de support rendrait possible le retour haptique pour le bouton rotatif (R5). La dimension



de la surface de notre prototype basse fidélité est de  $3,5 \times 11$  cm pour le bouton linéaire. Il en résulte un diamètre de 3 cm pour le bouton rotatif. Mais ce dispositif n'est pas mobile car il a besoin d'être ancré sur une surface (R6). Le rapport des tailles est de l'ordre de  $0,25 (\pi \times 1,75^2 / (3,5 \times 11))$  et peut être inférieur en diminuant la largeur du bouton linéaire (R7). La vitesse de déformation dépend du moteur (R8). Les utilisateurs peuvent déformer facilement le dispositif en tirant les fils (R9). La cohérence du curseur (R10) est fournie par l'aplatissement du curseur lorsqu'il est replié dans le bouton rotatif ou par actionnement via un moteur supplémentaire. L'automatisation du curseur est possible, mais nécessite un moteur supplémentaire (R11).

#### Idée n°6 : Disques empilables

*Principe* : Le dispositif est constitué de disques empilables formant un bouton rotatif. Sous chaque disque se trouve un ergot qui coulisse dans la rainure du disque inférieur (Fig. 8). Ceci permet de dépiler les disques en les faisant glisser pour former un bouton linéaire.



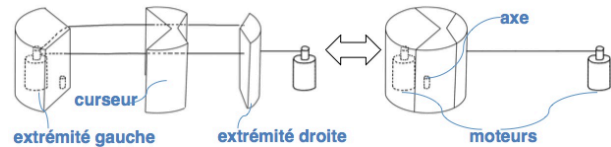
**Figure 8: Idée n°6 (disques empilables) avec moteurs. Le moteur droit tire le disque supérieur pour former le bouton linéaire (à gauche). Le moteur gauche le tire dans l'autre sens pour reformer le bouton rotatif (à droite).**

*Implémentation* : Le disque inférieur est fixé sur la surface via un axe de rotation pour permettre l'interaction avec le bouton rotatif. Afin d'empiler (dépiler) les disques, deux moteurs (Fig. 9) tirent vers la gauche (droite) le disque supérieur le long de l'axe du bouton linéaire via des câbles.

*Analyse* : Le dispositif est stable sans alimentation (R1). Le bouton rotatif est solide, mais le bouton linéaire peut fléchir lorsqu'il est touché, à cause des espaces vides sous les disques (R2). Le prototype a des axes de rotation et translation stables (R3), mais il serait difficile d'y intégrer un curseur physique (R4). Le curseur est donc tactile. Il n'y a donc pas de retour haptique pour le curseur à part les disques eux-mêmes. En revanche des bosses disposées en cercle sur la surface de support peuvent fournir un retour haptique pour le bouton rotatif (R5). Le diamètre du bouton de notre prototype est de 6 cm, et la taille du bouton linéaire est de  $20 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ . Cependant, le mécanisme d'actionnement par moteurs nécessite d'être ancré à une surface, rendant ainsi l'interface difficilement mobile (R6). Le rapport des tailles est d'environ  $0,24 \approx \pi \times 32 / (20 \times 6)$  (R7). Les rainures permettent un dépilement sur un axe mais empêchent le bouton linéaire d'être plat. Le rapport des tailles est d'environ  $1 / \text{nombre de disques}$ . La vitesse de déformation dépend des moteurs (R8). Une déformation manuelle est facile à réaliser (R9). Par contre, le curseur ne peut pas être automatisé (R11) ou même être cohérent après le dépilage des disques (R10).

#### Idée n°7 : Tyrolienne

*Principe* : L'idée est d'utiliser une pièce qui se décompose en trois morceaux. Le morceau du milieu glisse le long de câbles (Fig.9). La pièce de gauche est fixée sur la surface.



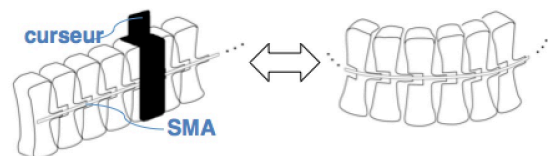
**Figure 9: Idée n°7 (tyrolienne). Le moteur tire les câbles pour effectuer la transformation en bouton rotatif. Un autre moteur déplace l'extrémité droite pour rendre le bouton linéaire.**

*Implémentation* : Le prototype peut être actionné au moyen de deux moteurs, le premier tirant l'extrémité droite du dispositif, l'extrémité gauche étant ancrée. Un moteur placé dans l'extrémité gauche sert à tirer sur le câble afin de déformer le dispositif en bouton rotatif.

*Analyse* : Le bouton rotatif est stable sans alimentation, mais le bouton linéaire nécessite un ancrage, par exemple avec un aimant sous la table pour le maintenir allongé (R1). Le bouton rotatif est rigide mais le bouton linéaire est flexible, à cause de la flexibilité des câbles (R2). Le bouton rotatif possède un axe puisque l'extrémité gauche est ancrée sur la surface (R3). Cette solution permet d'avoir un curseur physique qui est la pièce du milieu (R4). Des électroaimants supplémentaires sous la surface peuvent être utilisés pour fournir un retour haptique (R5). Le diamètre du bouton rotatif est de 3cm et la longueur du bouton linéaire peut être infinie (39 cm dans notre prototype). Par contre, parce que le dispositif doit être ancré, ceci limite la mobilité de cette solution (R6). Le dispositif a le plus petit rapport des tailles (0,06) (R7). La vitesse d'auto-déformation dépend de la vitesse des moteurs (R8). La déformation est facile à réaliser pour les utilisateurs bien qu'une attention particulière doit être portée sur le matériau des câbles pour éviter les enchevêtrements (R9). Le curseur peut maintenir sa position après déformation (R10). L'utilisation d'un second moteur à l'intérieur de la pièce centrale permettrait d'automatiser le mouvement du curseur (R11).

#### Idée n°8 : Arêtes de poisson

*Principe* : Cette idée est inspirée par un modèle d'arêtes de poisson<sup>2</sup>. Le dispositif est formé de plusieurs pièces (les arêtes) qui sont reliées aux suivantes comme dans une chaîne de vélo (Figure 10).



**Figure 10 : Idée n°8 (arêtes de poisson) avec SMAs. Lorsque le SMA est chauffé, la structure se plie.**

*Implémentation* : L'actuation peut se faire grâce à deux SMAs, l'un sur la surface intérieure de la structure pour la replier dans une forme de bouton rotatif, et l'autre sur la surface extérieure de la structure pour la déplier dans une

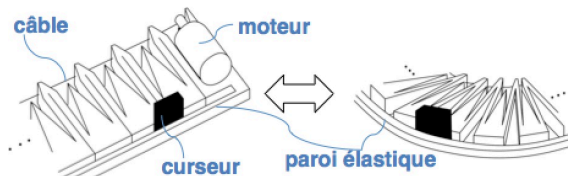
<sup>2</sup> <https://www.thingiverse.com/thing:1276095>

forme linéaire. Comme pour l'idée n°2, le curseur du bouton linéaire peut être enroulé autour de la structure et se déplacer le long de cette structure (Fig. 10).

*Analyse* : Sans alimentation le SMA se refroidit et donc perd sa forme, rendant ainsi le dispositif non stable (R1). Le dispositif est assez solide en forme de bouton rotatif, mais est très flexible dans la forme linéaire (R2). Le bouton rotatif ne possède pas d'axe stable (R3). Un curseur physique est possible (R4), et la forme des articulations peut être utilisée pour créer un retour haptique (R5). La dimension du curseur est de 1 cm × 17 cm (largeur × longueur) (R6). Le rapport des tailles est de  $1,66 \approx \pi \times 32 / (1 \times 17)$  (R7). En terme de vitesse de déformation, les SMAs prennent plus de temps que les moteurs car il est nécessaire d'attendre que le métal refroidisse (R8). Bien que la déformation manuelle soit faisable, cela peut provoquer une fatigue fonctionnelle des SMAs, les rendant inutiles après quelques utilisations (R9). Le curseur peut maintenir sa position après déformation (R10). Nous n'avons pas trouvé de solution pour automatiser le curseur du bouton linéaire (R11).

*Idée n°9 : modèle Dukta*

*Principe* : Les motifs de découpe appelés *dukta* ou *kerfing* permettent de rendre des matériaux rigides très flexibles. Par exemple ils permettent de rendre un morceau de bois pliable. En modifiant certains paramètres de ces motifs de découpe, il est possible de contrôler finement la direction et le degré de courbure de la pièce rigide, par exemple passer d'une forme rectangulaire (bouton linéaire) à un disque (bouton rotatif) comme indiqué sur la Fig. 11.



**Figure 11: Idée n°9 (motif dukta) avec un moteur. Le moteur tire le câble pour former le bouton rotatif (à droite), et le relâche pour former le bouton linéaire (à gauche).**

*Implémentation* : Un câble peut être cousu le long du côté du dispositif qui formera le centre du bouton rotatif. Un moteur à une extrémité permet de tirer sur le câble pour déformer la structure en disque (Fig. 11). Un curseur physique peut se déplacer sur l'autre côté du dispositif.

*Analyse* : Le bouton rotatif n'est pas stable car la structure garde la forme d'un disque uniquement lorsque le moteur est alimenté (R1). Cette solution manque de solidité car la structure est relativement mince et peut être facilement déformée ou cassée par l'utilisateur (R2). Le bouton rotatif n'a pas d'axe stable (R3) mais le curseur du bouton linéaire est physique (R4) et permet l'addition de retour haptique (R5). La taille du curseur est de 3 cm × 19 cm, ce qui permet une grande mobilité, en particulier car le moteur peut être directement placé sur la structure (R6). Le rapport des tailles (R7) de notre prototype est d'environ  $0,88 \approx \pi \times 42 / (3 \times 19)$ . La vitesse de déformation dépend de la vitesse du moteur (R8). La déformation manuelle par l'utilisateur est possible (R9). Le curseur physique garde sa valeur pendant les

transformations (R10). Aucune méthode d'automatisation simple du curseur n'a été trouvée (R11).

#### Étape 4: Résumé et sélection de la meilleure approche

Chacun des prototypes présentés précédemment possède des avantages et des inconvénients relatifs à notre liste d'exigences. Cependant certaines exigences sont plus importantes que d'autres et doivent avoir la priorité. Notamment dans notre enquête contextuelle, nous avons confirmé que le manque de mobilité force nos participants à utiliser des interfaces non tangibles. La *Taille* (R6) et le *Rapport des tailles* (R7) sont donc des exigences très importantes afin de permettre une grande mobilité. La *Stabilité sans alimentation* (R1), la *Solidité* (R2) et la *Stabilité de l'axe* (R3) sont elles-aussi essentielles pour fournir aux utilisateurs un contrôle précis pour les valeurs des boutons. L'*Automatisation du curseur* (R11) et la présence de *Retour haptique* (R5) sont des exigences intéressantes également car les consoles de mixage actuelles ont de telles caractéristiques. Nous pensons aussi que la présence d'un *Curseur physique* (R4) est une condition nécessaire, ceci afin d'offrir un contrôle tangible. Enfin la *Vitesse d'auto-déformation* (R8) est une autre condition importante pour assurer la même rapidité de transformation que dans les interfaces graphiques. Comme le montre le tableau 1, avec ou sans ajouter un poids aux exigences décrites juste avant, deux solutions se démarquent: les idées n°4 (Roly-poly) et n°7 (Tyrolienne). Nous pensons que ces solutions sont les plus intéressantes et les étudierons plus en détail dans nos futures recherches.

#### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté les résultats d'entretiens contextuels qui montrent un besoin de plus de flexibilité et tangibilité avec les boutons rotatifs et linéaires. Pour répondre à ce problème nous avons proposé le concept de *KnobSlider*, un dispositif tangible qui peut se transformer en bouton rotatif ou bouton linéaire à volonté lorsque l'utilisateur en a besoin. Nous avons ensuite construit 9 prototypes basse fidélité de *KnobSlider*, proposé des solutions d'implémentation, et avons identifié un ensemble de 11 exigences permettant d'analyser ces solutions et de sélectionner les candidats prometteurs pour réaliser un dispositif de haute fidélité. Cette expérience de conception pourra inspirer et être réutilisée dans de futures recherches.

Nous prévoyons de construire des prototypes de haute qualité afin de déterminer leurs avantages pour nos utilisateurs cibles. Nous prévoyons d'utiliser nos prototypes de haute fidélité en tant que sondes auprès de nos six utilisateurs cibles, afin de provoquer leur réaction et étudier leur utilisation dans des contextes écologiques réels.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ANR (ANR-11-EQPX-0002, ANR-15-CE23-0011-01), fabMSTIC. Une bourse Leverhulme Trust Early Career Fellowship a financé une partie de ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Alan F Blackwell and Darren Edge. 2009. Articulating tangible interfaces. ACM TEI'09, New York, New York, USA. <http://doi.org/10.1145/1517664.1517693>
2. Liwei Chan, Stefanie Müller, Anne Roudaut, and Patrick Baudisch. 2012. CapStones and ZebraWidgets: sensing stacks of building blocks, dials and sliders on capacitive touch screens. ACM CHI'12, 2189–2192. <http://doi.org/10.1145/2207676.2208371>
3. Céline Coutrix and Cédric Masclet. 2015. Shape-Change for Zoomable TUIs: Opportunities and Limits of a Resizable Slider. INTERACT 2015, 349–366. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6\\_27](http://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_27)
4. Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. 2013. inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. ACM UIST'13, 417–426. <http://doi.org/10.1145/2501988.2502032>
5. Johanna Fulda, Pieter Tierens, Teemu Mäntyharju, and Thomas Wimmer. 2014. Raising user impulse awareness: the sensitive rolypoly. ACM TEI '14, 347–348. <http://dx.doi.org.gate6.inist.fr/10.1145/2540930.2555205>
6. Steven Gelineck and Stefania Serafin. 2009. A Quantitative Evaluation of the Differences between Knobs and Sliders. ACM NIME'09, 13–18.
7. Fabian Hemmert, Gesche Joost, André Knörig, and Reto Wettach. 2008. Dynamic knobs: shape change as a means of interaction on a mobile phone. CHI EA '08: 2309–2314. <http://doi.org/10.1145/1358628.1358675>
8. Karen Holtzblatt, Jessamyn Burns Wendell, and Shelley Wood. 2004. Rapid Contextual Design: A How-to Guide to Key Techniques for User-Centered Design. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
9. Jackson, Paul. Cut and fold techniques for promotional materials. Laurence King Publ., 2013.
10. Yvonne Jansen, Pierre Dragicevic, and Jean-Daniel Fekete. 2012. Tangible remote controllers for wall-size displays. ACM CHI'12, 2865–2874. <http://doi.org/10.1145/2207676.2208691>
11. Yvonne Jansen, Thorsten Karrer, Jan Borchers. 2010. MudPad: tactile feedback and haptic texture overlay for touch surfaces. ACM ITS '10, 11–14.
12. Seoktae Kim, Hyunjung Kim, Boram Lee, Tek-Jin Nam, and Woohun Lee. 2008. Inflatable mouse: volume-adjustable mouse with air-pressure-sensitive input and haptic feedback. ACM CHI'08, 211. <http://doi.org/10.1145/1357054.1357090>
13. Daniel Leithinger, Sean Follmer, Alex Olwal, Samuel Luescher, Akimitsu Hogge, Jinha Lee, Hiroshi Ishii. 2013. Sublimate: state-changing virtual and physical rendering to augment interaction with shape displays. CHI '13, 1441–1450.
14. Martinez, R. V., Fish, C. R., Chen, X., & Whitesides, G. M. (2012). Elastomeric Origami: Programmable Paper-Elastomer Composites as Pneumatic Actuators. *Advanced Functional Materials*, 22(7), 1376–1384. <http://doi.org/10.1002/adfm.201102978>.
15. G Michelitsch, J Williams, M Osen, B Jimenez, and S Rapp. 2004. Haptic chameleon: a new concept of shape-changing user interface controls with force feedback. ACM EA'04, 1305–1308. <http://doi.org/10.1145/985921.986050>
16. Simon Olberding, Sergio Soto Ortega, Klaus Hildebrandt, and Jürgen Steimle. 2015. Foldio: Digital Fabrication of Interactive and Shape-Changing Objects With Foldable Printed Electronics. In Proceedings of the 28th Annual ACM UIST '15, 223–232. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2807442.2807494>
17. E W Pedersen and K Hornbæk. 2011. Tangible bots: interaction with active tangibles in tabletop interfaces. ACM CHI '11. <http://doi.org/10.1145/1978942.1979384>
18. R Ramakers, J Schöning, and K Luyten. 2014. Paddle: highly deformable mobile devices with physical controls. ACM Press, 2569–2578. <http://doi.org/10.1145/2556288.2557340>
19. Majken K. Rasmussen, Esben W. Pedersen, Marianne G. Petersen, and Kasper Hornbæk. 2012. Shape-Changing Interfaces: A Review of the Design Space and Open Research Questions. CHI '12, 735–744.
20. Simon Robinson, Céline Coutrix, Jennifer Pearson, et al. 2016. Emergeables: Deformable Displays for Continuous Eyes-Free Mobile Interaction. ACM CHI'16, 3793–3805. <http://doi.org/10.1145/2858036.2858097>
21. Anne Roudaut, Abhijit Karnik, Markus Löchtefeld, and Sriram Subramanian. 2013. Morphees: toward high “shape resolution” in self-actuated flexible mobile devices. ACM CHI '13, 593–602.
22. Miriam Sturdee, John Hardy, Nick Dunn, and Jason Alexander. 2015. A Public Ideation of Shape-Changing Applications. ACM ITS '15, 219–228.
23. Jonas Togler, Fabian Hemmert and Reto Wettach.. Living interfaces: the thrifty faucet. TEI '09, 43–44.
24. Jessica Tsimeris, Colin Dedman, Michael Broughton, and Tom Gedeon. 2013. ForceForm: a dynamically deformable interactive surface. ACM ITS'13, 175–178. <http://doi.org/10.1145/2512349.2512807>
25. Marynel Vázquez, Eric Brockmeyer, Ruta Desai, Chris Harrison, and Scott E Hudson. 2015. 3D Printing Pneumatic Device Controls with Variable Activation Force Capabilities. ACM CHI'15, 1295–1304. <http://doi.org/10.1145/2702123.2702569>
26. Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, et al. 2009. SLAP widgets: bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. ACM CHI'09, 481–490. <http://doi.org/10.1145/1518701.1518779>
27. Lining Yao, Ryuma Niiyama, Jifei Ou, Sean Follmer, Clark D. Silva and Hiroshi Ishii. 2013. PneuUI: pneumatically actuated soft composite materials for shape changing interfaces. UIST '13, 13–22.
28. Ivan E. Sutherland. 1963. *Sketchpad, a Man-Machine Graphical Communication System*. Ph.D

Dissertation. Massachusetts Institute of Technology,  
Cambridge, MA.

29. Langdon Winner. 1999. Do artifacts have politics? In  
*The Social Shaping of Technology* (2nd. ed.), Donald

MacKenzie and Judy Wajcman (eds.). Open  
University Press, Buckingham, UK, 28-40.