



HAL
open science

Classifier les interfaces tangibles par la cladistique : critères et fiches pour un inventaire collaboratif

Stéphanie Fleck, Guillaume Rivière, Regina Ticona-Herrera, Nadine Couture

► **To cite this version:**

Stéphanie Fleck, Guillaume Rivière, Regina Ticona-Herrera, Nadine Couture. Classifier les interfaces tangibles par la cladistique : critères et fiches pour un inventaire collaboratif. IHM 2018 Travaux en cours, 30e conférence francophone sur l'interaction homme-machine, Oct 2018, Brest, France. 10.1145/3286689.3286705 . hal-01899207

HAL Id: hal-01899207

<https://hal.science/hal-01899207>

Submitted on 19 Oct 2018

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

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

Classifier les interfaces tangibles par la cladistique : critères et fiches pour un inventaire collaboratif

Stéphanie Fleck*

Université de Lorraine,
PERSEUS
F-57045, Metz, France
stephanie.fleck@univ-lorraine.fr

Regina Ticona-Herrera

Universidad Católica San Pablo
Arequipa, Perú
rticona@ucsp.edu.pe

* Co-premier auteur, contribution à part égale.

Résumé

Les interfaces utilisateur tangibles sont de formes variées et leur conception est souvent dédiée et unique. Les spécimens se multiplient et cerner le contour des possibles est aujourd'hui difficile. Or, les approches d'innovation dite ouverte demandent d'identifier et d'être inspiré par des solutions antérieures. En considérant la filiation entre les systèmes technologiques, nous reprenons une méthode de classification systématique issue de la biologie pour l'appliquer en IHM : la classification cladistique. Le but est de proposer une approche originale pour caractériser la diversité des interfaces tangibles. Cet article présente notre démarche pour établir une liste de critères et le développement d'une application web pour un inventaire collaboratif.

Mots Clés

Interfaces Utilisateur Tangibles ; Classification ; Cladistique.

Abstract

Tangible user interfaces take various forms : their design is often unique. As the number of systems is increasing, as understanding the whole becomes difficult. Yet, open innovation approaches require identifying and being inspired by previous solutions. By taking into account

Guillaume Rivière*

Université de Bordeaux, ESTIA,
LaBRI, UMR 5800
F-64210, Bidart, France
g.riviere@estia.fr

Nadine Couture

Université de Bordeaux, ESTIA,
LaBRI, UMR 5800
F-64210, Bidart, France
n.couture@estia.fr

the line of descent of technological systems, we use a classification method from biology in HCI : the cladistic classification. The aim is to develop an original approach to characterize the variety of tangible interfaces. This paper presents our approach to develop a list of criteria and to develop a web application for the purpose of a collaborative inventory.

Author Keywords

Tangible User Interfaces; Classification; Cladistics.

CCS Concepts

Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → *HCI theory, concepts and model*

Introduction

Les premiers travaux en IHM engagés dans le courant des années 1990 cherchant à contrôler des données numériques via une représentation dans le monde physique [9,13] font émerger le concept d'interface utilisateur tangible (TUI) en 1997 [15]. Ce concept qualifie des interfaces qui donnent une forme physique à une information numérique par le biais d'objets fabriqués (c.-à-d., des artefacts) incarnant la représentation et le contrôle de la donnée pour faciliter la médiation de l'information numérique [32]. Depuis lors, des dizaines de TUIs sont créées chaque année. Le laboratoire le plus prolifique sur ce point est certainement le TMG¹ qui, par exemple, a produit en moyenne 8 nouvelles interfaces utilisateur tangibles chaque année entre 1995 et mi-2018 (soit 180 sur 22,5 années ; voir histogramme figure 1) de formes et d'applications variées (voir frise figure 2). Dès 1998, de nouvelles typologies de TUIs dites ambiantes ont ouvert la définition première au-delà des seuls objets manipulables [34]. Ainsi, de par la diversité de leurs propriétés (ex. :

manipulable [2], incarnante [10], métaphorique [28], collaborative [21], ou encore avec actuation [4]), les TUIs offrent des potentialités de créativité et d'innovation fortes, tant en termes de conception d'interfaces nouvelles que de nouveaux types d'interactions. Cela rend également possibles des usages dans des domaines d'application très variés [2,4,10–12,21,28]. Il convient également de remarquer que le développement d'interfaces tangibles relève dans la grande majorité des cas d'une conception dédiée (*special purpose input device*). De plus, le contrôle et la représentation des données sont généralement adaptés à chaque situation. La diversité de ce type d'interface est donc croissante. Le paysage des TUIs en forte évolution devient par conséquent de plus en plus difficilement cernable : ceci génère des difficultés pour les chercheurs et les concepteurs pour identifier les caractères communs de ces interfaces. Quelques exemples réutilisent cependant la même plateforme : AudioPad [27], IP Network Design Workbench [18] et Disaster Simulation [19] sont construits sur le système SenseTable [26] ; ou encore, le système TangiSense [20] utilisé pour le développement d'applications variées [12,21]. Des efforts pour uniformiser les techniques d'interaction tangibles par des conventions sont proposés [31,33], mais ces conventions n'ont pas trouvé d'écho dans la communauté.

Or, que ce soit en recherche ou en développement, caractériser l'originalité d'une interface nouvellement conçue demande 1) d'identifier les solutions antérieures, et 2) d'en caractériser sa singularité comparativement. De plus, si l'on s'inscrit dans une approche de l'innovation dite ouverte, innover demande d'identifier, d'être inspiré par des solutions antérieures favorables à la conception de nouvelles générations d'interfaces². De plus, l'innovation

2. Des chercheurs, par exemple, créent spontanément et partagent des collections de systèmes interactifs : sur les interfaces tactiles

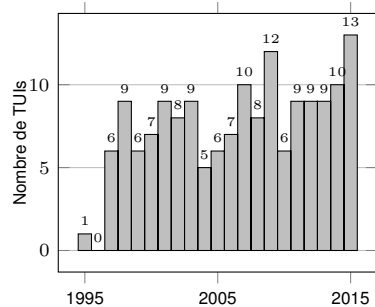


Figure 1: Sur 20 années, le Tangible Media Group a produit à lui seul 159 prototypes, soit 8/an en moyenne.

1. Tangible Media Group, Massachusetts Institute of Technology.

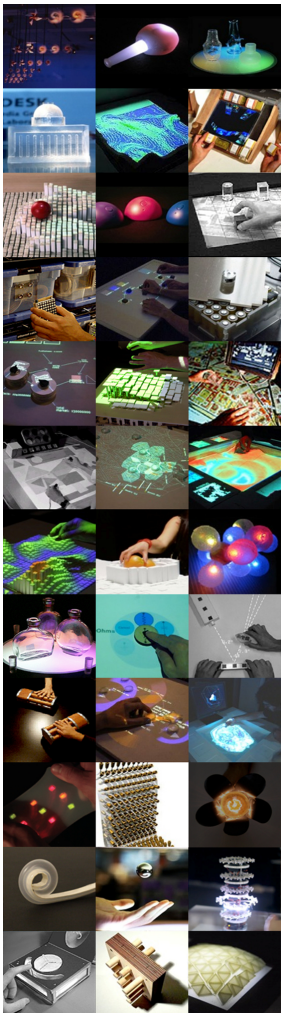


Figure 2: Frise de 36 des interfaces tangibles produites depuis 1995 par le Tangible Media Group au MIT.

peut se fonder sur des approches collaboratives, participatives, et l'exploration de tout ou partie des connaissances, des méthodes, et des technologies produites par d'autres.

Forts de ces constats, la constitution d'une base de données recensant la diversité des interfaces existantes et pouvant être mise au service des recherches axées sur la conception de nouvelles générations de TUIs serait un formidable outil. Dans cette perspective, cet article expose les fondements méthodologiques qui font l'originalité de l'approche choisie, ainsi que les premiers éléments de la conception, actuellement en cours, de la solution retenue.

Contexte

L'originalité de l'approche proposée ici repose sur l'utilisation de méthodes (et non de théories) conçues initialement pour l'identification et la classification du vivant : la classification systématique ou classification cladistique.

Notre choix se fonde sur le fait que les développements technologiques, auxquels les TUIs ne semblent pas faire exception, répondent en de nombreux points au concept d'évolution (qui ne doit pas ici être confondu avec les notions de progrès ou d'évolutionnisme) : c'est-à-dire qu'une technologie évolue (dans ses constituants techniques, esthétiques, ou ses usages) dès lors qu'elle suit un ensemble de modifications graduelles plus ou moins cumulatives, par héritage de développements antérieurs ou par l'intégration d'un caractère nouveau. Le plus souvent généré par les avancées scientifiques

multipoints : <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html> ; sur les tables interactives : http://www.guillaumeriviere.name/collection/tangible_tabletop.html ; sur les visualisations physiques de données : <http://dataphys.org/list/> ; sur les objets reconfigurables : <http://phyflex.imag.fr/EverydayObjects.html>.

ou des besoins, ce processus d'évolution conduit parfois à l'émergence de systèmes dits de nouvelle génération ou à des systèmes hybrides. Ici des similitudes (de constituants, de métaphore, ou de fonctionnalités) peuvent donc témoigner d'une descendance avec une technologie antérieure. Parfois, on observe également l'émergence de systèmes en rupture avec les générations présentes, sortes de nouvelles « espèces » technologiques, que l'on qualifie alors d'inventions.

C'est lors de l'atelier « Interaction Tangible » pendant la conférence IHM'13 à Bordeaux, que l'idée de cette approche est née. De nombreux échanges ont porté sur ce qu'est (ou non) une TUI, faisant ainsi écho aux difficultés liées au paysage des TUIs en pleine évolution (exposé ci-avant). Ce type de débats, auxquels les auteurs de cet article ont très souvent été confrontés, évoque par de nombreux aspects les débats qui ont animés les biologistes concernant la classification des espèces. Suite au développement des théories de l'évolution à partir des travaux de Lamarck et Darwin, la classification des espèces jusqu'alors basée sur la méthode de classification comparative dite classique, fut elle aussi l'objet de vifs débats au XIX^e siècle, et ce jusque dans les années 1960/80. Notamment, en raison du fait que l'approche dite classique de la classification, regroupant des sujets sur le seul fait qu'ils possèdent des similarités morphologiques, génère parfois des « faux positifs ». Ainsi, des individus ayant des caractères morphologiques semblables (ex. : la présence de nageoires ou d'ailes) peuvent avoir des origines différentes. Or, les liens de parentés entre les individus (c.-à-d., leur phylogénèse), conditionnent le degré de proximité entre sujets. L'approche par classification cladistique, proposée par Hennig à partir des années 1950, puis par Wagner en 1961, a permis de rationaliser ces débats en adoptant une approche systématique. Nous

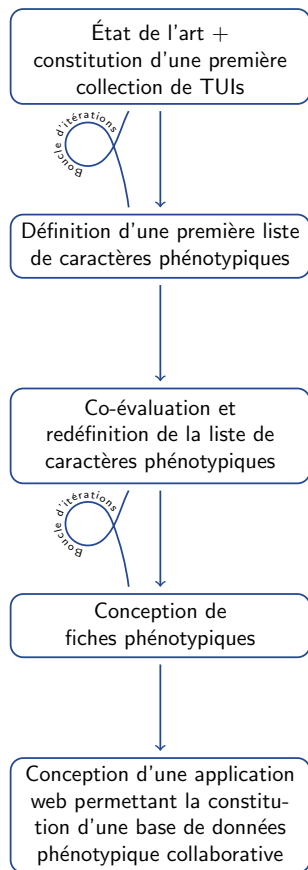


Figure 3: Schématisation des processus suivis pour la conception de la base de données systématique.

pensons qu'une telle approche, s'inscrivant au-delà des classifications existantes, aidera la communauté.

Il est important de noter que la classification cladistique n'est pas exclusivement employée en biologie. Par exemple, cette méthode a été utilisée par D'Huy et Le Quellec [6] pour reconstruire l'évolution des mythes de l'humanité. La pertinence de l'utilisation de l'approche cladistique repose ici sur le principe de « descendance modifiée » selon lequel la transmission des mythes est altérée par de légères variations lors de la répétition d'une génération à une autre. La cladistique trouve des applications dans des domaines aussi divers qu'en histoire biogéographique [5], en archéologie [16,23] ou encore pour analyser le degré d'invention porté par un brevet [17].

Classer des espèces ou des artefacts selon cette approche, vise à établir des regroupements sur la base non seulement d'un attribut donné partagé en considérant les caractères des sujets, mais aussi d'une causalité sous-jacente. Les caractères communs à une population doivent ainsi correspondre à une innovation sur le plan de l'évolution pour caractériser un groupe.

Vers la classification cladistique des TUIs

La classification cladistique permet de générer des cladogrammes. Un cladogramme est un graphe particulier, appelé hiérarchie en mathématiques. On peut le voir comme un emboîtement de classes, où tous les éléments d'une classe partagent en exclusivité une même nouveauté évolutive (nouveau critère ou état évolué d'un critère). Au sens phylogénétique, une classe est un taxon.

Différents arbres peuvent être construits selon les critères choisis et la priorité donnée à ces critères. En considérant que l'évolution est progressive, l'arbre d'évolution le plus probable sera celui impliquant le moins de changements

(principe de parcimonie). L'avantage d'avoir de multiples classifications, en générant différents arbres, sera que chacun puisse porter différents regards sur une collection de TUIs (p. ex., un regard portant plus sur la technologie ou plus sur les usages).

Il est important de noter que cette approche systématique est indissociable d'une approche descriptive des sujets à classer et l'établissement de règles (c.-à-d., une taxonomie) permettant de regrouper les sujets en taxons. Un taxon étant une entité conceptuelle, d'échelle variable, qui regroupe tous les sujets possédant certains caractères communs bien définis permettant une distinction même avec leurs plus proches parents. Les caractères sont ici définissables à toutes les échelles, macroscopiques comme microscopiques, et peuvent être intrinsèques (ex. : anatomie, constituants électroniques) ou extrinsèques (ex. : environnement, contexte d'usage).

Démarche appliquée aux TUIs

Ainsi, la première étape mise en œuvre dans le cadre de cette étude a consisté en l'identification et la définition de ces caractères dits phénotypiques, à savoir tout élément observable sur des interfaces tangibles. Pour un organisme vivant, un caractère phénotypique correspond, par exemple, à un de ses aspects anatomique, physiologique, moléculaire, comportemental ou encore à l'environnement qu'il occupe. De nombreux cadres et critères différents ont été proposés pour catégoriser les TUIs. [9] ont initialement proposé un espace de conception de 13 critères pour décrire les interfaces palpables : deux propriétés³ en ont fait l'objet de travaux ultérieurs [3,8]. [7] est l'un des premiers à proposer une forme de taxonomie avec

3. Les deux propriétés sont la supériorité du multiplexage dans l'espace et la supériorité des formes spécialisées lors de tâches complexes.

l'intention d'unifier des cadres déjà proposés, en analysant les TUIs selon deux critères⁴. Les applications des TUIs ont elles-mêmes été catégorisées en huit genres⁵ [14]. Enfin, une cartographie de 22 cadres [24] et un état de l'art des cadres et des taxonomies [30, chap. 5] listent et comparent les différentes approches. Bien qu'aucune de ces approches ne propose de réelle classification, elles exposent des règles sur la base d'exemples servant à illustrer les cadres conceptuels proposés. Cet état de l'art exposant des propositions de critérisation a ainsi servi de fondation à ce travail de définition des axes de caractérisation des TUIs.

*P : nombre de participants. **I : nombre d'interfaces proposées.

Atelier	Fiches	P*	I**
IHM'15	Papier	8	4
IHM'16	Wiki	12	12
ETIS'17	Appli. web	8	30
IHM'17	Appli. web	5	30

Tableau 1: Les quatre ateliers organisés entre 2015 et 2017.

Dans un deuxième temps, une première collection de TUIs considérée comme hétérogène, mais non-exhaustive, a été établie⁶. Elle a servi de population de base sur laquelle établir une catégorisation des éléments observables et pouvant servir de caractères phénotypiques.

Un prototype de fiche phénotypique type a ainsi pu être élaboré. Cette fiche comportait quatre grandes familles de catégories :

1. Éléments participant à la description de l'interface elle-même : concernent ce qui constitue l'interface depuis les éléments physiques et technologiques voire la morphologie de l'interface.
2. Éléments participant à la description des spécificités tangibles : concernent ce qui définit le ou les

4. Les deux critères sont métaphore (5 degrés) et incarnation (4 degrés).

5. Les huit genres d'application sont la téléprésence, la mémoire cinétique, les assemblages constructifs, les jetons et contraintes, les surfaces interactives, les formes malléables, l'augmentation d'objets du quotidien, la médiation ambiante.

6. Collection initiale de cinq TUIs : Nimio [1], GeoTUI [3], PapARt [22], PICO [25], ArcheoTUI [29] et PinWheels [34]

caractères tangibles de l'interface (ex. : la nature de la métaphore).

3. Éléments participant à la description de l'expérience utilisateur : concernent notamment l'identification du ou des utilisateurs ciblés, le ou les comportements permis par l'interface avec l'utilisateur.
4. Éléments participant à la description des origines connues, possibles et éléments de rupture : concernent ce qui permet d'établir la filiation de l'interface (p. ex., auteur(s), publications reliées, influences possibles).

La collection ayant servi de base peut être non représentative de la totalité des disparités observables au sein de la famille des TUIs, ou des familles de TUIs. Dans un troisième temps, il a donc été nécessaire 1) de faire évaluer les choix effectués face aux grandes catégories de caractères et à leur dénomination ; 2) d'élargir la collection première pour valider la caractérisation proposée. Pour ce faire, nous avons suivi un processus méthodique et itératif (illustré figure 3), invoquant les principes d'innovation ouverte en nous appuyant sur la communauté IHM francophone puis internationale (voir tableau 1).

En octobre 2015, pendant IHM'15 à Toulouse, les chercheurs de l'atelier « Interaction Tangible » ont rempli, corrigé et annoté à la main des prototypes de fiches phénotypiques imprimées sur papier. Organisés en binômes, les chercheurs devaient choisir au moins deux interfaces proposées, avec la possibilité de faire des recherches par Internet, pour renseigner la fiche fournie. Lors d'IHM'16 à Fribourg, nous avons réitéré le travail d'évaluation avec une version Wiki⁷ intégrant les

7. <https://tangibleuserinterfaces.wikispaces.com> (service interrompu au 31/07/2018)

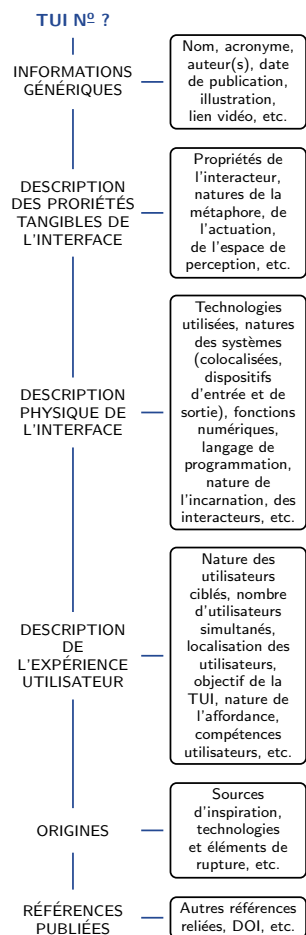


Figure 4: Arborescence d'une fiche phénotypique type.

propositions de modifications antérieurement proposées. Enfin, une version alpha d'application web⁸ (développée en Java Tomcat et MongoDB) a été testée à ETIS'17 à Luxembourg et à IHM'17 à Poitiers.

Premiers résultats

Les travaux participatifs menés ont permis la validation des quatre grandes familles de catégories retenues, aucune proposition de catégories nouvelles n'ayant été formulée. Ces travaux ont également permis de tester la première version de l'application web et des grandes lignes de son arborescence phénotypique en six rubriques reprenant les éléments des quatre grandes catégories (voir figure 4). Il apparaît cependant important de compléter les caractères descriptifs des technologies intégrées dans l'interface, et notamment leurs versions, ce en vue d'augmenter l'ajout d'éléments indicateurs de filiation. De plus, les retours fournis lors de ETIS'17 et IHM'17 indiquent la nécessité d'améliorer l'expérience utilisateur-contributeur de l'application web proposée avant de passer à un bêta-test. En particulier, les dénominations des caractères phénotypiques sont parfois difficilement compréhensibles des contributeurs, et plus particulièrement dès lors que ces derniers sont novices vis-à-vis des TUIs. L'objectif étant de faciliter l'établissement d'une base de données étoffée, la suite immédiate des travaux se concentrera donc sur l'amélioration de l'expérience utilisateur-contributeur selon deux axes principaux :

1. Raffinage des fiches en ligne :
 - reformulation des étiquettes des champs à renseigner ;

- ajout de caractères liés aux versions des éléments technologiques intégrés dans l'interface ;

2. Intégration d'éléments d'ergonomie d'UX :

- intégration de tutoriels permettant aux utilisateurs novices de renseigner simplement les fiches ;
- intégrations d'éléments de ludification et de psychologie persuasive pour augmenter la motivation et l'engagement des utilisateurs de l'application web.

Enfin, il est important de noter qu'un grand nombre des contributeurs alpha-testeurs a mis en avant l'aspect formatif de devoir rechercher et comprendre les éléments caractéristiques des TUIs pour renseigner au mieux une fiche phénotypique. Ce point semble indiquer un second intérêt non envisagé initialement en formation en IHM.

Conclusion et travaux à venir

L'ambition des travaux en cours présentés dans cet article, vise à proposer à terme : (1) une clé de détermination des éléments facilitant l'identification de ce qui constitue et caractérise les interfaces tangibles elles-mêmes ; (2) d'aider à l'identification de familles d'interfaces, des taxons, selon des critères choisis par le concepteur ou le chercheur ; (3) des indicateurs de classification, dite phylogénétique, favorables à la caractérisation de la filiation des interfaces ; trois éléments que nous considérons comme des leviers d'innovation.

Bibliographie

- [1] Johanna Brewer, Amanda Williams, and Paul Dourish. 2007. A Handle on What's Going on : Combining Tangible Interfaces and Ambient Displays

8. <http://tuic.estia.fr> (voir captures d'écran en annexes)

- for Collaborative Groups. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '07)*. ACM, New York, NY, USA, 3–10. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1226969.1226971>
- [2] Nadine Couture and Guillaume Rivière. 2007. Etude d'interacteurs pour la sélection d'une ligne de coupe depuis une carte. In *Actes de la 29e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM '07)*. ACM, New York, NY, USA, 299–302. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1541436.1541498>
- [3] Nadine Couture, Guillaume Rivière, and Patrick Reuter. 2008. GeoTUI : A Tangible User Interface for Geoscience. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)*. ACM, New York, NY, USA, 89–96. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1347390.1347411>
- [4] Maxime Daniel, Guillaume Rivière, and Nadine Couture. 2017. Études préliminaires à la conception de CAIRNS : une interface tangible ambiante pour décaler la demande en énergie au travail. In *29e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM (Ed.)*. 12 p. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/3132129.3132152> TEC - Travaux en Cours.
- [5] Marcio B. DaSilva, Ricardo Pinto-da-Rocha, and Juan J. Morrone. 2017. Historical relationships of areas of endemism of the Brazilian Atlantic rain forest : a cladistic biogeographic analysis of harvestman taxa (Arachnida : Opiliones). *Current Zoology* 63, 5 (2017), 525–535. DOI : <http://dx.doi.org/10.1093/cz/zow092>
- [6] Julien D'Huy and Jean-Loïc Le Quellec. 2014. Comment reconstruire la préhistoire des mythes ? Applications d'outils phylogénétiques à une tradition orale. In *Apparenter la pensée ? Saisir l'évolution et la phylogénie des concepts savants*, Guillaume Lecointre Pascal Charbonnat, Mahé Ben Hamed (Ed.). Editions Matériologiques, Chapter 3, 145–186.
- [7] Kenneth P. Fishkin. 2004. A Taxonomy for and Analysis of Tangible Interfaces. *Personal Ubiquitous Comput.* 8, 5 (Sept. 2004), 347–358. DOI : <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-004-0297-4>
- [8] 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)*. ACM, New York, NY, USA, 43–50. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/258549.258578>
- [9] George W. Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William A. S. 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., New York, NY, USA, 442–449. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/223904.223964>
- [10] Stéphanie Fleck, Charlotte Baraudon, Jérémy Frey, Thibault Lainé, and Martin Hachet. 2017. « Teegi, il est trop beau » : Exemple d'évaluation du potentiel pédagogique d'une interface tangible interactive pour enfants en contexte scolaire. In *29e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM (Ed.)*. ACM, New York, NY, USA, 12 p. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/3132129.3132143>
- [11] Ludovic Garreau, Jérémy Legardeur, and Nadine Couture. 2005. Une plateforme basée sur les interfaces tangibles pour l'assemblage en CFAO. *Revue internationale d'ingénierie numérique (RIIN'05)* 1, 2 (2005), 133–148.

- [12] Clémentine Havrez, Sophie Lepreux, Christophe Kolski, and Yoann Lebrun. 2014. Mise en application d'un modèle de conception pour les TUI avec un Serious Game. In *Actes complémentaires de la 14e conférence sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée*. 8–10.
- [13] Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goble, and Neal F. Kassell. 1994. Passive Real-world Interface Props for Neurosurgical Visualization. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '94)*. ACM, New York, NY, USA, 452–458. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/191666.191821>
- [14] Hiroshi Ishii. 2008. Tangible Bits : Beyond Pixels. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI '08)*. ACM, New York, NY, USA, xv–xxv. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1347390.1347392>
- [15] 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)*. ACM, New York, NY, USA, 234–241. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/258549.258715>
- [16] Thomas A. Jennings and Michael R. Waters. 2014. Pre-Clovis Lithic Technology at the Debra L. Friedkin Site, Texas : Comparisons to Clovis through Site-Level Behavior, Technological Trait-List, and Cladistic Analyses. *American Antiquity* 79, 1 (2014), 25–44. DOI : <http://dx.doi.org/10.7183/0002-7316.79.1.25>
- [17] Guy R. Beretich Jr. and Jinan Glasgow. 2016. Methods and systems for technology analysis and mapping. (Nov. 2016). US Patent 9,483,551 B2.
- [18] Kazue Kobayashi, Mitsunori Hirano, Atsunobu Narita, and Hiroshi Ishii. 2003. A Tangible Interface for IP Network Simulation. In *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '03)*. ACM, New York, NY, USA, 800–801. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/765891.766000>
- [19] Kazue Kobayashi, Atsunobu Narita, Mitsunori Hirano, Ichiro Kase, Shinetsu Tsuchida, Takaharu Omi, Tatsuhito Kakizaki, and Takuma Hosokawa. 2006. Collaborative Simulation Interface for Planning Disaster Measures. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06)*. ACM, New York, NY, USA, 977–982. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1125451.1125639>
- [20] 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 *Actes de la 21e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine. (IHM '09)*. ACM, New York, NY, USA, 351–354. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1629826.1629885>
- [21] Sébastien Kubicki, Denis Pasco, Charlotte Hoareau, and Ingrid Arnaud. 2016. Utilisation d'une table interactive avec objets tangibles pour apprendre à l'école : études empiriques en milieu écologique. In *Actes de la 28e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM '16)*. ACM, New York, NY, USA, 155–166. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/3004107.3004120>
- [22] Jérémy Laviolle and Martin Hachet. 2012. PapARt : interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation. In *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. IEEE, 3–6. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184167>
- [23] Christopher Lowry. 2017. *Tracing Ainu and Pre-Ainu Cultural Continuity Through Cladistic Analysis of Faunal Assemblages*. Master's thesis. Central Washington University, USA.

- [24] Ali Mazalek and Elise van den Hoven. 2009. Framing Tangible Interaction Frameworks. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.* 23, 3 (Aug. 2009), 225–235. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0890060409000201>
- [25] James Patten and Hiroshi Ishii. 2007. Mechanical Constraints As Computational Constraints in Tabletop Tangible Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '07)*. ACM, New York, NY, USA, 809–818. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1240624.1240746>
- [26] James Patten, Hiroshi Ishii, Jim Hines, and Gian Pangaro. 2001. Sensetable : A Wireless Object Tracking Platform for Tangible User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '01)*. ACM, New York, NY, USA, 253–260. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/365024.365112>
- [27] James Patten, Ben Recht, and Hiroshi Ishii. 2002. Audiopad : A Tag-based Interface for Musical Performance. In *Proceedings of the 2002 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME '02)*. National University of Singapore, Singapore, Singapore, 1–6.
- [28] Patrick Reuter, Nadine Couture, and Guillaume Rivière. 2008. ArcheoTUI. In *Actes de la 20e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'08)*. ACM, New York, NY, USA, 221–222. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1512714.1512761>
- [29] P. Reuter, G. Rivière, N. Couture, N. Sorraing, L. Espinasse, and R. Vergnieux. 2007. ArcheoTUI - a Tangible User Interface for the Virtual Reassembly of Fractured Archeological Objects. In *Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (VAST'07)*. Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, 15–22. DOI: <http://dx.doi.org/10.2312/VAST/VAST07/015-022>
- [30] Orit Shaer and Eva Hornecker. 2010. Tangible User Interfaces : Past, Present, and Future Directions. *Found. Trends Hum.-Comput. Interact.* 3, 1&2 (Jan. 2010), 1–137. DOI: <http://dx.doi.org/10.1561/11000000026>
- [31] Brygg Ullmer, Zachary Dever, Rajesh Sankaran, Cornelius Toole, Jr., Chase Freeman, Brooke Cassidy, Cole Wiley, Mohamed Diabi, Alvin Wallace, Jr., Michael DeLatin, Blake Tregre, Kexi Liu, Srikanth Jandhyala, Robert Kooima, Chris Branton, and Rod Parker. 2010. Cartouche : Conventions for Tangibles Bridging Diverse Interactive Systems. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 93–100. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1709886.1709904>
- [32] Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii. 2000. Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. *IBM Syst. J.* 39, 3-4 (July 2000), 915–931. DOI: <http://dx.doi.org/10.1147/sj.393.0915>
- [33] 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)*. ACM, New York, NY, USA, 209–212. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1347390.1347436>

[34] Craig Wisneski, Hiroshi Ishii, Andrew Dahley, Matt Gorbet, Scott Brave, Brygg Ullmer, and Paul Yarin. 1998. *Ambient Displays : Turning Architectural Space into an Interface between People and Digital*

Information. In *Cooperative Buildings : Integrating Information, Organization, and Architecture*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 22–32.

Annexes

Capture d'écran du formulaire de création d'une fiche pour ajouter une interface sur l'application web <http://tuic.estia.fr> :

The screenshot shows a web browser window with the URL `tuic.estia.fr/tangible/contribute-edit?id=Passive%20Props%20for%20Neurosurgery&user=rticona&version=15`. The page title is "Tangible Interfaces" and the user is logged in as "rticona". The main content area is titled "Tangible Interface" and contains a form with the following fields:

- Name**: Passive Props for Neurosurgery
- Acronym**: Passive Props
- Author(s)**: Hinckley, Pausch, Goble, Kassell
- Application Domain**: A list of checkboxes with "health" selected. The list includes: Experimental, education, health, industry.

At the bottom of the form, there are two buttons: "Save" (green) and "Back" (blue). The left sidebar contains navigation options: Forms, Publish Interfaces, Users, Dashboard, Add Options, Assign Moderator, and Search. The bottom of the screen shows the Windows taskbar with the time 3:04 p.m. on 20/07/2018.

Capture d'écran du formulaire de publication des fiches sur l'application web <http://tuic.estia.fr> :

The screenshot shows a web browser window with the URL tuic.fr/tangible/contribute. The page title is "Tangible Interfaces". On the left, there is a navigation menu with options: Forms, Publish Interfaces, Users, Dashboard, Add Options, Assign Moderator, and Search. The main content area displays a table of published interfaces. Each interface entry includes its title, the creator's name, and a detailed view of its basic information (Name, Acronym, Author(s), and Application Domain). Each entry also has a settings icon (a red trash can and a blue pencil) for editing or deleting the interface.

Title	Created By	Basic Information	Settings								
Passive Props for Neurosurgery	rticona	<table><tr><td>Name</td><td>Passive Props for Neurosurgery</td></tr><tr><td>Acronym</td><td>Passive Props</td></tr><tr><td>Author(s)</td><td>Hinckley, Pausch, Goble, Kassell</td></tr><tr><td>Application Domain</td><td>health</td></tr></table>	Name	Passive Props for Neurosurgery	Acronym	Passive Props	Author(s)	Hinckley, Pausch, Goble, Kassell	Application Domain	health	
Name	Passive Props for Neurosurgery										
Acronym	Passive Props										
Author(s)	Hinckley, Pausch, Goble, Kassell										
Application Domain	health										
Tangible UI for Hierarchical Structures	miriam	<table><tr><td>Name</td><td>Tangible UI for Hierarchical Structures</td></tr><tr><td>Acronym</td><td>Twister</td></tr><tr><td>Author(s)</td><td>Andreas Butz, Markus Grob Antonio Kruger</td></tr><tr><td>Application Domain</td><td>Nothing found to display.</td></tr></table>	Name	Tangible UI for Hierarchical Structures	Acronym	Twister	Author(s)	Andreas Butz, Markus Grob Antonio Kruger	Application Domain	Nothing found to display.	
Name	Tangible UI for Hierarchical Structures										
Acronym	Twister										
Author(s)	Andreas Butz, Markus Grob Antonio Kruger										
Application Domain	Nothing found to display.										
Pinwheels	rticona	<table><tr><td>Name</td><td>Pinwheels</td></tr></table>	Name	Pinwheels							
Name	Pinwheels										