Institutional Repository - Research Portal
Dépôt Institutionnel - Portail de la Recherche
researchportal.unamur.be
University of Namur

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Vers la tangibilisation de la visualisation de l'information

Cornelis, Donovan

Award date:
2016

Awarding institution:
Universite de Namur

Link to publication

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

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

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

Download date: 02. May. 2026

UNIVERSITÉ DE NAMUR

FACULTÉ D'INFORMATIQUE

Année académique 2015-2016

Vers la tangibilisation de la visualisation de l'information

Définition d'une taxonomie permettant de classer les physicalisations de données

Donovan Cornelis

Promoteur : Bruno Dumas

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

Je souhaite remercier Monsieur Bruno Dumas, promoteur de ce mémoire, pour sa grande disponibilité et pour ses conseils prodigués tout au long de la période de ce mémoire.

Je remercie également Madame Julie Bodart pour son aide dans la relecture de ce travail et pour sa patience lors des nombreuses soirées académiques que j'ai pû passer à l'Université de Namur.

Résumé / Abstract

Les représentations physiques des données existent depuis des milliers d'années. De nos jours, les avancées technologiques nous permettent de voir émerger un nouveau secteur de recherche appelé : la Data physicalisation.

Son but est d'aider ses utilisateurs à explorer, comprendre et communiquer des données en utilisant des représentations de données au moyen de l'informatique. Ces représentations sont appelées des physicalisations de données.

Dans ce mémoire, l'auteur présentera une taxonomie permettant de classer les physicalisations de données selon trois dimensions : La matérialisation des données, l'incarnation et le dynamisme de la physicalisation.

Mots-clés - Data physicalisation; visualisation de l'information; interfaces tangibles; visualisation physique; taxonomie

Physical representations of data have existed for thousands of years. Nowadays, technological advances allow us to emerge a new research area called : the Data physicalization.

Its purpose is to help users to explore, understand and communicate data using representations of data through the computer. These representations are called data physicalisations.

In this master thesis, the author will present a taxonomy for classifying physicalisations data along three dimensions: the "matérialisation des données", the "incarnation" and the "dynamisme de la physicalisation".

Keywords - Data physicalization; visualization; tangible user interfaces; physical visualization; taxonomy

Table des matières

1. Présentation du contexte **9**
1.1. La visualisation de l'information (InfoVis) 9
1.1.1. Exemples InfoVis 11
1.1.2. Le processus de visualisation des données 13
1.1.3. Taxonomie classant les techniques d'interaction en InfoVis 17
1.2. Les interfaces tangibles (TUI) 18
1.2.1. Cas d'illustrations d'interfaces tangibles 19
1.2.2. Modèle d'interaction MCRit 21
1.2.3. TUI vs GUI 23
1.2.4. Catégorisation en interfaces tangibles 25
1.2.5. Perspectives d'évolutions des interfaces tangibles 28
1.3. La Data physicalisation 30
1.3.1. Cas d'utilisation des physicalisations 31
1.3.2. Usages conceptuels 32
1.3.3. Les bénéfices des physicalisations 33
1.3.4. Adaptation de l'InfoVis pipeline vers les systèmes « beyond desktop » 35
1.3.5. Physicalisation dynamique et physicalisation statique 37
2. Proposition d'une taxonomie classant les physicalisations **41**
2.1. Fondements, définitions et méthodologie 41
2.1.1. Frameworks et taxonomies 41
2.1.2. Méthodologie de recherche 42
2.2. Présentation de la taxonomie 43
2.2.1. Matérialisation des données 45
2.2.2. Dynamisme de la physicalisation 48
2.2.3. Incarnation 50
3. Application de la taxonomie **53**
3.1. Confrontation de la taxonomie aux exemples existants 53
3.1.1. Tempescope (Physical weather display) 53
3.1.2. Season in Review 55
3.1.3. Bit Planner: LEGO calendar 57
3.1.4. Emoto : Projection Augmented Heatmaps of Twitter Data 59
3.1.5. Projection Augmented Relief Models 61
3.1.6. InForm 63
3.1.7. Passim : Visual Reconceptualisation of Spatial Theories 65
3.2. Comparaison des variantes d'un même concept: le diagramme à bâtons 67
4. Conclusion **73**
5. Perspectives **75**
6. Bibliographie **77**

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

Introduction

> *We live on the border where bits meet atoms. In the flood of pixels from the ubiquitous GUI screens, we are losing our sense of body and places." (Ishii, 1997)*

Au fil des siècles, les hommes ont cherché à représenter des données sur des supports, soit plats comme des cartes, du papier ou encore des écrans d'ordinateur, mais aussi sur des supports physiques.

Les représentations physiques des données existent depuis des milliers d'années. À l'époque, les Quipus Incas ou les jetons d'argile en Mésopotamie *(Dragicevic, 2013)* étaient déjà utilisés pour matérialiser l'information et fournir un support visuel à la pensée et améliorer la cognition avant l'invention de l'écriture et du papier.

De nos jours, ces artefacts sont, pour la plupart, statiques, mais offrent un gros potentiel au niveau perceptuel et cognitif. Ils permettent une meilleure communication que les supports-papier ou autres écrans d'ordinateur au vu de leur accessibilité améliorée et de leur perceptibilité.

Les avancées technologiques dans le domaine du numérique, des interfaces tangibles, des matières à mémoire de forme permettent de démarrer l'exploration d'un nouveau secteur de recherche : la physicalisation des données (Data physicalisation).

Ce secteur a pour but d'aider les personnes à explorer et communiquer en utilisant des représentations physiques de données dynamiques générées par un ordinateur. Ces représentations sont appelées physicalisations en référence à leurs homologues purement visuelles, les visualisations.

Toutefois, pour que les données dynamiques deviennent tangibles, des défis technologiques énormes vont devoir être franchis. Créer une matière programmable, reconfigurable à souhait, manipulable librement et pouvant supporter les tâches d'analyses de données, dévolues, aujourd'hui, aux ordinateurs de bureau, est un défi énorme qui n'est pas encore réalisable actuellement.

C'est pourquoi, dans le cadre de ce mémoire, le domaine n'est exploré qu'en expliquant les possibilités et les apports qu'il offre à la cognition, ses interconnexions avec d'autres domaines comme la Visualisation de l'information (InfoVis) et les interfaces tangibles (TUI) *(Jansen, et al., 2015)*.

Fort des éléments contextualisés, l'objectif principal de ce mémoire, qui est de réaliser une taxonomie permettant de classer les physicalisations de données, est exposé. Le chapitre dédié présente de manière théorique les dimensions ainsi que les différents niveaux qui les composent.

Ensuite, une partie expérimentation tâchera de challenger la taxonomie en la confrontant à des exemples concrets. D'abord, selon un échantillon d'exemples représentant le domaine. Ensuite, en déclinant l'évolution d'un concept spécifique : le diagramme à bâtons.

Pour terminer, une analyse des forces et faiblesses de la taxonomie avec des pistes d'amélioration ainsi que les perspectives liées au domaine d'étude seront abordées.

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

1. Présentation du contexte

La Data physicalisation est un nouveau domaine de recherche faisant référence à 2 grands thèmes fonctionnels :

- *La fonction d'interaction homme-machine au travers d'objets physiques*
- *La fonction d'analyse de données grâce à leurs visualisations*

Les interfaces tangibles (TUI) et la visualisation de l'information (InfoVis) représentent, respectivement, très bien ces thèmes fonctionnels.

La Data physicalisation étant un domaine de recherche à la croisée des chemins de ces deux secteurs, les TUI et l'InfoVis serviront donc de contexte de base à la présentation de la Data physicalisation.

1.1. La visualisation de l'information (InfoVis)

L'expression *« une image vaut mieux qu'un long discours »* prend tout son sens avec la visualisation des données.

Par le passé, le processus de cognition pouvait s'appuyer sur des artefacts comme le papier, l'écriture et des instruments géométriques pour créer des représentations de données au travers de diagrammes, de notations mathématiques, de symboles… *(Ware, 2004)*

Ces représentations ont ensuite évolué avec l'apport de l'informatique et la facilité d'accès aux données.

Les représentations visuelles permettent une meilleure compréhension des données. Plusieurs bénéfices leurs sont attribuables *(Ware, 2004) (Keim, 2002)*:

- Fournir à l'utilisateur la capacité d'interpréter un énorme volume de données (si celui-ci est bien représenté).
- Permettre la perception de propriétés qui ne peuvent pas être anticipée.
- Révéler des erreurs dans les données qui ne peuvent être facilement observées avec les données elles-mêmes.
- Permettre de mettre en exergue des caractéristiques de sous-ensembles de données ou des relations entre sous-ensembles de données.
- Faciliter la création d'hypothèses menant à une prise de décision.

La Data physicalisation (aussi appelée Physical visualization) et la visualisation de l'information sont reliées entre-elles sur plusieurs aspects tels que :

- La représentation visuelle des données
- L'utilisation de l'informatique
- L'interaction entre l'homme et la machine
- L'amélioration de la capacité à explorer et comprendre des données

Les différentes définitions de l'InfoVis permettent de percevoir ce lien.

Purchase définit l'InfoVis comme étant :

> ***Information visualisation utilises computer graphics and interaction to assist humans in solving problems." (Purchase, 2008)***

Stuart K. Card et al décrivent l'InfoVis comme étant :

> ***Information visualisation is the use of computer-supported, interactive, visual representations of abstract data to amplify cognition." (Card, 1999)***

Averbuch la décrit de cette manière :

> ***Information visualisation, an increasingly important subdiscipline within HCI, focuses on graphical mechanisms designed to show the structure of information and improve the cost of access to large data repositories. In printed form, information visualization has included the display of numerical data (e.g., bar charts, plot charts, pie charts), combinatorial relations (e.g., drawings of graphs), and geographic data (e.g., encoded maps). Computer-based systems, such as the information visualizer and dynamic queries have added interactivity and new visualization techniques (e.g., 3D, animation)." (Averbuch, et al., 1996)***

Cependant, la Data physicalisation ne se focalise pas uniquement sur le canal visuel, mais s'attache à intégrer l'ensemble des capacités de perceptions humaines. Une autre différence importante est que la Data physicalisation écarte les systèmes transmettant uniquement des données via des écrans. Toutefois, elle inclut des configurations hybrides à base d'écrans déformables, à condition que les propriétés géométriques ou matérielles de la surface d'affichage encodent des données.

Conformément à la définition de Data physicalisation, l'accent est mis sur la représentation physique des données (output), et non sur l'aspect physique du contrôle de l'interaction (input). Même si le domaine est clairement concerné dans la manière dont l'utilisateur interagit avec la physicalisation au niveau des inputs et des modalités sensorielles.

Pour l'InfoVis, la plupart des recherches se sont essentiellement penchées sur l'aspect représentation. Les recherches qui se sont, quant à elles, intéressées aux aspects interactifs se sont souvent bornées à considérer les capacités classiques d'interactions telles que le clavier et la souris.

Alors que la Data physicalisation se soucie de la construction ou de la modification, via ordinateur, des physicalisations, l'interaction avec celles-ci peut se faire dans le monde tangible (physique) sans assistance informatique *(Jansen Y., 2013)*. De plus, historiquement, les physicalisations réalisées « à la main » n'impliquent pas l'informatique, mais restent pertinentes pour la Data physicalisation pour informer et inspirer les versions futures informatisées.

1.1.1. Exemples InfoVis

CNN : Pertes humaines US et coalitions (Figure 1)

Cette InfoVis est un bel exemple de technique de « Linking » qui permet la sélection d'un sous-ensemble de données dans une vue et qui la propage aux autres vues. Dans le cas présent, si l'utilisateur sélectionne une tranche d'âge particulière, les deux cartes démographiques se mettront automatiquement à jour pour n'afficher que la tranche d'âge sélectionnée.

Figure 1. (http://edition.cnn.com/SPECIALS/war.casualties/) InfoVis recensant les pertes humaines en Iraq et en Afghanistan

Carte des vents US en temps réels (Figure 2)

Cette InfoVis fournit, en temps réels, les vitesses et directions des vents sur le territoire US. La vitesse est représentée par des lignes bougeant rapidement ou lentement. Les directions, quant à elles, sont représentées par la direction que prennent les lignes. Cette InfoVis permet de voir rapidement les tendances à un temps t. En cliquant sur la carte, les données spécifiques de l'endroit sont affichées illustrant la technique d'interaction « details on demand[1] ».

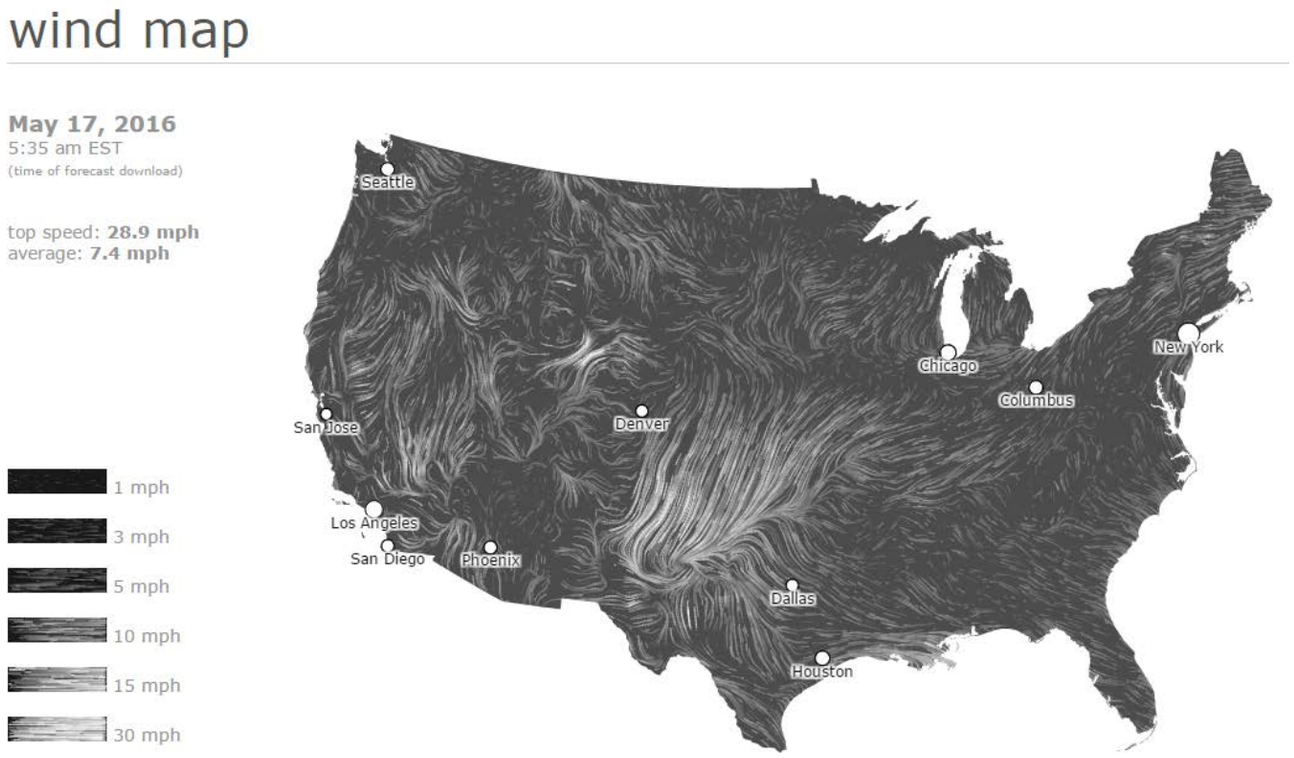


Figure 2. (http://hint.fm/wind/) Carte des vents sur le territoire US (temps réels)

[1] details on demand (http://www.infovis-wiki.net/) : La technique « details on demand » permet de sélectionner de manière interactive une partie d'un ensemble de données pour qu'il soit visualisé plus précisément tout en offrant un aperçu de l'ensemble du concept informatif.

1.1.2. Le processus de visualisation des données

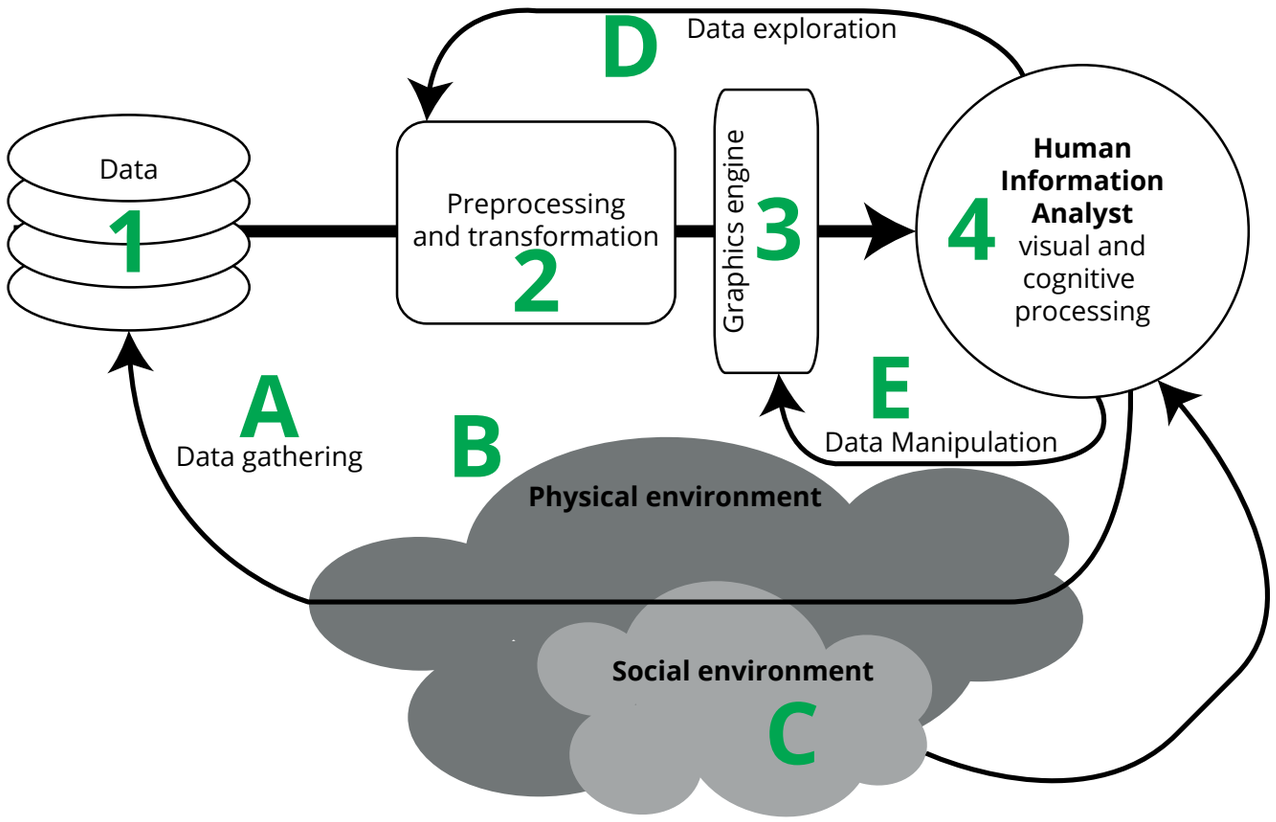


Figure 3. (Ware, 2004) Schéma du processus de visualisation redessiné

Le processus de visualisation des données inclut 4 étapes de base, combinées à 5 flux liés à l'utilisateur comme illustré à la Figure 3. Il peut être décrit comme une séquence de transformation de données jusqu'à ce qu'une image soit produite *(Card, 1999)*.

Les 4 étapes de base sont :

1 **Les Données (Data)**

La collecte et le stockage des données peut prendre la forme d'un tableau Excel, d'une base de données ou encore un simple fichier texte.

2 **Le processus traitement et de transformation**

Le processus de traitement et de transformation est conçu pour que les données deviennent compréhensibles. Ce processus est illustré en figure 4 :

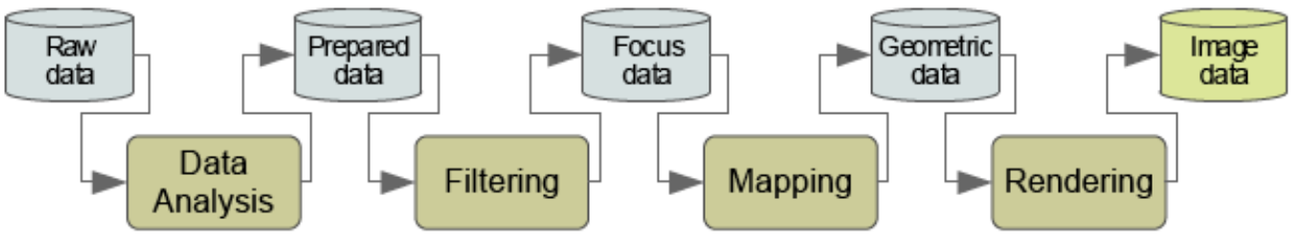


FIGURE 4. (HTTP://WWW.INFOVIS-WIKI.NET/) VISUALIZATION PIPELINE

- **Data Analysis** : les données sont préparées pour la visualisation en leur appliquant des filtres, en extrapolant les valeurs manquantes ou en corrigeant des valeurs incorrectes. Cette tâche est réalisée via les bases de données, il n'y a que très peu d'interactions avec l'utilisateur à cette étape.
- **Filtering** : L'utilisateur peut sélectionner une partie des données à visualiser en fonction des filtres désirés.
- **Mapping** : Les données choisies sont transformées en points, lignes avec leurs attributs (couleur, position, taille). L'opération est critique pour arriver à rendre celles-ci expressives[2] et effectives[3]
- **Rendering** : les données géométriques sont transformées en une image représentant les données.

3 Le moteur graphique

Le matériel d'affichage et les algorithmes graphiques qui produisent une mage.

4 L'analyse de l'information par l'homme

La perception humaine va interpréter et comprendre ces données en se faisant une représentation mentale *(Jansen, 2013)*

[2] Expressive (Expressiveness- http://www.infovis-wiki.net/) : Une visualisation est dite expressive si et seulement si elle encode toutes les relations des données attendues et uniquement celles-là. (Card, 2007)

[3] Efficacité (Effectiveness - http://www.infovis-wiki.net/) : Le critère d'efficacité identifie quel langage graphique, dans une situation donnée, est le plus efficace dans l'exploitation des capacités output d'un médium et du système de visualisation humain (Mackinlay, 1986).

Les flux générés par l'utilisateur et les environnements l'influençant sont :

A

Le Data gathering

Le Data Gathering consiste à rassembler plus d'informations pour affiner son exploration des données ou poursuivre une idée. Ce flux sera influencé par l'environnement physique et social.

B

Le Physical environnement

Le Physical environment est l'environnement qui fournit les données.

C

Le Social environnement

Le Social environment est un ensemble de règles que l'utilisateur doit suivre et qui font qu'il interprète les données d'une certaine façon. Cela détermine donc la complexité de ce qui est collecté et comment il faut l'interpréter.

D

La Data exploration

La Data Exploration est le fait de transformer les données brutes pour les préparer à la visualisation. Cette étape n'est pas sans risque puisqu'elle peut enlever le sens des données. La grande question est de savoir qu'elle est la meilleure façon de transformer les données pour que la prise de décision soit optimale.

> ***The aim pursued with visual exploration is to give an overview of the data and to allow users to interactively browse through different portions of the data. In this scenario users have no or only vague hypotheses about the data; their aim is to find some. In this sense, visual exploration can be understood as an undirected search for relevant information within the data. To support users in the search process, a high degree of interactivity must be a key feature of visual exploration techniques. " (Tominski, 2006)***

Explorer les données signifie : procéder à la recherche et à l'analyse des données (bases de données) pour trouver des informations utiles. *(Keim, et al., 2006)*

La donnée est le niveau d'abstraction le plus bas (raw data), à partir de ces raw datas, des modèles peuvent être trouvés, soit de manière automatique via des techniques de Data Mining ou en utilisant les capacités humaines à conceptualiser, percevoir ou visualiser. Cette information mènera à des hypothèses qui pourront être validées ou non. Elle devient connaissance quand elle signifie quelque chose et qu'elle est intégrée à d'autres contenus. *(Bertini, 2009)*

L'exploration visuelle des données vise à intégrer l'humain dans le processus d'exploration des données en impliquant ses capacités perceptuelles pour explorer des ensembles de données. L'idée de base est de montrer les données dans une certaine forme visuelle, permettant d'avoir un aperçu des données, d'en déduire des conclusions, et d'interagir directement sur les données.

L'exploration visuelle des données est particulièrement utile lorsqu'on en sait peu sur les données et que les objectifs d'exploration sont vagues.

Le processus d'exploration visuel peut être vu comme un générateur d'hypothèse : la visualisation de la donnée permet à l'utilisateur d'obtenir un aperçu de la donnée et d'en déduire des hypothèses. La vérification des hypothèses peut également être faite au moyen de l'exploration des données, mais elle doit aussi être accomplie par des techniques de Data Mining ou de Machine Learning (Keim, 2002). En plus de l'implication de l'utilisateur, les principaux avantages de l'exploration visuelle des données par rapport aux techniques de statistique sont :

- Sa capacité à gérer les données peu homogènes ou avec du bruit
- Son intuitivité

De manière générale, l'exploration visuelle des données permet d'explorer plus rapidement les données et fournit souvent de meilleurs résultats, particulièrement dans les cas où des algorithmes se trompent.

La Data manipulation

La Data Manipulation consiste à interagir avec le système de visualisation.

Ces deux derniers flux sont les plus importants pour comprendre le lien entre l'InfoVis et la Data physicalisation, c'est pourquoi ils seront plus développés ci-après.

En plus des techniques de visualisation, pour que l'exploration des données soit exploitable, il est nécessaire d'utiliser des techniques d'interaction. Ces techniques permettent à l'utilisateur d'interagir directement avec les visualisations et de les modifier dynamiquement selon les objectifs d'exploration de l'utilisateur.

> ***Interaction between human and computer is at the heart of modern information visualization and for a single overriding reason: the enormous benefit that can accrue from being able to change one's view of a corpus of data. Usually that corpus is so large that no single all-inclusive view is likely to lead to insight. Those who wish to acquire insight must explore, interactively, subsets of that corpus to find their way towards the view that triggers an 'a ha!' experience." (Spence, 2007)***

1.1.3. Taxonomie classant les techniques d'interaction en InfoVis

Une taxonomie basée sur l'intention d'interagir permet de classer les techniques d'interaction au moyen de sept catégories *(Ji Soo Yi, 2007)* :

- **Select** : La technique d'interaction a pour intention de marquer un élément ayant un intérêt.
  Exemple de techniques d'interaction : *Single Direct Selection*
- **Explore** : La technique d'interaction a pour intention de montrer un/des autre(s) éléments.
  Exemple de techniques d'interaction : *Click-n-Drag*
- **Reconfigure**: La technique d'interaction a pour intention de montrer un autre arrangement.
  Exemple de techniques d'interaction : *Sorting*
- **Encode**: La technique d'interaction a pour intention de montrer une représentation différente.
- **Abstract/Elaborate**: La technique d'interaction a pour intention de montrer les détails ou masquer les détails.
  Exemple de techniques d'interaction : *Details-on-demand*
- **Filter**: La technique d'interaction a pour intention de montrer un sous-ensemble des éléments en fonction d'une condition.

  Exemple de techniques d'interaction : *Dynamic Queries*[4]
- **Connect**: la technique d'interaction a pour intention de montrer les éléments liés.
  Exemple de techniques d'interaction : *Brushing*[5]

D'autres techniques d'interaction existent, souvent très utilisées, mais non classables par cette taxonomie. Exemple de techniques d'interaction : *Direct Manipulation*[6].

[4] Requête dynamique (Dynamic queries - http://www.infovis-wiki.net/) : Les requêtes dynamiques mettent à jour continuellement les données qui sont filtrées de la base de données et visualisées. Elles fonctionnent de manières instantanées et permettent de trouver des patterns, des exceptions,... via, par exemple, le déplacement d'un curseur ou en selectionnant un bouton. Cette approche applique les principes de manipulation directe des bases de données.

[5] Brushing (Brushing - http://www.infovis-wiki.net/) : Brushing est le processus interactif de sélections des données à partir d'une représentation visuelle. L'objectif du brushing est de mettre en avant les données sélectionnées dans différentes vues de la visualisation.

[6] Manipulation directe (Direct Manipulation - http://www.infovis-wiki.net/) : La Manipulation directe permet à un utilisateur d'interagir avec une visualisation en agissant de la même manière que s'il interagissait avec sa version analogue dans le monde réel. Il enlève la barrière qu'il pourrait y avoir entre l'idée et sa traduction en GUI.

1.2. Les interfaces tangibles (TUI)

Depuis longtemps, les interfaces homme-machine ont été limitées aux ordinateurs, utilisant une souris et un clavier pour interagir avec des fenêtres, des icônes, des menus et un pointeur (modèle WIMP). Les interfaces tangibles (TUI) sont un type d'interface post-WIMP dont l'objectif est de fournir des représentations tangibles, des informations digitales et des moyens de contrôle. Elles permettent littéralement à l'utilisateur de prendre les données dans ses mains.

Les interfaces tangibles ont été initialement définies comme étant une interface utilisateur qui augmente le monde physique de manière réelle en couplant de l'information digitale à un objet ou un environnement physique « de tous les jours », comme illustré dans l'exemple urban planning workbench (point 1.2.1). Le concept de TUI n'est pas neuf, puisqu'il était connu, auparavant, sous le nom de « *passive props* » *(Hinckley, 1994)* ou « graspable user interfaces » *(Fitzmaurice, 1995)*. Ses motivations sont fortement liées aux mêmes motivations que la réalité augmentée et l'informatique ubiquitaire[5] *(Shaer, 2010)*.

L'idée sous-jacente est de fournir un moyen physique pour accéder à l'information et aux fonctionnalités informatiques. De manière générale, ce type de technologie peut lever les restrictions de l'informatique de bureau pour mieux exploiter nos capacités à percevoir et à manipuler des objets physiques.

Toutefois, les TUIs se contentent de déplacer la partie 'input' de l'interaction dans le monde physique, et continuent généralement à utiliser des dispositifs d'affichage 100% digital, via des écrans.

Ullmer B. et Ishii H. présente le domaine des interfaces tangibles (TUI) comme étant :

> ***Systems that give physical form to digital information, employing physical artifacts both as representations and controls for computational media" (Ishii, 1997)***

En général, les interfaces tangibles et la Data physicalisation sont très imbriquées, mais diffèrent dans l'objectif. Bien que les deux domaines s'attachent aussi bien aux données en input qu'aux données en outputs et partagent beaucoup de préoccupations *(Follmer, 2013)*, les interfaces tangibles s'attachent plus à rendre physiques les données utilisées en input pour réaliser des opérations de manipulations. La représentation physique des données en output est moins importante. L'interaction tangible cherche à intégrer la partie interaction d'un système dans des objets manipulables, qui peuvent par la suite servir d'interacteur direct, de filtres, de loupes…

La Data physicalisation se focalise, quant à elle, sur la représentation physique (output) du modèle de données pour réaliser des opérations d'exploration des données (dans le sens de l'InfoVis) *(Card, 1999)*. La représentation physique des données en input est moins importante.

Le domaine des TUI a été remarquablement productif quant aux défis technologiques à relever, ce travail est important pour l'implémentation des physicalisations. Inversement, les scénarios d'exploration de données ont été utilisés par les TUI pour illustrer leurs fonctionnements, montrant l'importance majeure de la Data physicalisation dans les recherches en TUI.

[5] Informatique ubiquitaire (Wikipedia) : L'informatique ubiquitaire est la troisième ère de l'histoire de l'informatique, qui succède à l'ère des ordinateurs personnels et celle des Mainframes. Dans cette ère, l'utilisateur dispose d'une gamme de petits appareils informatiques tels que le smartphone ou l'assistant personnel, et leur utilisation fait partie de sa vie quotidienne. Ces appareils facilitent l'accès à l'information pour tout le monde, n'importe où et n'importe quand. Les utilisateurs ont alors la possibilité de s'échanger des données facilement, rapidement et sans effort, quelle que soit leur position géographique. Cette omniprésence de l'accès à l'information a un fort impact sur la société et modifie les habitudes de travail et de vie privée

1.2.1. Cas d'illustrations d'interfaces tangibles

L'urban planning workbench (Underkoffler, 1999)

L'urban planning workbench (Urp) est certainement un des premiers exemples représentatifs des interfaces tangibles. L'urp utilise comme input des modèles de bâtiments à l'échelle afin de visualiser l'impact de leur positionnement en simulant (= output) des ombres, des réflexions lumineuses, la vitesse des vents... Il fournit également un ensemble d'outils interactifs pour réaliser des requêtes sur la simulation urbaine, mais aussi contrôler les paramètres de celle-ci.

Les bâtiments d'Urp projettent des ombres digitales sur un plan de travail (via vidéo projection). La position du soleil dans le ciel peut être contrôlée en tournant les aiguilles d'une horloge sur la surface de la table. Selon leurs positions et leurs orientations, les ombres des maquettes sont transformées selon l'heure de la journée et le positionnement du soleil. Changer la direction du compas, changera l'orientation du vent dans l'espace d'analyse. Les personnes autour de la table

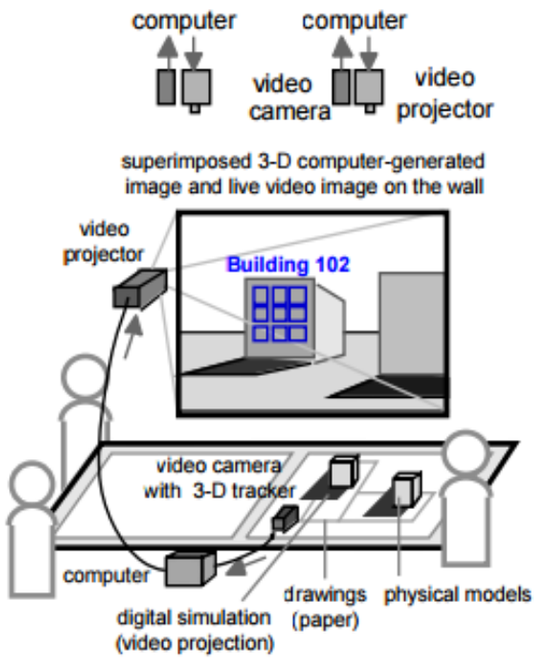


Figure 6. (Underkoffler, 1999) Vue schématique du système Urp

Figure 5. (Underkoffler, 1999) Illustration de l'Urban planning workbench - Urp

peuvent identifier des problèmes potentiels, tels que les zones de pression pouvant, par exemple, créer des zones de marches difficiles. En plaçant l'anémomètre sur une position dans la zone, indiquera la vitesse du vent mesurée à cette position. Ce projet permet de mettre les décideurs et les experts à la même table. Les changements opérés par les utilisateurs sont facilement compris par l'ensemble l'audience.

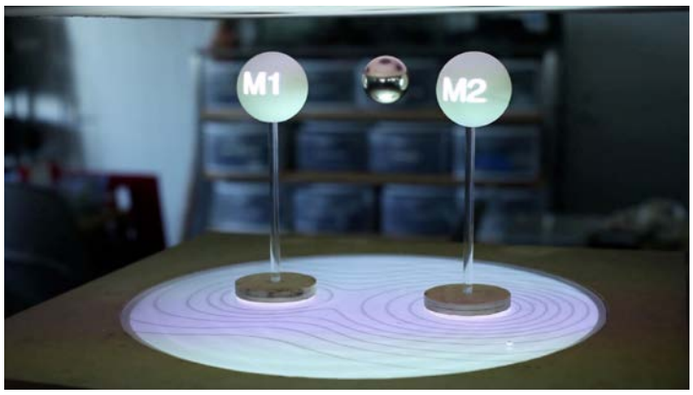


Figure 7. (Lee, et al., 2011) Illustration d'une simulation des champs gravitationnels résultant de M1 et M2

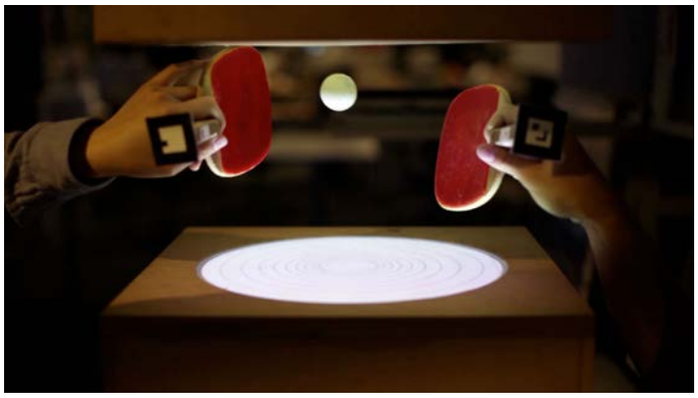


Figure 8. (Lee, et al., 2011) Illustration d'un jeu pong 3D

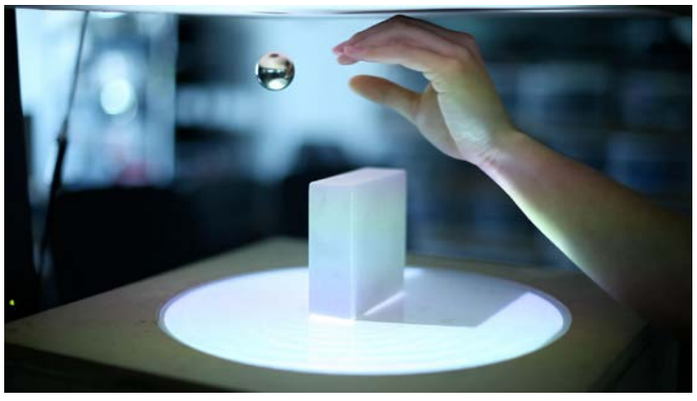


Figure 9. (Lee, et al., 2011) Illustration de la projection d'ombres sur le sol résultant de la présence du soleil

ZeroN (Lee, et al., 2011)

ZeroN est un élément d'interface tangible pouvant être lévité et déplacé librement dans un espace à trois dimensions grâce à un système de contrôle magnétique combiné à un suivi optique. ZeroN représente de manière tangible les coordonnées tridimensionnelles d'un monde virtuel dans lequel un utilisateur peut voir, ressentir, et contrôler le traitement informatique. La représentation digitale est matérialisée par un système de projection d'images sur l'objet lévitant.

Plusieurs cas d'utilisations (simulation d'architecture (Figure 9), simulation physique (Figure 8), jeu pong 3D (Figure 7)) peuvent être imaginés pour illustrer ce type de modalités d'interaction. Les utilisateurs doivent placer ou bouger l'objet ZeroN de la même manière que sur une surface. Par exemple, un utilisateur peut placer le soleil au-dessus d'un objet physique pour projeter des ombres digitales, ou placer une planète qui va démarrer son processus de révolution en se basant sur une simulation des conditions gravitationnelles.

1.2.2. Modèle d'interaction MCRit

De manière générale, toute interface entre l'utilisateur et l'information digitale nécessite deux composants clés: l'input et l'output (le contrôleur et la représentation). Les contrôleurs permettent à l'utilisateur de manipuler l'information, alors que les représentations sont perçues avec les sens humains. La relation entre ces composants est illustrée par le modèle « Model-View-Controller » (MVC) qui est devenu un modèle d'interaction classique dans les interfaces utilisateurs graphiques (GUI) (Figure 10).

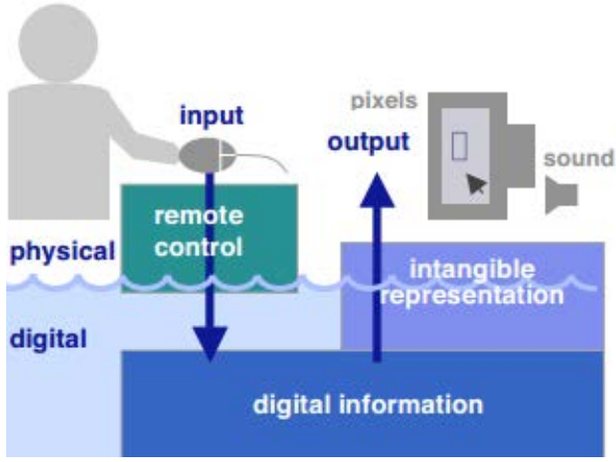


Figure 10. (Ishii, 2008) Représentation d'une GUI avec MCRit

Le MCRit utilise le contrôleur de MVC, mais divise la couche « vue » en deux sous-composantes : la représentation tangible et intangible. « Model » est renommé « Digital information » pour généraliser le framework et marquer la différence entre GUI et TUI. Le terme « représentation » désigne la représentation externe qui rend l'information digitale perceptible par les sens humains (vue, ouïe, toucher) (Tableau 1).

Là où MVC illustre la séparation entre la représentation graphique (view) et le contrôle (control), MCRit souligne l'intégration du contrôle à la représentation physique ce qui élimine la distinction entre les interfaces d'entrées et de sorties (Figure 11).

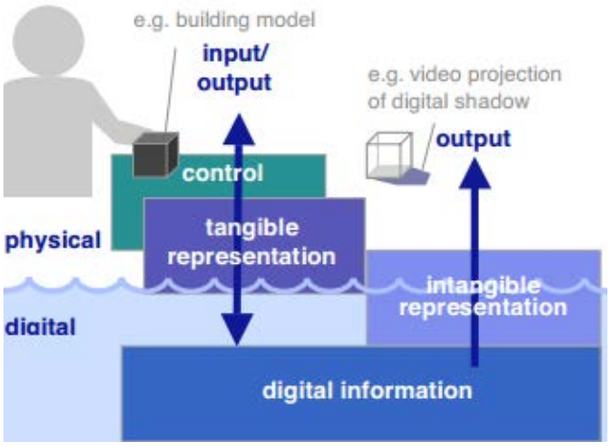


Figure 11. (Ishii, 2008) Représentation d'une TUI avec MCRit

Cette intégration transparente du contrôleur et de la représentation signifie que les objets tangibles incarnent la signification de la représentation et la signification de la manipulation de l'information digitale.

MVC	MCRit
Modèle	Information digitale (modèle)
Vue	Rep-t (représentation tangible)
	Rep-i (représentation intangible)
Contrôleur	Contrôleur

Tableau 1. Comparaison MVC - MCRit

Comme illustré (Figure 12), le modèle MCRit montre trois relations clés traduisant les propriétés des interfaces tangibles :

1 **Les représentations tangibles sont couplées de manière informatique à la couche d'information digitale (modèle).**

La caractéristique principale des interfaces tangibles repose sur ce couplage. L'exemple Urp illustre ce couplage, en incluant aux objets « bâtiments » une valeur liée à leurs propriétés géométriques. Les outils de calculs de simulation de vents possèdent également des valeurs liées.

2 **Les représentations tangibles intègrent les mécanismes de contrôle interactif.**

Les représentations physiques des TUI fonctionnent également comme contrôleur interactif. Manipuler et déplacer les objets est la forme principale de contrôle.

3 **Les représentations tangibles sont perceptuellement couplées aux représentations intangibles.**

Les TUIs sont un mix entre les représentations tangibles et intangibles. Alors que les éléments physiques incarnés jouent un rôle central dans la représentation et dans le contrôle des TUI, les représentations intangibles, quant à elles, offrent généralement le caractère dynamique de la représentation de l'information digitale.

Une quatrième relation résulte des trois premières :

4 **L'état des objets tangibles incarne les aspects fondamentaux de l'état du système entier.**

Si le système est éteint, il reste partiellement compréhensible.

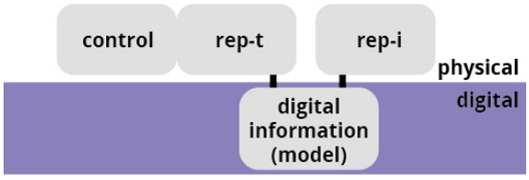


Figure 12. (Ullmer, et al., 2001) Illustration du MCRit sur base du MCRpd

1.2.3. TUI vs GUI

Les TUIs sont des systèmes d'artefacts tangibles permettant le contrôle de l'information digitale. Les TUI ont différents avantages par rapport aux traditionnelles GUI mais également certaines limitations. *(Ishii, 2008)*

1 **Flux d'interaction double (Figure 13)**

L'avantage le plus intéressant est que l'utilisateur d'une TUI reçoit un retour d'information physique dès qu'il le touche sans attendre un retour de la représentation intangible (2e flux de retour). Il n'y a pas d'intervention quelconque de l'informatique sur ce flux d'interaction. Dans le cas des interfaces motorisées du type d'inFORM *(Follmer, 2013)*, un troisième flux de retour existe (Figure 14), puisque l'interface d'entrée se modifie suite aux actions entreprises. Dans le cas d'une GUI, il est nécessaire d'attendre le retour sur la représentation visuelle pour compléter une action.

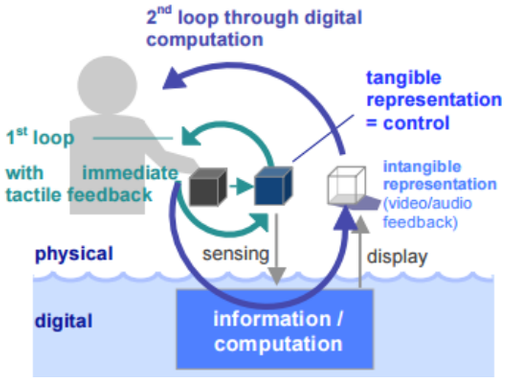


FIGURE 13. (ISHII, 2008) DOUBLE FLUX D'INTERACTION

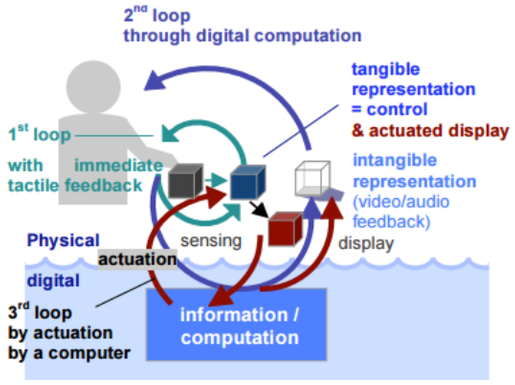


FIGURE 14. (ISHII, 2008) TRIPLE FLUX D'INTERACTION

2 **Persistance de la tangibilité**

Les TUIs sont persistantes. Les objets tangibles conservent leur état physique qui est fortement couplé à leur état digital qu'il représente. Dans le cas d'Urp, même si tous les appareils sont éteints, beaucoup d'aspects de l'état du système sont exprimés à travers le positionnement des bâtiments. Dans les GUI, la représentation physique de la souris ne représente pas d'information. L'ensemble de la représentation est effectuée sous une forme visuelle.

3

L'input et l'output coïncident

Les TUIs essayent de faire coïncider les interfaces d'entrées et de sorties autant que possible pour effectuer un couplage entre les mondes physique et digital. Urp réalise cette coïncidence via les bâtiments (input) et les ombres projetées sur leur base. Les GUI utilisent le couple clavier/souris comme contrôleur générique et la sortie principale est sur un écran. Il y a de la distance entre ces deux espaces.

4

Objectifs spécifiques vs objectifs généraux

Les GUI sont des interfaces dont l'objectif est de convenir à beaucoup d'applications utilisant un écran, un clavier et une souris. Les TUIs sont, a contrario, des interfaces qui ont l'objectif d'être spécifiques à une application. Le but est d'améliorer les interactions directes et intuitives avec celle-ci. Lors de la conception d'une TUI, il est important que la métaphore de l'objet donne une indication des fonctions qu'il représente. L'horloge dans Urp, permet à l'utilisateur de comprendre qu'il va manipuler le temps. Bien entendu, en rendant spécifique une TUI, on perd la capacité à la déployer sur une grande variété d'applications. C'est pourquoi, certaines TUI ont cet objectif d'être génériques, mais dans ce cas, le caractère lisible de la représentation physique qui représente l'information digitale est perdu. L'objet utilisé sera générique.

5

Les TUI sont adaptées à la collaboration entre plusieurs utilisateurs.

Un objet dispose d'une fonction dédiée qui peut être manipulée de manière concurrente par plusieurs utilisateurs (Figure 15). Les GUIs, quant à elles, ont plusieurs fonctions dédiées permettant à l'utilisateur de réaliser un contrôle de différents éléments à des moments distincts. Par exemple, la souris pourra être utilisée pour faire une sélection, scroller, faire un drag& drop… à des temps différents.

Figure 15. (Underkoffler, 1999) Urp permet le travail en équipe.

1.2.4. Catégorisation en interfaces tangibles

Les taxonomies avant celle de Fishkin

Tools, tokens et containers

En 1999, Holmquist *(Holmquist L., 1999)* propose une structure conceptuelle pour les artefacts TUI en 3 catégories :

- **Containers (Conteneurs) :** Objets génériques pouvant être associés avec n'importe qu'elle type d'information. Ils seront utilisés pour déplacer de l'information entre différents dispositifs ou plateformes
- **Tools (Outils)** : Outils permettant de manipuler de l'information digitale de manière active. Généralement, ils représentent une fonction de calcul
- **Tokens (Symboles)** : L'information digitale associée à l'objet est le reflet des propriétés physiques du symbole. En d'autres termes, l'objet ressemble physiquement à l'information qu'ils représentent.

Par la suite Ullmer et Ishii en 2001, classifièrent les containers et les tools comme des sous-ensembles de tokens. Token est un terme générique pour toute sorte d'objets tangibles couplé à de l'information digitale. Cette terminologie a l'avantage de permettre différents niveaux de sémantique pour un artefact.

Object As...

UnderKoffler et Ishii proposent un système classifiant les objets employés dans les TUIs. *(Underkoffler, 1999)*

Cinq types d'objets ont été identifiés : Object as noun, Object as verb, Object as reconfigurable tool, Object as attribute, Object as pure object.

Taxonomie de Fishkin : Embodiment (Incarnation) et Métaphor (Métaphores)

En 2004, Fishkin analysa les TUIs existantes et ne trouva pas de manières satisfaisantes permettant de classifier les interfaces tangibles. Il proposa une taxonomie qui unifiait les différentes définitions et catégorisation de TUIs. Pour cela, il a « tangibilisé » sur 2 dimensions (attributs multivalués). Il s'est appuyé sur la taxonomie de Holmquist « tokens, containers and tools », la classification d'Underkoffler et Ishii « Object As », des exemples de l'industrie du design et incorpora des notions de « calm computing » *(Fishkin, 2004)*.

Fishkin proposa 2 axes : l'Embodiment et la Metaphor. Le premier axe classifie les interfaces selon le fait que l'interface d'input est plus ou moins intégrée à l'interface d'output. Le second axe classifie les TUIs en termes de « comment les effets rendus par le système sont-ils analogues aux effets obtenus dans le monde réel pour une action similaire. » Plus le niveau est haut dans chaque dimension, plus le système est tangible.

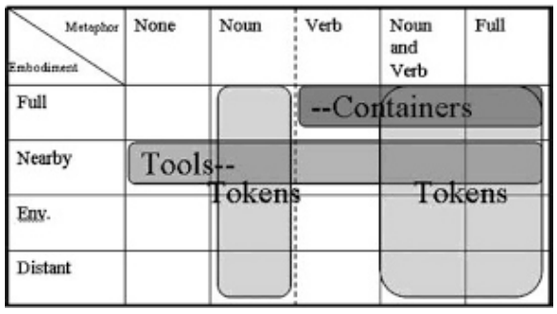


Figure 16. (Fishkin, 2004) Intégration des taxonomies précédentes dans celle de Fishkin : « tools, tokens, containers »

Embodiment (Incarnation)

Cette dimension montre le lien qu'il existe entre l'input et l'output. Dans quelle mesure l'utilisateur imagine-t-il que l'état du système est interne à l'objet qu'il manipule ? Quand un système cherche à maximiser l'expérience de manipulation directe de l'objet, le niveau d'incarnation est haut. Cependant, lorsque la transposition de l'information digitale dans sa représentation physique est plus abstraite, on aura un niveau d'incarnation plus bas.

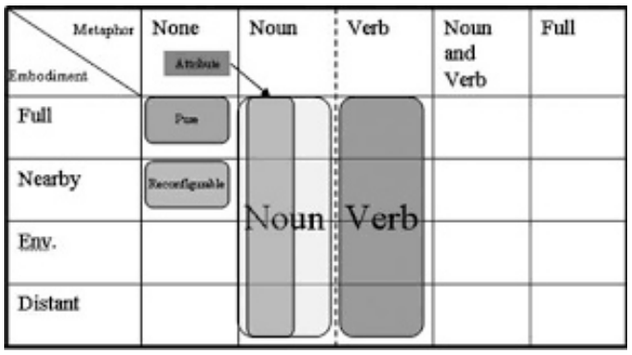


FIGURE 17. (FISHKIN, 2004) INTÉGRATION DES TAXONOMIES PRÉCÉDENTES DANS CELLE DE FISHKIN : «OBJECT AS... NOUN, VERB, RECONFIGURABLE TOOL, ATTRIBUTE, PURE OBJECT.

Quatre niveaux d'incarnations sont proposés :

1

Full (Complet)

Le dispositif de sortie est le dispositif d'entrée : l'état du dispositif est complètement incarné dans le dispositif. Cette interaction est la plus commune lorsqu'un utilisateur interagit avec le monde physique. Les objets reçoivent des manipulations physiques montrant un changement. Ce niveau peut être comparé à une sculpture d'argile. Exemples : Tiltscreen *(Rekimoto, 1996)*.

2

Nearby (proche)

Le dispositif de sortie prend place à proximité de l'objet d'entrée. Le dispositif de sortie est directement couplé à l'input. Ce niveau peut être illustré par des crayons lumineux qui altèrent l'affichage directement après leurs passages. Exemples : Bricks *(Fitzmaurice, 1995).*

3

Environmental (environnemental)

Le dispositif de sortie est « autour » de l'utilisateur (généralement audio, mais pas seulement). Ce terme provient du domaine « Non-graspable » de Ullmer et Ishii *(Ullmer, et al., 2001)* et montre qu'il existe un lien ténu entre l'objet d'entrée et l'objet de sortie, mais la sortie est, en quelque sorte, en dehors de celui-ci. Exemples : ToonTown *(Singer, et al., 1999)*.

4

Distant

Le dispositif de sortie est distant, sur un autre écran ou même dans une autre pièce. Cela peut être transposé à une télécommande de télévision, dans laquelle l'attention visuelle bascule entre l'input (le contrôleur) et l'output (l'écran). Exemples : Doll's Head *(Hinckley, 1994)*

Lorsque l'incarnation augmente, la distance cognitive entre le mécanisme d'entrée et le résultat diminue. Lors de la création d'un système, l'exigence relative à la cognition pourra être évaluée grâce à cette dimension. « Nearby » ou « distant » seront préférés s'il est désiré de rendre les interfaces d'input et d'output non similaire.

Métaphore (Metaphor)

Fishkin a aligné ce second axe sur un concept bien maîtrisé et s'appliquant particulièrement bien aux interfaces tangibles vu leurs nombreuses propriétés sur lesquelles il est possible d'agir (forme, taille, couleur…).

Pour quantifier la métaphore, deux groupes sont imaginés, basés sur la psychologie cognitive :

1. Metaphor of noun : rappelant la forme d'un objet
2. Metaphor of verb : rappelant l'action d'un objet

Ces groupes donnent quatre niveaux avec des gradations selon le niveau :

1

Full (Complet)

À ce niveau de métaphore, l'utilisateur ne fait pas de métaphore, le système virtuel est le système physique. La manipulation de l'objet change le réel, ce qui est défini par la « Manipulation réellement directe ». Exemple : Illuminating Clay *(Fishkin K, 2000)*.

2

Noun and verb

Noun and verb sont analogues à leur version réelle, mais l'objet virtuel est différent de sa version réelle. Peut-être comparée à un drag-&-drop en IHM conventionnelle où jeter une icône virtuelle dans la poubelle a le même effet que dans le réel. Beaucoup de systèmes TUI opèrent à ce niveau, par exemple : Urp *(Underkoffler, 1999)*.

3

A. Noun

Une analogie est faite dans le système sur la forme physique/le son d'un objet réel. La forme donnée dans le système est la même que dans la réalité. Cependant, l'action réalisée avec l'objet n'est pas ou n'est que faiblement la même que dans le réel. Ce groupe peut être comparé au bureau de Windows avec l'ensemble des icônes représentant des feuilles dans le réel. Cependant, les actions que l'on peut réaliser sur les feuilles ne sont pas les même que dans le réel, par exemple Navigational Blocks *(Camarata, et al., 2002)*

3

B. Verb

Une analogie est faite sur l'action réalisée par l'objet TUI et son pendant "réel". Exemples: Graspable Display *(Small, et al., 1997)*

4

None

Aucune métaphore n'est employée. Ce niveau peut être comparé à une interface en ligne de commande où le geste de taper n'a pas de corrélation avec l'effet. Exemples : Bit Balls *(Resnick, et al., 1998)*

1.2.5. Perspectives d'évolutions des interfaces tangibles (Ishii, et al., 2012)

Malgré que les représentations tangibles permettent d'être couplées à l'information digitale, elles restent cependant limitées dans le changement de leur forme, leur positionnement, ou toute autre propriété physique (couleur, taille...). Cette contrainte peut rendre incompatible l'aspect physique des TUIs avec les modèles digitaux de visualisation de l'information.

À l'inverse, les pixels sont capables d'effectuer ces changements en temps réels. Aujourd'hui, pour qu'une TUI soit réussie, il faut qu'il y ait un couplage fort entre la représentation physique et la représentation digitale afin d'avoir une interaction transparente avec l'information digitale, la représentation digitale permettant d'avoir un retour en temps réel.

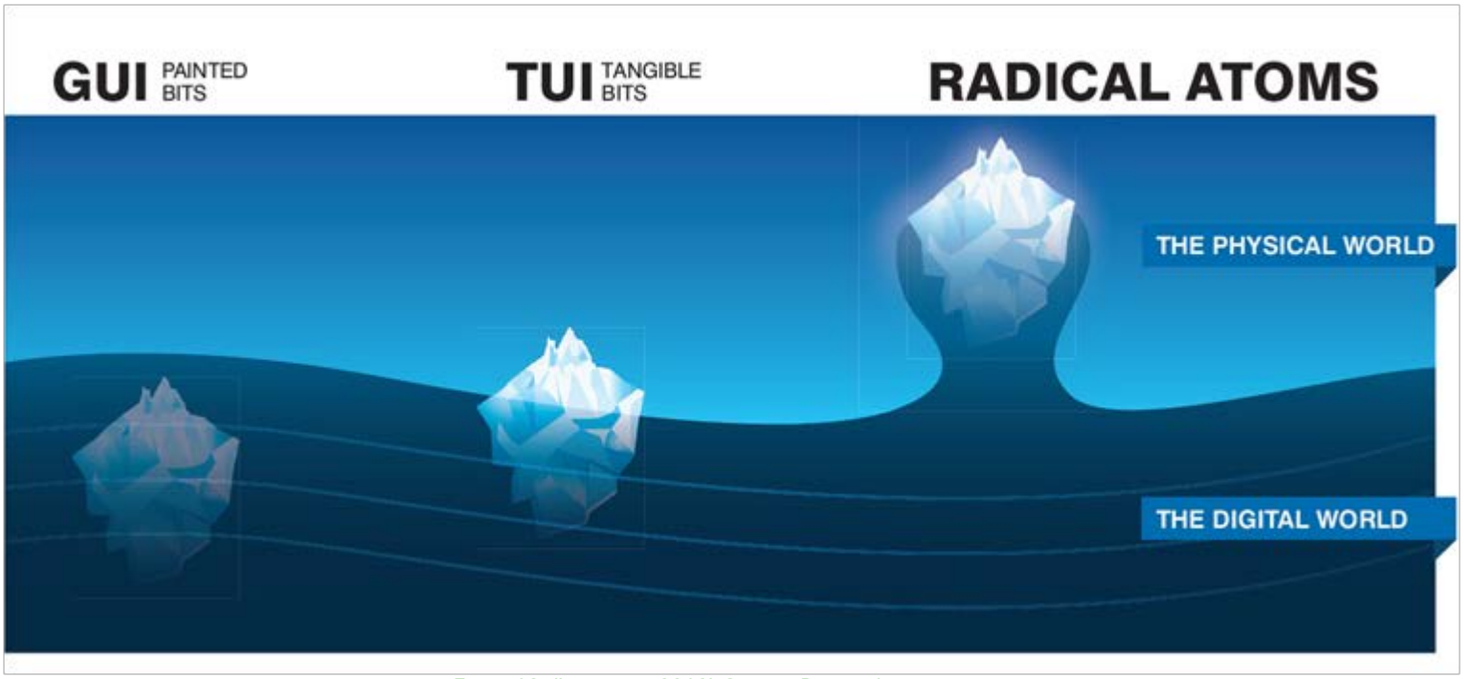


Figure 18. (Ishii, et al., 2012) Concept Radical Atoms

GUI – Une interface utilisateur graphique nous laisse uniquement la possibilité de voir et d'interagir avec l'information de manière indirecte, comme si nous devions regarder à travers l'eau pour interagir avec les formes en dessous.

TUI – Une interface tangible est comme un iceberg : une partie est émergée dans le monde physique permettant l'interaction avec celle-ci.

Radical Atoms (vision) – appelé également MUI – toute l'information digitale est physicalisée de telle manière qu'il est possible d'interagir directement avec elle dans le monde réel.

Le concept de Radical Atoms *(Ishii, et al., 2012)* vise à créer de la matière physique dynamique qui peut être transformable et reconfigurable. Cette matière hypothétique est, malléable et couplée dynamiquement avec l'information digitale de telle manière que les changements de la représentation physique sont transposés dans le monde digital en temps réels et vice-versa.

Grâce à cette matière, il serait possible de contrôler la forme des objets et offrir une affordance spécifique d'un système selon une situation particulière. Pour mener à bien sa mission d'interface avec le monde digital, elle fournirait les informations aux utilisateurs sur ces capacités à un temps t et imposerait des contraintes d'environnement à l'utilisateur.

Perfect Red est un exemple qui illustre ce concept (Figure 19)

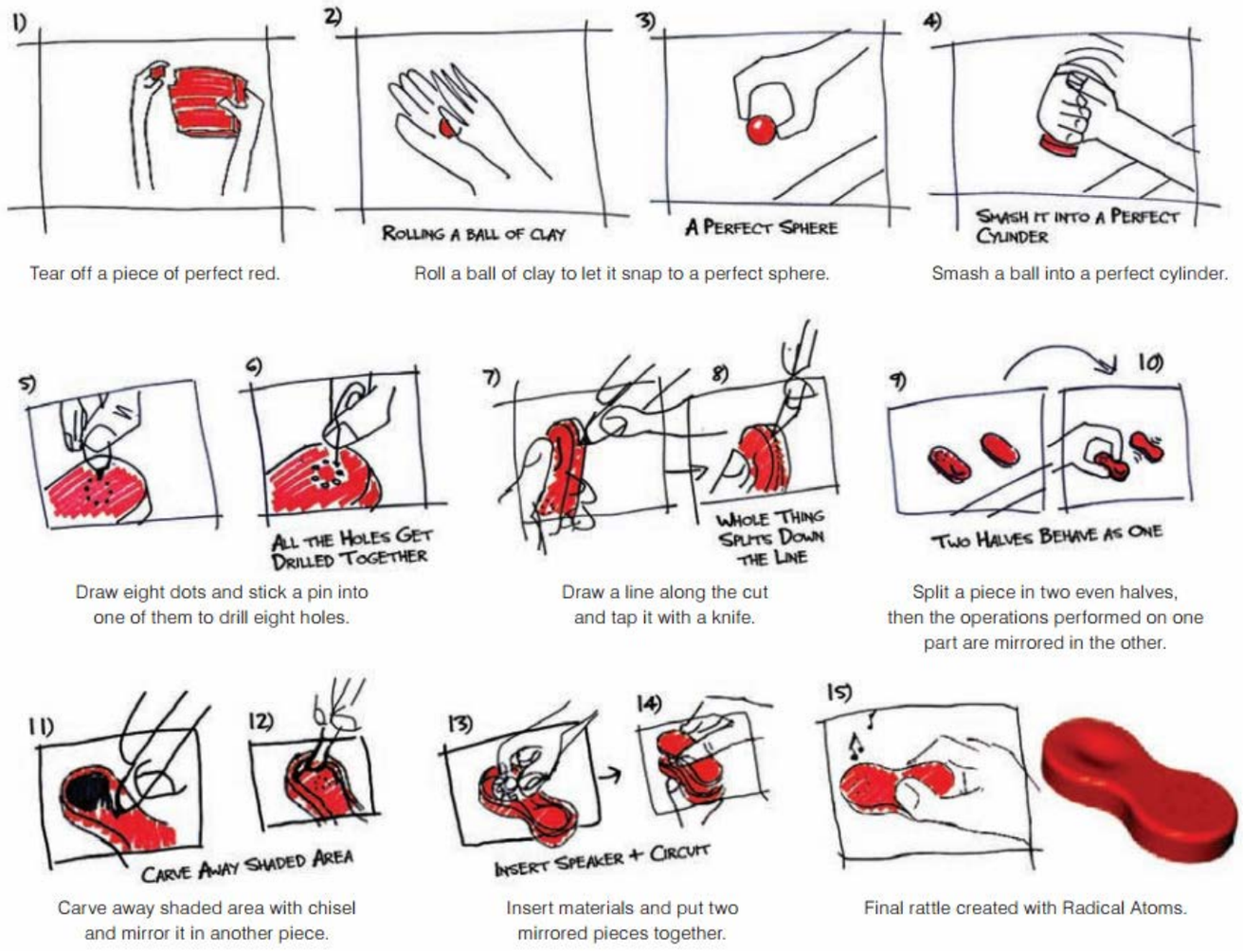


Figure 19. (Ishii, et al., 2012) Perfect Red : Concept de matière programmable

Ce principe de Radical Atoms a bien entendu tout son sens en Data physicalisation. Représenter des données avec de la matière programmable permettrait de donner une tout autre dimension à ce domaine. (Voir point 1.3.2)

1.3. La Data physicalisation

Les data physicalisations sont des artefacts physiques représentant des données. Ces artefacts peuvent évoluer et être dynamiques grâce à l'utilisation de l'informatique, soit pour les créer, soit pour les modifier.

Matérialiser des données dans des artefacts n'est pas récent, il y a beaucoup d'exemples dans la vie de tous les jours. La plupart du temps, ces physicalisations sont statiques, mais offrent beaucoup d'avantages au niveau de la perception, de la cognition et de la communication par rapport à une simple feuille de papier ou un écran d'ordinateur.

On peut retrouver différentes dénominations dans la littérature comme ceux décrits par Yvonne Jansen (auteure du site de référence dataphys.org) *(Jansen Y., 2013)* reprise ci-dessous:

physical visualization :

> ***Traditional visualizations map data to pixels or ink, whereas physical visualizations map data to physical form." (Jansen, et al., 2015)***

data physicalisation :

> ***A data physicalization (or simply physicalization) is a physical artifact whose geometry or material properties encode data." (Jansen, et al., 2015)***

Y. Jansen propose que la « data physicalization » soit synonyme de « physical visualization » afin de ne pas mettre l'accent sur « visualisation ».

De plus, il est nécessaire de rappeler que la Data physicalisation (majuscules) est aussi un domaine de recherche à la croisée des chemins entre la visualisation de données et les interfaces tangibles qui ont été décrites précédemment.

> ***We propose to think of Data Physicalization as a research area that examines how computer-supported, physical representations of data (i.e., physicalizations), can support cognition, communication, learning, problem solving, and decision making." (Jansen, et al., 2015)***

C'est cette définition qui sera utilisée comme base de travail pour la taxonmie.

La Data physicalisation est aussi le processus de tangibilisation (physique) des données.

1.3.1. Cas d'utilisation des physicalisations

Un exemple d'utilisation de physicalisation est illustré sur la Figure 20, où une équipe de développement utilise un plateau de brique LEGO pour réaliser du « bug tracking ». BUG-LEGO consiste en la construction de petites structures qui sont la représentation de bugs logiciels. Ceux-ci sont construits avec des blocs de LEGO et placés dans l'espace de travail de l'équipe de développement. Les blocs représentent les priorités, les dépendances, ou encore la difficulté des bugs logiciels observés par les développeurs.

Figure 20. (Dragicevic, 2013) BUG-LEGO

Les bénéfices rencontrés sont :

1. Une visualisation intuitive de la quantité de bugs logiciels, peu importe le profil de la personne entrant dans la pièce
2. Un changement positif de mentalité des développeurs par rapport aux bugs. Plaisir de construire et détruire une structure
3. Les contraintes physiques du plateau deviennent un objectif pour limiter le nombre de bugs

Le New York times quant à lui a utilisé des tas d'hôtels en plastique de Monopoly pour expliquer les coûts des campagnes électorales en termes de ménage. Cette représentation faite à partir de pièces physiques fait que ce message est particulièrement compréhensible (Figure 21). Ce genre de campagne suscite l'intérêt des gens. Les utilisateurs auront envie d'explorer les données et la compréhension du message en sera facilitée.

Figure 21. (Dragicevic, 2013) Monopoly U.S. Cost of Political Campaigns

D'autres exemples de physicalisations sont particulièrement efficaces dans leur capacité à présenter de l'information à une personne Lambda. Certains orateurs aiment utiliser des représentations physiques pour souligner leurs messages pendant leurs démonstrations.

C'est un fait, de plus en plus de données sont disponibles, mais leur compréhension et leur exploitation par le grand public restent un problème. Les représentations physiques étant attrayantes, elles constituent une porte d'entrée vers la compréhension des données grâce à une prise en main plus simple.

1.3.2. Usages conceptuels

Pour aller plus loin dans le potentiel des physicalisations, deux exemples conceptuels, qui ne sont pas contraints aux limitations technologiques, sont présentés.

Illustration d'un modèle économique complexe *(Jansen, et al., 2015)*

Un analyste développe un modèle multivarié prédisant l'activité économique d'un pays. Lors d'une réunion, il physicalise via un graphique les données du passé et les données prédictives pour les indicateurs qu'il a choisis (croissance, chômage, rentrée de la TVA, PIB, etc.) :

- Pour matérialiser les incertitudes du système, l'analyste utilise des cônes couvrant l'espace des valeurs possibles.
- Pour illustrer les besoins nécessaires pour atteindre une croissance de 2%, l'analyste déforme et compresse ces cônes de croissance montrant l'effet que cela aurait sur les rentrées de la TVA.

Une fois qu'il obtient ce qu'il souhaite, il « gèle » la physicalisation et en fournit une copie imprimée en 3D aux personnes présentes à la réunion.

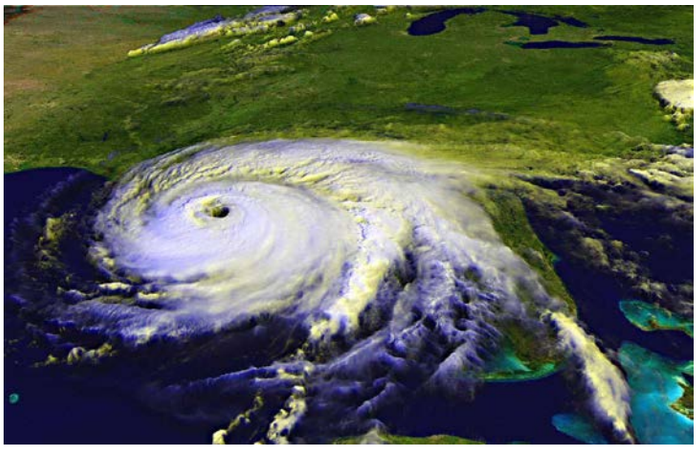


Figure 22. http://www.noaanews.noaa.gov/ illustration du concept d'ouragans recréés en physicalisation

Musée des Sciences *(Jansen, et al., 2015)*

Un visiteur du musée marche dans une pièce qui décrit les changements climatiques sur Terre. Au moyen de pierres qui physicalisent les changements de température, il peut se rendre compte des conditions de chaleur dans le passé.

Par exemple, lorsqu'il entre dans une pièce consacrée à l'ère volcanique, la pierre devient brûlante. A contrario, quand il entre dans une pièce représentant la période glaciaire, la pierre se met à geler.

Une autre pièce du musée montre les mouvements d'ouragans lors des 50 dernières années. Les ouragans sont recréés en miniatures à partir de nuages denses se mouvant de manière circulaire. Au centre, l'œil de l'ouragan permet d'entrevoir la carte du monde qui se trouve en dessous des nuages.

1.3.3. Les bénéfices des physicalisations

Comme dit précédemment, il y a beaucoup de bénéfices à utiliser des physicalisations d'un point de vue perceptuel, cognitif ou sociétal. Cependant, peu d'études empiriques se penchent directement sur le sujet et les avantages et inconvénients ne sont pas encore bien connus. Il est toutefois possible de distinguer certains avantages marquants :

1

Démultiplier nos compétences de perception

- **Perception active** : Un des bénéfices majeurs est une meilleure exploitation des compétences de perception active. Par exemple, un objet physique de petite taille peut facilement être manipulé dans tous les sens pour obtenir un meilleur angle de vue.

  Une physicalisation à grande échelle peut être explorée en marchant autour d'elle. Les visualisations sur écrans, quant à elles, doivent être accompagnées obligatoirement d'une interface d'entrée (tels claviers souris) et de sortie (comme des écrans) pour obtenir le même degré d'interactivité avec possiblement des soucis de navigations. Ces outils nécessitent souvent une formation pour pouvoir être maîtrisés par l'utilisateur *(Jansen, et al.,2015)*.

- **Perception de la profondeur**: Un autre avantage des physicalisations est qu'elles nous permettent de mieux ressentir les volumes en 3D qu'avec la version sur écran par exemple. En effet, il faut plus d'efforts d'interprétation pour percevoir des données 3D sur ceux-ci que si elles sont physicalisées *(Jansen, et al.,2015)*.

- **Perception multisensorielle**: Alors que la vision est le sens dominant chez l'humain, il n'est pas le seul nous permettant d'explorer le monde. Les physicalisations peuvent tirer avantage de ces canaux additionnels pour couvrir un espace plus grand qu'un simple écran.

  Toucher un objet permet de se rendre compte d'autres informations : sa température, son poids, ses textures... (Comme décrit dans les exemples conceptuels pour le cas du musée des sciences). L'ouïe, le goût et l'odorat fournissent également des informations supplémentaires sur les propriétés de l'objet *(Jansen, et al.,2015)*.

- **Perception intermodale**: L'idée de transmettre des données via les différents sens est particulièrement suivie dans l'approche multimodale, où de multiples interfaces de sorties s'adressent aux sens séparément.

  À l'inverse, les data physicalisations suivent une approche intermodale qui garantit l'expérience multisensorielle. En effet, lorsqu'on inspecte les objets physiques, les sens sont interpellés ensemble. Par exemple, gratter une surface texturée produit un bruit ajoutant de l'information à la texture ressentie au toucher *(Jansen, et al.,2015)*.

2

Améliorer la cognition

La compréhension et l'apprentissage sont facilités grâce à la manipulation physique des représentations *(Piper, 2002)*. Cette évidence est démontrée dans des études relatives aux interfaces tangibles *(Shaer, 2010),* mais également par la psychologie de l'éducation *(Froebel, 1885).* Même si, les artefacts physiques utilisés ne transmettent pas de données, il est supposé que les physicalisations ont un bénéfice sur l'apprentissage *(Jansen, 2013)*.

3

Susciter l'intérêt

Un des challenges de la visualisation de l'information est d'attirer l'attention de la population spécialement dans le milieu du journalisme (voir Figure 19). La popularité grandissante des Data physicalisations dans beaucoup de domaines favorise l'attention du public. Cette popularité montre que les physicalisations attirent les lecteurs, et que l'intérêt rencontré peut être transformé en un moyen pour que les gens passent plus de temps et d'efforts à explorer et comprendre des données complexes *(Jansen, et al.,2015)*.

4

Rendre les données accessibles

Vu l'approche multimodale des physicalisations et le fait qu'elles fassent intervenir les sens autres que la vue, elles sont particulièrement indiquées pour rendre l'information accessible aux personnes mal voyantes. Dans ce cas, l'exploration des données peut être réalisée en détail grâce au toucher. En restant compatible avec l'exploration des données, ces artefacts permettent la collaboration entre des analystes voyants et non voyants *(Jansen, et al.,2015)*

1.3.4. Adaptation de l'InfoVis pipeline vers les systèmes « beyond desktop »

L'InfoVis pipeline est très utile pour comprendre les systèmes de visualisation de l'information se focalisant sur les systèmes classiques (écran, souris, clavier). Ce processus a été étendu pour capturer au mieux les configurations non conventionnelles *(Jansen, 2013)*. Ce modèle conceptuel d'interactions facilite la description, la comparaison et la critique des systèmes de visualisation « beyond desktop » et, de surcroît, les data physicalisations. Il sera d'ailleurs utilisé plus loin dans le document pour formaliser le comportement des data physicalisations.

La Figure 20 montre deux silos, le premier silo, intitulé « visualisation system », représente le processus de transformation partir des données brutes jusqu'à la création de sa représentation dans le monde réel.

- **Data transformation** : Son rôle est de traiter les raw data (données brutes) pour qu'elles soient compatibles avec le processus de visualisation. Les données seront compilées, filtrées, agrégées pour convenir au besoin de l'utilisateur.
- **Visual mapping** : Cette transformation donne une forme visuelle initiale aux données traitées en mettant en relation les entités de données à des repères visuels et des dimensions de données à des variables visuelles. Il s'agit de la partie fondamentale d'une représentation de données, car elle permet de distinguer la technique de visualisation utilisée. Le résultat est une « abstract visual form » signifiant que la représentation n'est pas complètement définie
- **Presentation mapping** : L'objectif de cette transformation est de rendre une présentation visuelle complètement définie

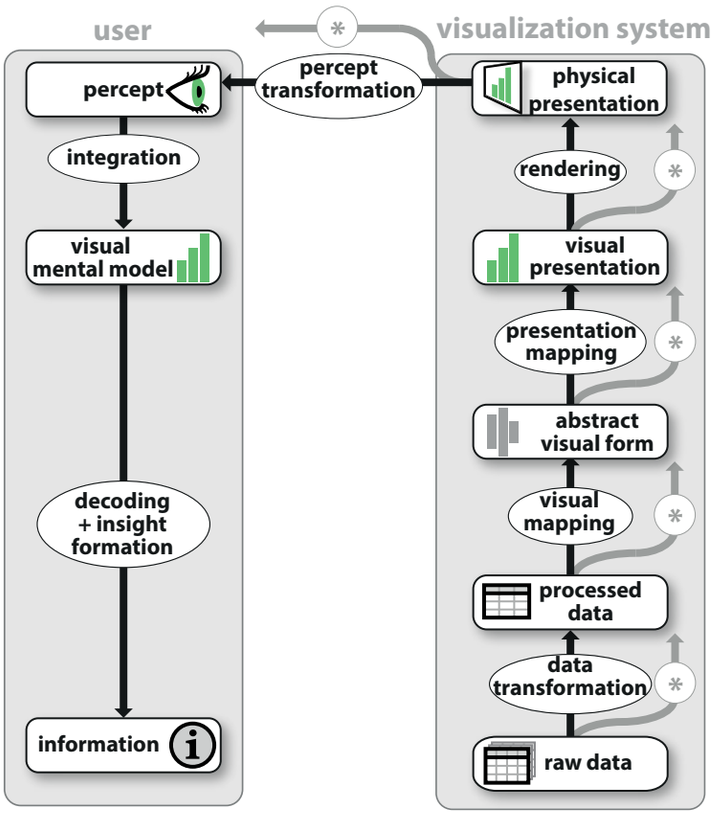


FIGURE 23. (JANSEN, 2013) VERSION ÉTENDUE DE L'INFOVIS PIPELINE

permettant l'affichage, l'impression ou la fabrication. Des opérations de spécialisation, décoration, stylisation et d'optimisation (style, algorithmes…). Le résultat est la « visual presentation » qui peut être un modèle 3D, une image…

- **Rendering** : Cette transformation amène la « visual presentation » dans le monde réel. Le résultat est la « physical presentation » qui est l'objet physique ou hybride (tangible + intangible).

Le second silo, intitulé « user », représente la manière que l'utilisateur voit et assimile la visualisation. Introduire l'utilisateur dans le pipeline permet de comprendre comment différentes configurations de systèmes fournissent une cognition de différentes manières.

- **Percept transformation** : Cette transformation définit la façon dont la présentation physique devient un objet concret pour l'utilisateur (percept) à un moment t. Il ne verra pas un ensemble d'atomes ou de pixels, mais une représentation ayant une signification.
- **Integration** : Le nouveau percept est intégré avec les percepts précédents mettant à jour le mental visual model. Zoomer, filtrer nous donne accès à différents percepts de la présentation physique.
- **Decoding + Insight Formation** : Définit comment l'information est extraite du « visual mental model ». Décoder signifie extraire les valeurs et dépend de la facilité qu'a l'utilisateur à inverser le processus de visualisation des données. Pour que le processus d'inversion soit aisé, il est nécessaire que la présentation soir reconnaissable, lisible et du niveau de formation de l'utilisateur.

À chaque étape, il est possible d'avoir des branchements qui signifient qu'il peut y avoir plusieurs états suivants. Exemple: pour un même set de données brutes, il est possible d'avoir plusieurs sous-ensembles de données transformées. Les branchements peuvent fusionner exprimant cette fois, par exemple, le rassemblement des présentations sur un seul système (écran, objet, physicalisation...).

D'autres éléments composant la notation (Figure 24) existent afin de répondre à un maximum de cas d'applications *(Jansen, 2013)*.

Ce modèle sera utilisé pour décrire, discuter et comparer les physicalisations au point relatif à la proposition d'une taxonomie pour les physicalisations.

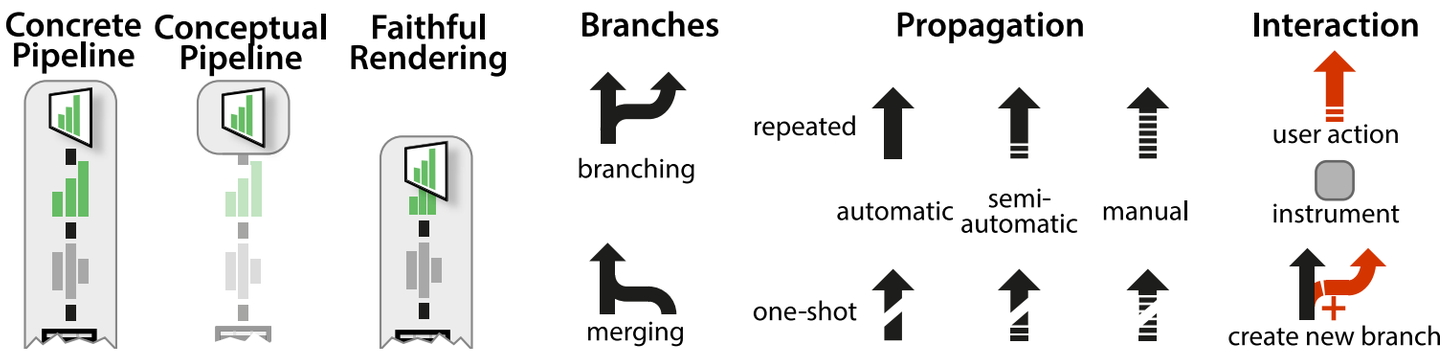


Figure 24. (Jansen, 2013) Liste des éléments de la notation visuelle relative aux pipelines de visualisation de l'information « beyond desktop »

1.3.5. Physicalisation dynamique et physicalisation statique

La liste des physicalisations présentées sur le site dataphys.org *(Dragicevic, 2013)* nous montre que la plupart des artefacts recensés sont soit inertes *(Dragicevic, 2013)*, soit créés puis ensuite déconnectés de leur source de données (Impressions 3D, Construction passive à partir de bloc, découpe au Laser). Ces physicalisations ont les bénéfices énumérés ci-avant par rapport à leur version visuelle. Ils peuvent aussi être manipulés de manière plus directe (manipulation directe) qu'avec une souris ou via un écran *(Jansen, 2013)*. Les modalités physiques ouvrent un nouveau champ d'interactions possibles comparé aux visualisations sur écrans.

Même lorsqu'elles sont statiques, les physicalisations doivent être construites avant d'être utilisées. Une fois créées, leurs modifications sur leur représentation physique sont le plus souvent limitées.

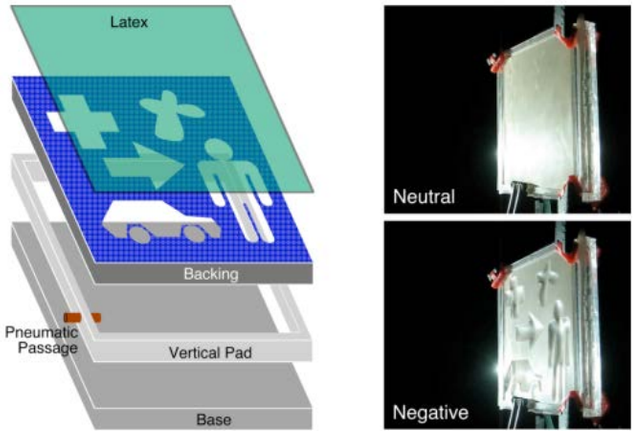
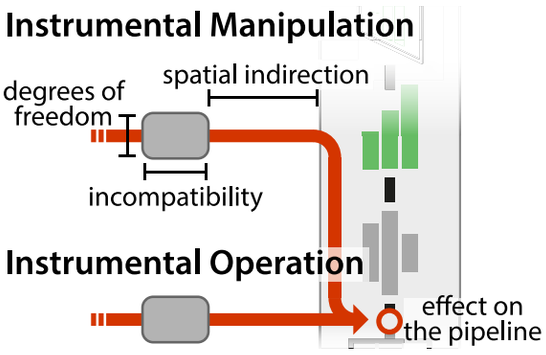


FIGURE 25. (HARRISON, ET AL., 2009) DYNAMICALLY CHANGEABLE PHYSICAL BUTTONS ON A VISUAL DISPLAY



Les interactions avec l'objet se feront en le touchant directement, via des gestuelles (perte du toucher, dimension multimodale diminuée) ou « en tirant et poussant ». *(Taher, et al., 2015)*

Les formes physiques ont leur équivalent physique du pixel et qui peuvent servir un même objectif. L'implémentation de ceux-ci est réalisée soit au moyen de broches motorisées pouvant s'extraire de la surface ; soit au moyen de pneumatiques (Figure 25) ; ou via des métaux à mémoire de forme (Figure 26).

Les capacités interactives et de calculs que l'ont peut retrouver dans les visualisations sont, dès lors, perdues. Les interfaces tangibles dont la forme peut être modifiée (Relief, inFORM) ont montré le chemin vers la création de physicalisation dynamique restant connectée à leur source de données. De cette manière, l'exploration de données n'est plus limitée par cet inconvénient.

FIGURE 26. (COELHO, ET AL., 2008) SURFLEX: A PROGRAMMABLE SURFACE FOR THE DESIGN OF TANGIBLE INTERFACES

À retenir

La Data physicalisation est un domaine de recherche qui examine la manière, grâce à l'apport de l'informatique, les physicalisations, sont capables d'aider à la cognition, à la communication, à l'apprentissage, à la résolution de problème et la prise de décision.

Une physicalisation ou data physicalisation est un artefact physique dont les propriétés physiques ou géométriques encodent des données.

La Data physicalisation est un nouveau domaine de recherche faisant référence à la croisée des chemins entre les interfaces tangibles et la visualisation des données.

- Tout comme l'InfoVis, la Data physicalisation vise à faciliter l'exploration des données grâce à des représentations de celles-ci pour améliorer le processus de cognition, de communication, d'apprentissage, de prises de décisions. Explorer les données signifie : procéder à la recherche et à l'analyse des données pour trouver des informations utiles.
- Tout comme les TUIs, la Data physicalisation s'attache aussi bien aux inputs qu'aux outputs. Cependant, l'interaction tangible cherche à intégrer la partie interaction d'un système dans des objets manipulables, qui peuvent par la suite servir d'interacteur direct, de filtres, de loupes... La représentation physique des données en output est moins importante.
  La Data physicalisation se focalise, quant à elle, sur la représentation physique (output) de l'information digitale pour réaliser des opérations d'exploration des données (dans le sens de l'InfoVis). La représentation physique des données en input est moins importante.

Fishkin proposa, en 2004, une taxonomie qui permet de classer les interfaces tangibles et qui rassemble les taxonomies précédentes du domaine. Deux dimensions sont utilisées pour le classement : l'incarnation et la métaphore. L'incarnation vise à mesurer dans quelle mesure le système est intégré à l'objet manipulé. La métaphore mesure le caractère analogue qui existe entre les effets rendus par le système et ceux obtenus dans le monde réel pour une action similaire.

Le modèle d'interaction, MCRit (Model Controller Représentation intangible and tangible), a été développé pour les TUI et les GUI à partir du MVC (Model View Controller). MCRit souligne l'intégration du contrôle à la représentation physique, éliminant la distinction entre les interfaces d'entrées et de sorties. Cette intégration signifie que les objets tangibles incarnent les significations de la représentation et de la manipulation de l'information digitale.

Dans une représentation physique de données, l'équivalent du pixel d'une représentation digitale est actuellement réalisée au moyen de différentes techniques (broches motorisées, pneumatiques, matériaux à mémoire de forme). Dans le futur, la matière programmable permettra de réaliser cette équivalence.

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

2. Proposition d'une taxonomie classant les physicalisations

Le domaine de la Data physicalisation est jeune et n'est pas encore bien démontré. Il n'existe actuellement pas de système permettant de définir ou d'organiser les objets de manière rigoureuse. Actuellement, le périmètre de conception est établi à partir d'exemples de physicalisations répertoriés sur le site internet : dataphys.org.

L'objectif du mémoire est de fournir un système de classement des physicalisations et ayant pour but de:

- *permettre la comparaison de différents travaux existants pour ensuite traduire une possible évolution (Fishkin, 2004)*
- *définir le périmètre de conception des physicalisations (Fishkin, 2004)*
- *guider la conception de physicalisations qui conviennent à différents cas d'utilisations (Fishkin, 2004)*
- *permettre l'orientation des recherches (Jansen, et al., 2015)*

2.1. Fondements, définitions et méthodologie

2.1.1. Frameworks et taxonomies

Comme le suggère Orit Shaer et al.:

> ***Frameworks can be characterized as providing a conceptual structure for thinking through a problem or application. Thus, frameworks can inform and guide design and analysis." (Shaer, 2010)***

Ils proposent également une définition pour le terme «Taxonomie » :

> ***Taxonomy is a specific type of framework that classify entities according to their properties, ideally unambiguously." (Shaer, 2010)***

De manière générale, plus il existe de dimensions, plus une taxonomie est capable de décrire finement un élément, mais au détriment de la clarté et de la simplicité.

En choisissant les dimensions de la taxonomie, il doit être possible de classifier l'ensemble des physicalisations existantes et futures. Un des dangers à éviter est d'être trop spécifique dans le choix des dimensions pour une taxonomie générique.

2.1.2. Méthodologie de recherche

Afin de comprendre le domaine de recherche proposé, il a, tout d'abord, fallu prendre connaissance de ses technologies sous-jacentes que sont la visualisation de l'information et les interactions tangibles.

Par la suite, l'analyse de l'existant dans le domaine de la Physicalisation à proprement parler, a démarré en se basant sur les articles publiés jusqu'à ce jour. Ceux-ci ont été répertoriés sous forme de mind-mapping en suivant une classification selon les domaines et les objectifs.

La première question était de savoir s'il existait des taxonomies sur le sujet. Les recherches opérées n'ont pas permis d'identifier une quelconque taxonomie. La question qui a suivi était alors de savoir comment créer une nouvelle taxonomie? Étant donné que les deux domaines sous-jacents sont bien documentés et possèdent différentes taxonomies, le choix s'est porté sur une taxonomie qui se base ces dernières.

La méthodologie choisie pour effectuer le travail était de définir un modèle de départ sur base de la taxonomie de Fishkin (point 1.2.4) et de la confronter aux nombreux exemples présents sur le site internet dataphys.org et ensuite, de l'améliorer en suivant une démarche itérative. La dimension d'incarnation de Fishkin semblait disposer de nombreux atouts pouvant aider à démarrer. Par la suite, le modèle de représentation MCRit et le pipeline de visualisation de l'information, présentée précédemment dans l'état de l'art (point 1.2.2 et 1.1.2), servirent de points de référence à l'élaboration des différents grands axes de la taxonomie. Le modèle InfoVis « Beyond desktop » (point 1.3.4) a permis de concrétiser certaines notions (dynamisme concret, dynamisme conceptuel, statique) rendant la taxonomie plus robuste.

Afin d'arriver au résultat présenté, il a été nécessaire de réaliser huit itérations d'un processus d'amélioration et de confrontation aux exemples.

2.2. Présentation de la taxonomie

L'objectif premier de la taxonomie est d'arriver à quantifier le degré de physicalisation d'un objet. Plus le niveau sera haut, plus l'objet sera physicalisé. Pour ce faire, la taxonomie est basée sur une classification en fonction de trois dimensions.

Pour définir ces différents axes et leurs niveaux, un scénario générique a été imaginé. Ce qui peut être attendu d'une physicalisation peut être compris par ce scénario simple :

1. Un objet est créé sur base de données. Cette représentation de données permet la communication et la perception de celles-ci.
2. Différentes manipulations rendent possibles des opérations d'exploration sur les données. Ces inputs sont traités et modifient le modèle de données à représenter. D'autres manipulations comme le zoom, la focalisation de l'attention sur une zone de l'artefact, etc. permettent une exploration des données.
3. Le système peut travailler sur les propriétés de la physicalisation pour rendre au mieux les manipulations opérées par l'utilisateur.

Au bout des huit itérations d'amélioration de la taxonomie due à la confrontation aux exemples de dataphys.org, trois axes ont été choisis :

1. La Matérialisation des données
2. Le Dynamisme de la physicalisation
3. L'Incarnation

Les dimensions possèdent respectivement, cinq, trois et cinq niveaux.

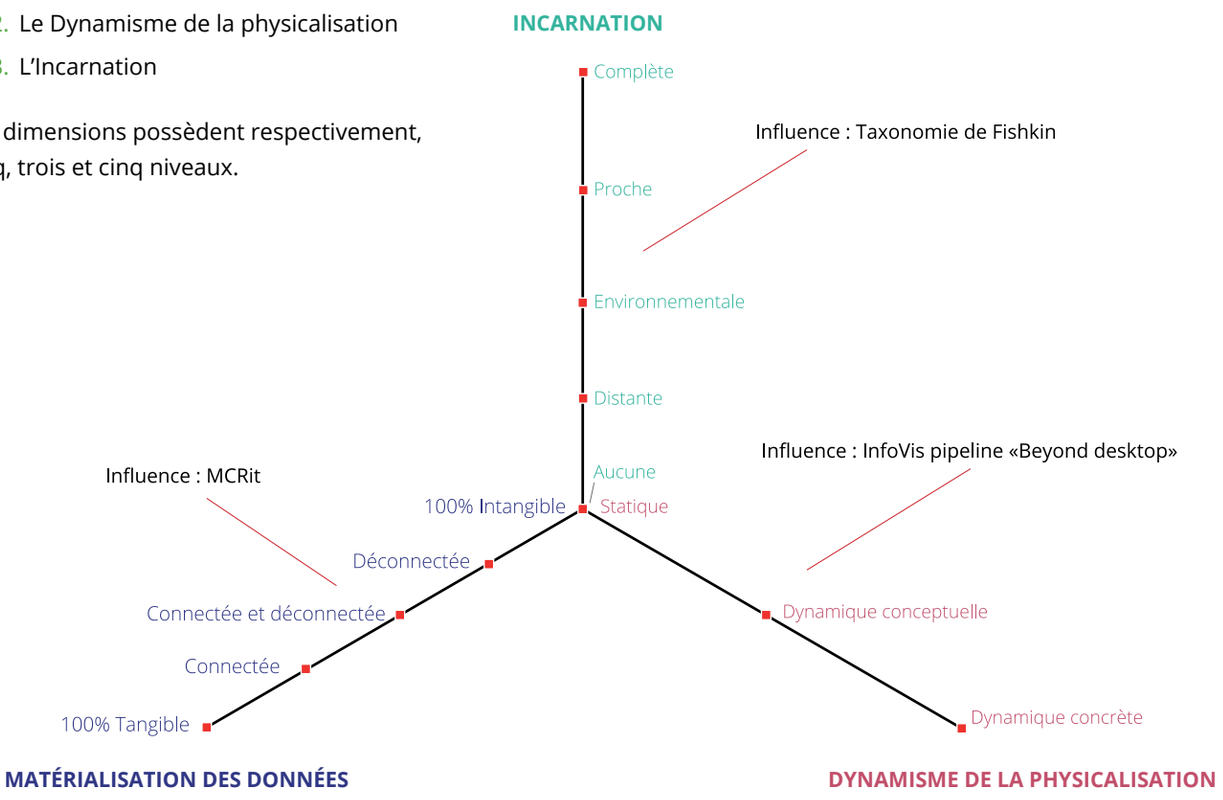


FIGURE 27. ILLUSTRATION DE LA TAXONOMIE TRI DIMENSIONNELLE

En reprenant la définition du domaine de la Data physicalisation formulée par Jansen et Dragicevic, il est possible de rattacher chaque dimension à un aspect de la définition :

> ***We propose to think of Data Physicalization as a research area that examines how computer-supported physical representations of data (i.e., physicalizations), can support cognition, communication, learning, problem solving, and decision making." (Jansen, et al., 2015)***

Incarnation, Dynamisme de la physicalisation

Materialisation des données

Dynamisme de la physicalisation

Afin de pouvoir aisément capturer le niveau de physicalisation défini par la taxonomie, les niveaux attribués pour un objet donné sont reliés, décrivant de telle manière une surface triangulaire (aire de couverture). C'est cette surface qui permettra une comparaison aisée entre les différents objets physicalisés (Figure 28).

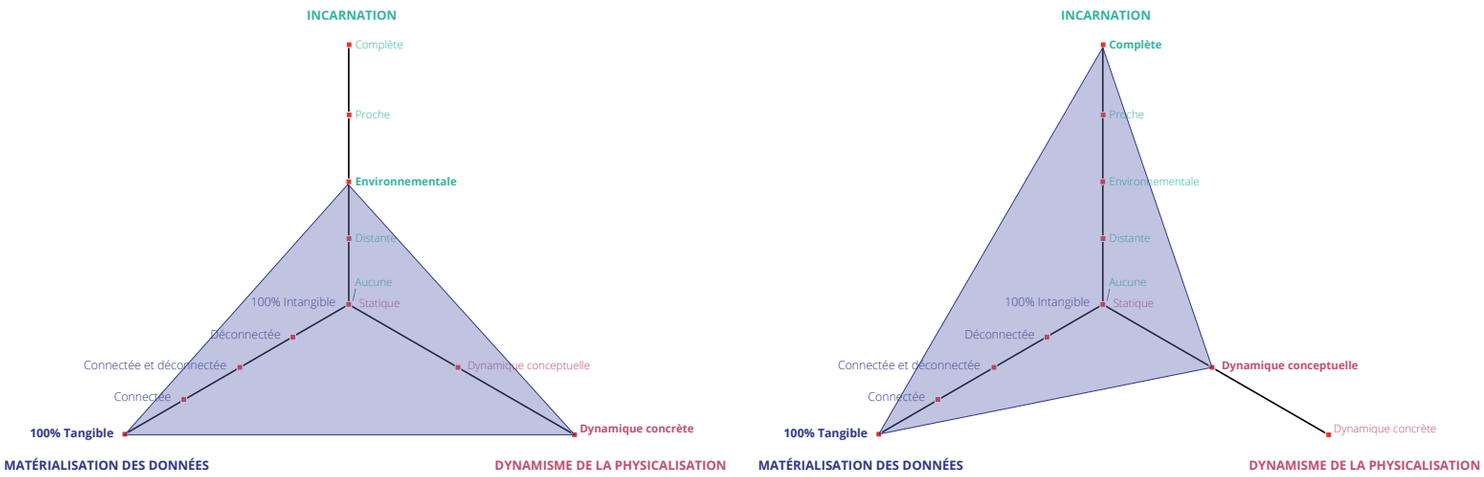


FIGURE 28. EXEMPLES D'AIRES DE COUVERTURE POUR DEUX PHYSICALISATIONS DIFFÉRENTES

2.2.1. Matérialisation des données

Dans la première étape du scénario générique, il est attendu qu'un objet représente des données. La représentation que l'objet fait des données doit permettre l'utilisation des autres sens que la vue pour permettre la communication, la perception des données. La matérialisation des données est un axe qui se concentre essentiellement sur la manière dont les données sont représentées. Dans certains cas, l'artefact utilisera une représentation tangible et une représentation intangible pour matérialiser les données. Dans d'autres cas, seule la représentation tangible sera utilisée.

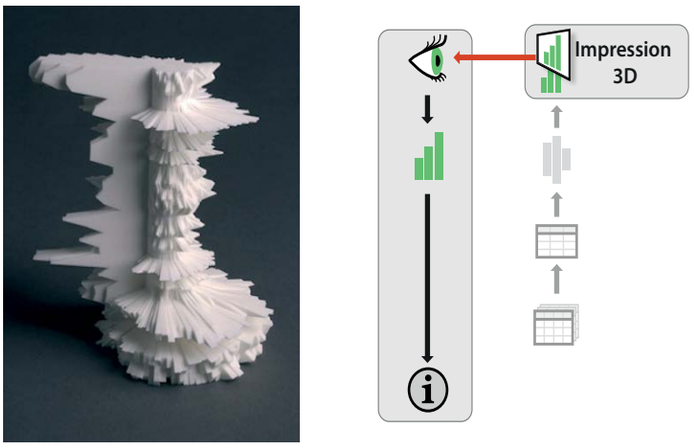


FIGURE 29. (DRAGICEVIC, 2013) ILLUSTRATION DU LIEN CONCEPTUEL ENTRE LA REPRÉSENTATION ET LE MODÈLE DE DONNÉES

La physicalisation aura-t-elle besoin de ces deux types de représentations pour exprimer l'information digitale (modèle de données) ? Les propriétés de la matière sont-elles suffisantes pour exprimer toutes les données ? Cette dimension s'attache à comprendre l'output : comment les données sont-elles représentées ?

Cette dimension s'inspire particulièrement du modèle MCRit, notamment, dans sa manière de montrer comment l'information digitale est représentée au moyen d'une représentation tangible et d'une représentation intangible. Par définition, une physicalisation va toujours correspondre à un ensemble de données. Même dans le cas d'une physicalisation de type impression 3D, il existe un lien conceptuel *(Jansen, 2013)* entre la représentation et le modèle de données comme le montre la Figure 29.

Par contre, le fait d'associer le contrôle à la représentation tangible n'est pas pertinent pour la Data physicalisation puisque l'interface d'entrée a moins d'importance que dans les TUIs.

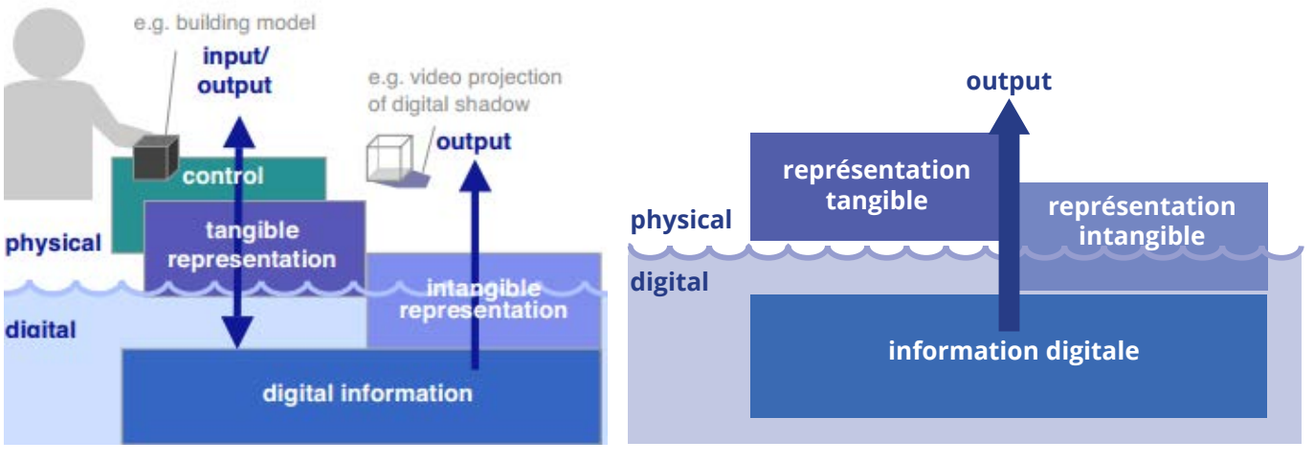


FIGURE 30. (ISHII, 2008) MCRIT CLASSIQUE (À GAUCHE) MCRIT LIMITÉ À L'UTILISATION DE LA DATA PHYSICALISATION (À DROITE)

Pour représenter des données de manière tangible, il faut arriver à rendre physique un équivalent du pixel digital. Cette transposition est réalisée au moyen de différentes techniques, comme montré dans différents projets : inFORM *(Follmer, 2013)*, Tiltscreen *(Rekimoto, 1996)*. Ces pixels physiques sont souvent implémentés au moyen d'éléments motorisés, de matières à mémoire de forme ou de pneumatiques. Ils permettent de faire varier une surface physique.

Les cinq niveaux de la matérialisation de données

1

100% Tangible

Les données sont matérialisées uniquement au moyen de la représentation tangible. Les propriétés de la matière sont utilisées pour représenter le modèle des données. L'objet n'utilise pas de représentation intangible. La plupart des physicalisations recensées à travers le temps sont de ce type. Par exemple, les Quipus Incas *(Dragicevic, 2013)* ou les jetons d'argile *(Dragicevic, 2013)* en Mésopotamie. De nos jours, Activity Logging with LEGO Bricks *(Dragicevic, 2013)* est une physicalisation qui utilise des Lego pour visualiser les activités d'une personne.

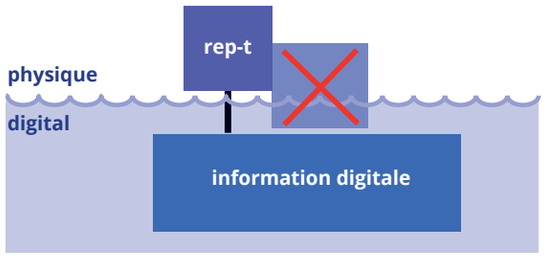


FIGURE 31. ILLUSTRATION DU NIVEAU « 100% TANGIBLE » BASÉ SUR LA REPRÉSENTATION VISUELLE DU MCRIT

2

Connectées

La représentation tangible et la représentation intangible du modèle des données (information digitale) sont connectées. Généralement, elles sont superposées l'une à l'autre. Passim: Visual Reconceptualisation of Spatial Theories*(Dragicevic, 2013)* utilise une projection d'images (représentation intangible) pour afficher des données sur une carte physique du monde (représentation tangible). London Eye Chart: A 135m Tall Donut Chart *(Dragicevic, 2013)* est un autre exemple.

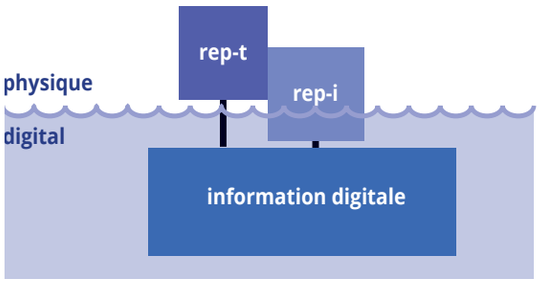


FIGURE 32. ILLUSTRATION DU NIVEAU « CONNECTÉES » BASÉ SUR LA REPRÉSENTATION VISUELLE DU MCRIT

3 Connectées et Déconnectées

La représentation intangible et la représentation tangible sont à la fois connectées et déconnectées. PARM: Static Terrain Models with Projection (Priestnall, et al., 2012) dispose d'une représentation tangible se traduisant par un relief physique sur lequel est superposée une projection pour montrer les détails du paysage. De plus, un écran dans les environs permet l'affichage d'informations complémentaires.

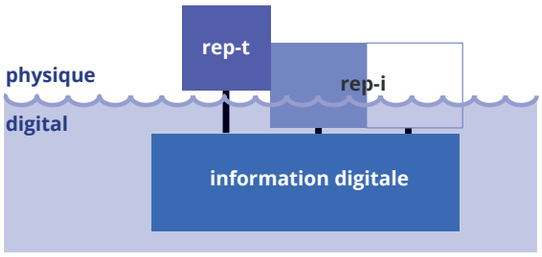


Figure 33. Illustration du niveau "connectées et déconnectées" basé sur la représentation visuelle du MCRit

4 Déconnectées

La représentation intangible se situe à proximité de la représentation tangible. Typiquement, un écran ajoute de l'information complémentaire à celle représentée par la représentation physique. Exemple : Coral Props *(Jansen, 2013)*

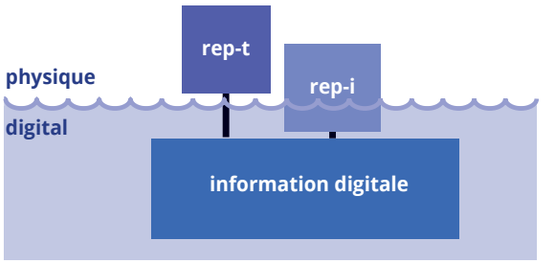


Figure 34. Illustration du niveau "déconnectées" basé sur la représentation visuelle du MCRit

5 100% Intangible

On ne parle pas de physicalisation si la représentation du modèle des données est 100% intangible (digitale la plupart du temps). Ce niveau est utilisé comme point de départ, comme niveau 0 exclus.

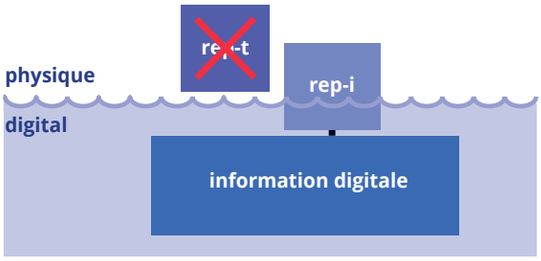


Figure 35. Illustration du niveau "100% intangible" basé sur la représentation visuelle du MCRit

2.2.2. Dynamisme de la physicalisation

Lors des étapes 2 et 3 du scénario générique, l'utilisateur peut interagir sur l'objet au moyen de mécanismes permettant de zoomer, filtrer, sélectionner les données représentées... L'utilisateur s'attend à recevoir un retour suite à la manipulation opérée.

Les modifications de la représentation tangible d'un artefact sont souvent limitées une fois celui-ci créé ce qui limite les bénéfices par rapport à une visualisation sur écran. La plupart des physicalisations rencontrées jusqu'à aujourd'hui sont passives c'est-à-dire qu'elles ont un ensemble de données fixe avec une représentation des données fixe.

Pour qu'une physicalisation soit qualifiée de dynamique, elle doit pouvoir refléter visuellement les changements:

- dans le set de données
- sur les données telles que les filtres et agrégation de données
- de représentation de données
- dans le paramétrage des données

Ces opérations peuvent être déclenchées par le système (animation) ou par l'utilisateur (interactivité) *(Jansen, et al., 2015).* **Elle doit disposer d'un mécanisme d'interaction permettant de modifier le pipeline de visualisation (Jansen, 2013).**

Implicitement, les représentations seront connectées à la source de données après leur processus de création (Taher, et al., 2015)

Un pipeline concret de visualisation (physicalisation) est un processus dont les étapes et transformations existent dans le monde réel. Les données brutes sont stockées sur des disques durs ou en mémoire et toutes les transformations existent réellement sous forme de code exécutable. Le résultat de ce processus est une représentation physique ou une image produite à partir des données brutes.

Dans d'autres situations, les représentations physiques de données ne s'appuient pas sur des données brutes stockées sur supports. Dans ce cas, on parlera de pipeline conceptuel qui signifie que si on le rendait concret, cela pourrait mener à la même représentation physique *(Jansen, 2013)*.

Les trois niveaux du dynamisme de la physicalisation

1

Dynamique de manière concrète

Les représentations sont connectées au modèle de données (information digitale) via un pipeline concret. Différents mécanismes permettent de modifier le(s) pipeline(s) de visualisation. Exemple: Emoto - Projection Augmented Heatmaps of Twitter Data *(Dragicevic, 2013)*

2

Dynamique de manière conceptuelle

Les représentations sont connectées au modèle de données (information digitale) via un pipeline conceptuel. Différents mécanismes existent permettant de modifier le pipeline. Une représentation physique en LEGO d'un planning n'est pas connectée directement à une source de données « concrète ». Cependant, les LEGO représentent les données et lorsqu'on ajoute ou retire des blocs, le modèle de données est modifié. Exemple : Rearrangeable 3D Bar Chart *(Jansen, 2013)*

3

Statique

Il n'existe pas de mécanisme pour modifier le pipeline de visualisation. Exemple : Google Eye-Radial Visualization of Page Visits *(Dragicevic, 2013)*

2.2.3. Incarnation

Dans la seconde étape du scénario, il est prévu que l'utilisateur interagisse avec la physicalisation avec pour objectif d'explorer les données.

Comme présenté au point 1.2.4, Fishkin propose une taxonomie qui permet de classifier les interfaces tangibles sur deux dimensions (Embodiment, Metaphor). Cette taxonomie a pour but de classifier les TUI pour savoir si elles plus ou moins tangible. Plus une TUI aura un niveau élevé dans les deux dimensions plus elle sera tangible et inversement.

Il paraît logique de s'inspirer de cette taxonomie de Fishkin pour nos dimensions. En effet, la dimension « Embodiment » est intéressante pour la Data physicalisation puisqu'elle cherche à mesurer l'intégration de la capacité de traitement à l'objet via la « distance » qu'il existe entre l'interface d'input et l'interface d'output. Cette distance est une propriété qui peut être mesurée sans ambiguïté. Par définition, la Data physicalisation est orientée output à des fins d'exploration données, la TUI est orientée input et manipulations. En TUI, la création des niveaux de la dimension « Embodiment » de la taxonomie de Fishkin est réalisée en fixant l'input et en faisant varier l'interface l'output. Pour le domaine de la Data physicalisation et la création de la dimension « Incarnation », l'output sera fixé pour varier l'input. Cependant, l'ajout d'un niveau « nulle » est nécessaire pour pouvoir mesurer les physicalisations statiques, qui ne peuvent être modifiées.

A contrario, il est estimé que la dimension « Metaphor » à moins de sens dans le cas de la Data physicalisation puisqu'elle s'attache à montrer comment l'objet, de par sa métaphore, aide l'utilisateur à comprendre comment il doit manipuler l'objet ou « comment les effets rendus par le système sont-ils analogues aux effets obtenus dans le monde réel pour une action similaire. »

Les interactions avec les physicalisations sont souvent réalisées via le toucher direct ou au moyen d'un système de détection de mouvement permettant l'interaction à distance en 3D. Par exemple, InFORM permet, en plus du touché direct, d'interagir avec des gestes (via kinect) pour utiliser des objets se trouvant sur sa surface ou avoir des interactions de contrôles comme faire une sélection dans un menu. Toutefois, même si l'interaction au moyen de geste est utile dans certains cas, elle perd une des qualités premières d'une physicalisation qui est d'être touchée (haptique).

Les cinq niveaux de l'incarnation

1 **Complet**

Le système dispose lui-même d'un mécanisme lui permettant d'interagir avec l'utilisateur. En plus d'être l'interface de sortie (représentations des données), la physicalisation est également l'interface d'entrée. Bit Planner: LEGO calendar *(Dragicevic, 2013)* illustre cette dimension.

2 **Proche**

L'interface d'entrée se trouve à proximité du système permettant à l'utilisateur de la manipuler. Typiquement, un objet externe à la physicalisation touchera la physicalisation pour interagir avec elle.

3

Environnementale

L'interface d'entrée se trouve dans l'environnement de la physicalisation. L'exemple du musée des sciences au point 1.3.2 illustre ce niveau lorsque l'utilisateur entre dans une pièce avec des pierres sensibles à la température.

4

Distante

L'interface d'entrée est externe à la physicalisation. L'interface n'est pas en contact avec la physicalisation. Elle peut être classique (couple clavier/souris) ou être d'autres types (TUI, vocal...). Emoto: Projection Augmented Heatmaps of Twitter Data *(Dragicevic, 2013)* illustre ce niveau d'incarnation par l'utilisation d'un bouton circulaire permettant de naviguer au travers les tweets.

5

Nulle

Il n'existe pas de mécanisme permettant d'interagir avec l'artefact. Le système de traitement ne fait pas partie de la physicalisation. Typiquement, les impressions 3D ou les objets historiques illustrent ce niveau d'incarnation.

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

3. Application de la taxonomie

Afin de tester l'efficacité de la taxonomie, quelques exemples ont été choisis dans la liste des physicalisations du site dataphys.org. Ensuite, la taxonomie est testée sur une déclinaison d'un concept particulier : le diagramme à bâtons.

3.1. Confrontation de la taxonomie aux exemples existants

Les exemples choisis sur dataphys.org sont représentatifs, car ils mettent en évidence des techniques de représentation des données et des périmètres fonctionnels différents balayant, de cette manière, la majeure partie des cas d'utilisations existants aujourd'hui.

3.1.1. Tempescope (Physical weather display) (Dragicevic, 2013)

Figure 36. http://www.tempescope.com/ Illustration du dispositif Tempescope

Description et analyse

Cet artefact est capable de représenter, en temps réel, les conditions météorologiques ou les prévisions météo en se connectant aux bulletins météo provenant d'internet (1). En fonction de s'il fait beau ou pluvieux, chaud ou froid, le dispositif va tantôt afficher des gouttes d'eau (2) ruisselant sur la vitre, tantôt afficher une lumière chaleureuse (3).

La matérialisation des données de cet artefact peut être qualifiée de connectée. En effet, la représentation intangible est connectée à la représentation tangible. Par exemple, la partie digitale est mise à contribution pour représenter les éclairs au moyen de flashs de lumière ou la température (3). Les autres méthodes de

transcription du modèle de données sont effectuées de manière tangible (2). L'artefact peut également être qualifié de dynamique concrète pour le dynamisme de la physicalisation car l'état de l'objet évolue selon l'arrivée de nouvelles données du service météorologique.

D'un point de vue conceptuel, l'humain perçoit l'activité de l'objet comme une réaction de l'environnement extérieur même si techniquement le modèle de données est mis à jour via le service de météorologie. L'incarnation est, de ce fait, évaluée à environnementale.

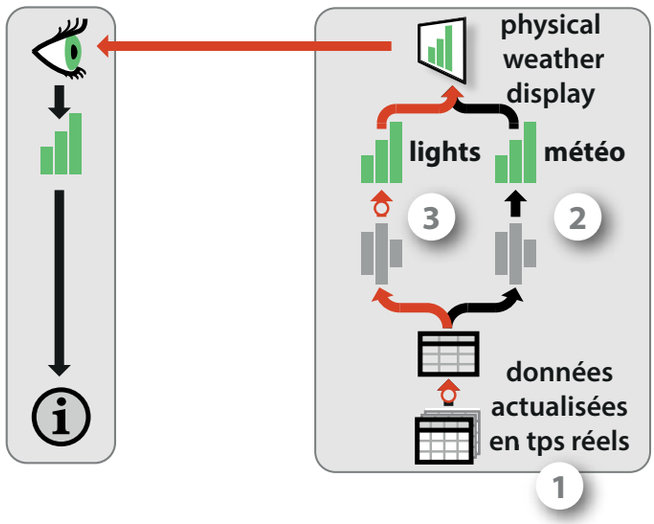


Figure 37. Modélisation du système Tempescope

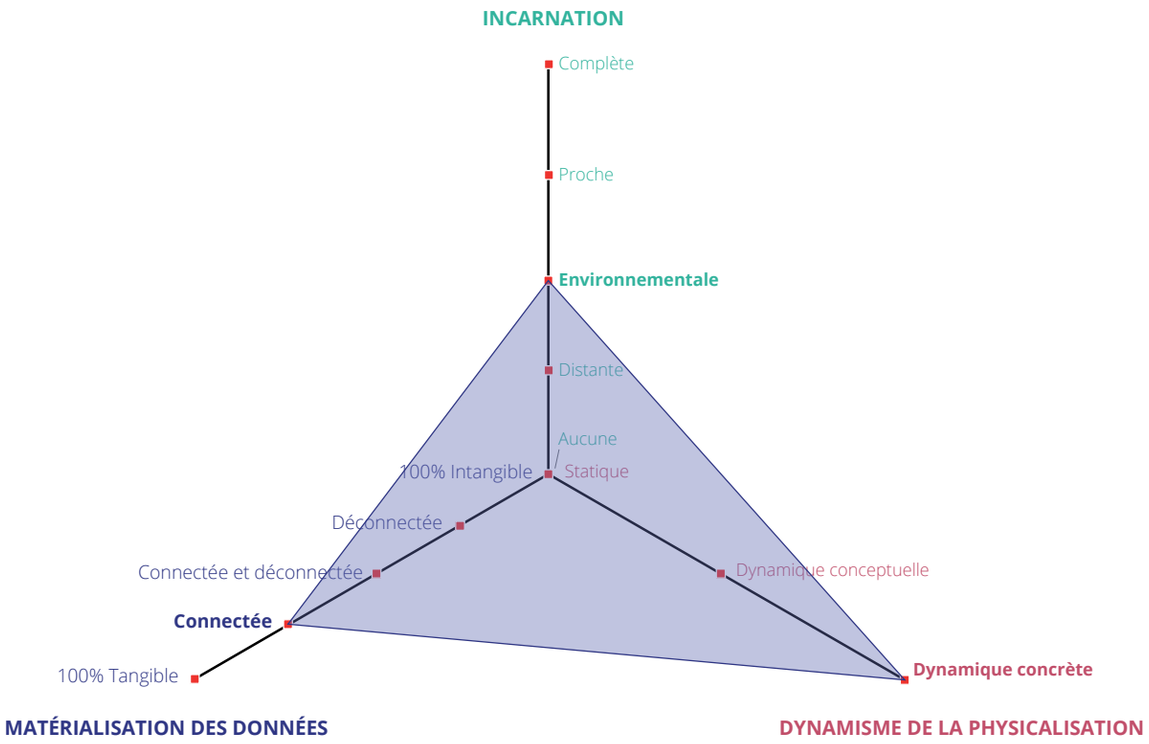


Figure 38. Valeurs attribuées aux dimensions pour Tempescope

3.1.2. Season in Review (Dragicevic, 2013)

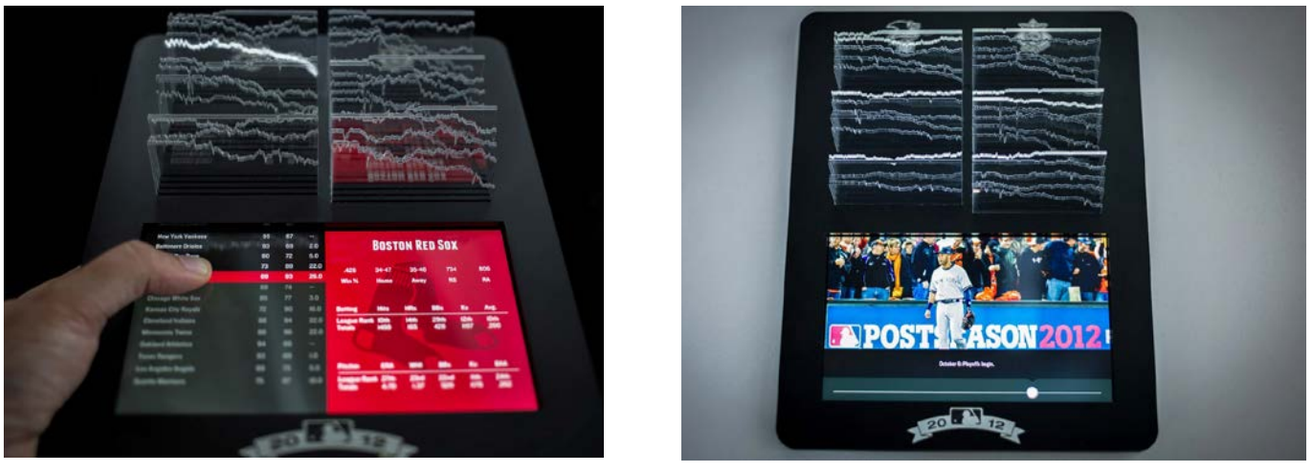


Figure 39. (http://labs.teehanlax.com/project/season-in-review) Illustration du dispositif Season in review

Description et analyse

L'objectif principal de cet objet est de raconter l'histoire d'une année de baseball, de créer un mémento à partir des nombres.

Les données sont obtenues au moyen d'un script qui rapatrie les données de la Major League of Baseball (1).Pour obtenir une vue d'ensemble, les données sont organisées physiquement de manière élégante grâce à des graphes en plastique acrylique transparent (2).

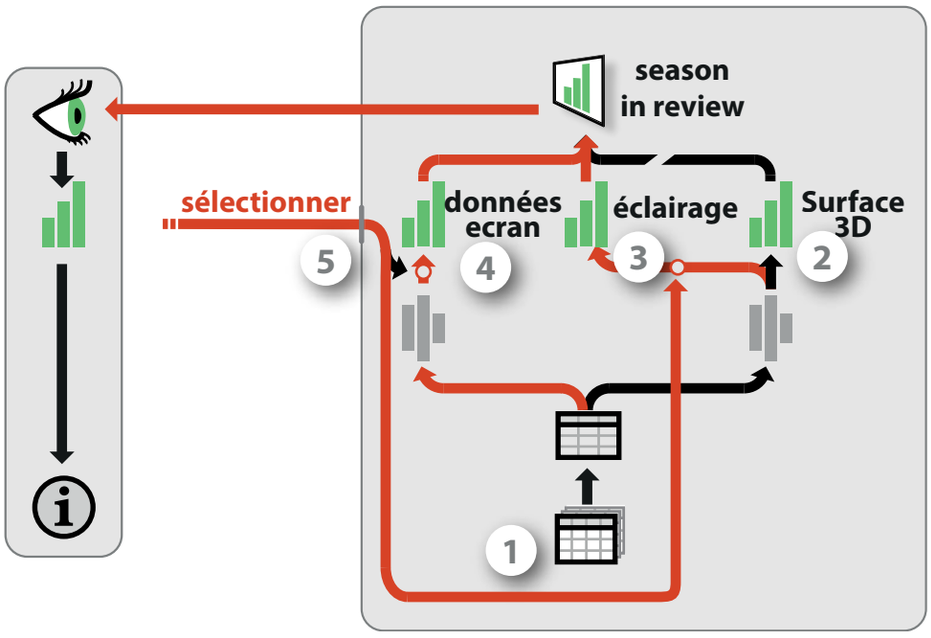


Figure 40. Modélisation du système Season in review

Afin de rendre les graphiques plus interpellant et significatif, il est possible d'interagir avec ceux-ci au moyen d'une tablette tactile (5). Celle-ci permet également mettre en valeur un graphique en particulier au moyen d'un système d'éclairage (3) et de proposer des données supplémentaires en relation avec le graphique sélectionné (4).

Vu le système de mise en valeur des statistiques, la représentation intangible est connectée à la représentation tangible. De plus, les données sont également représentées sur un écran, certes proche, mais représentant des données complémentaires à celles proposées par la représentation tangible. La matérialisation des données est, en conséquence, connectée et déconnectée. L'artefact peut également être qualifié de dynamique de manière concrète pour le dynamisme de la physicalisation car l'artefact est connecté concrètement à une source de données après sa création. De plus, l'utilisateur peut modifier les pipelines de visualisation de l'objet au moyen de la tablette.

La manipulation de l'artefact est effectuée au moyen de la tablette. La tablette faisant partie intégrante de l'artefact, cette physicalisation peut être qualifiée de complète pour l'Incarnation.

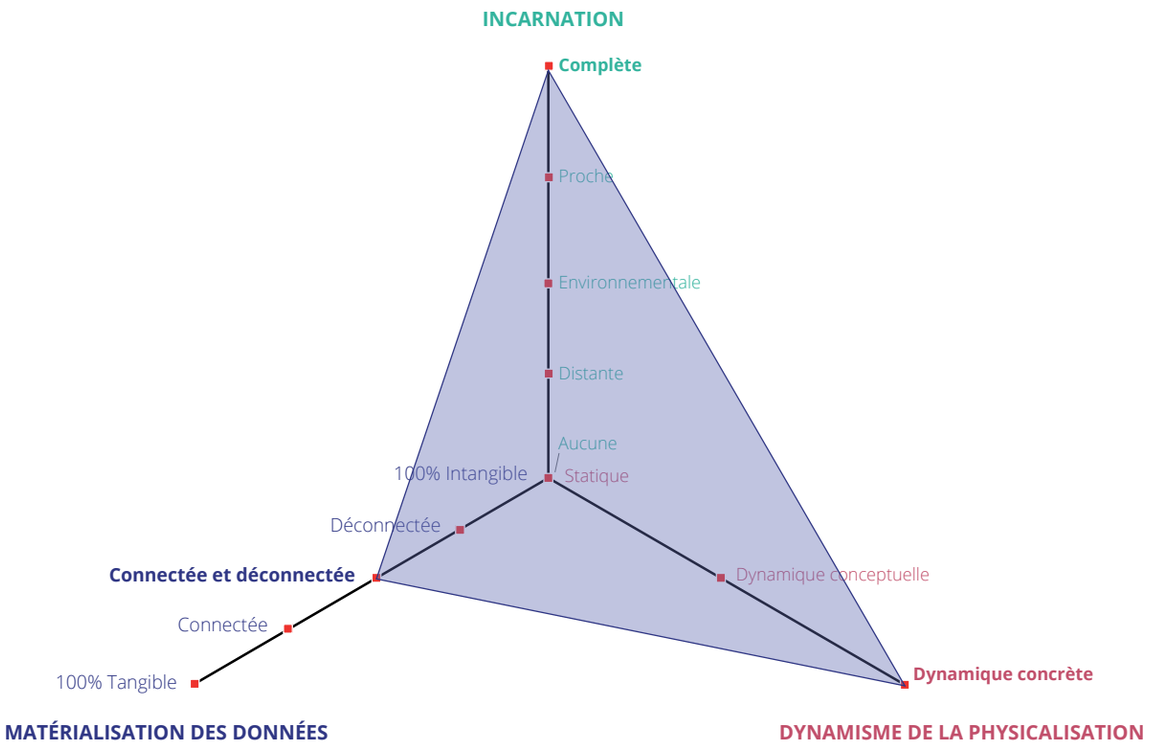


Figure 41. Valeurs attribuées aux dimensions pour Season in Review

3.1.3. Bit Planner: LEGO calendar (Dragicevic, 2013)

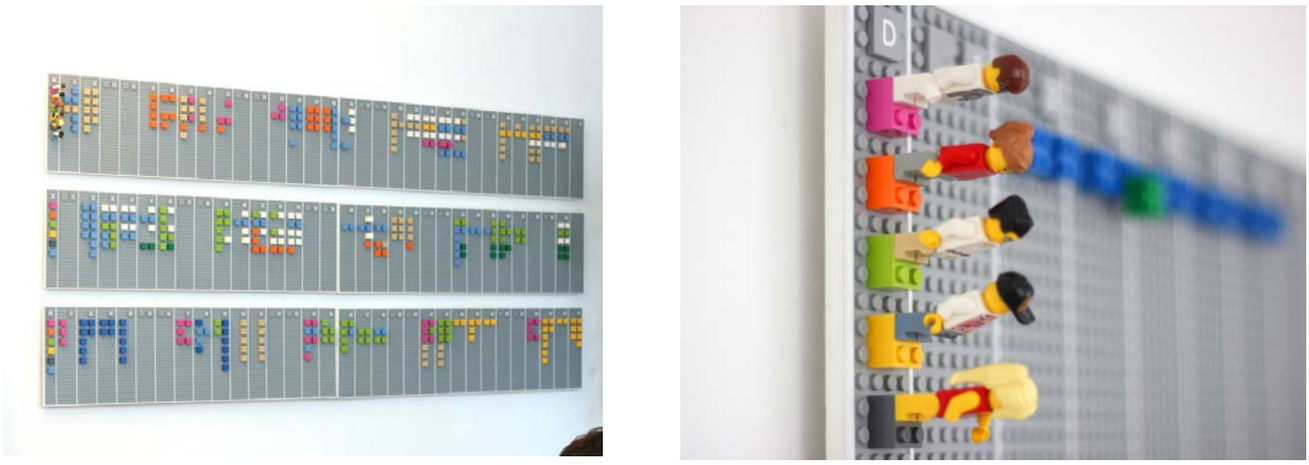


Figure 42. (http://www.bit-planner.com/) Illustration du système Bit planner : LEGO calendar

Description et analyse

Le Bit planner est un système d'organisation du temps pour une équipe. Ce système dispose de deux composants : une version physicalisée et l'autre digitalisée (5).

En tant qu'objet physique, afin de communiquer avec l'équipe sur son emploi du temps (1) un utilisateur ajoutera ou enlèvera des blocs LEGO sur un tableau (2). Chaque bloc représente une période de temps (1/2jour). Un référentiel attribuant un projet à une couleur est mis à jour constamment. Des personnages sont utilisés pour représenter les différentes ressources humaines. La plaque est subdivisée en plusieurs colonnes représentant, chacune, un jour de la semaine (3).

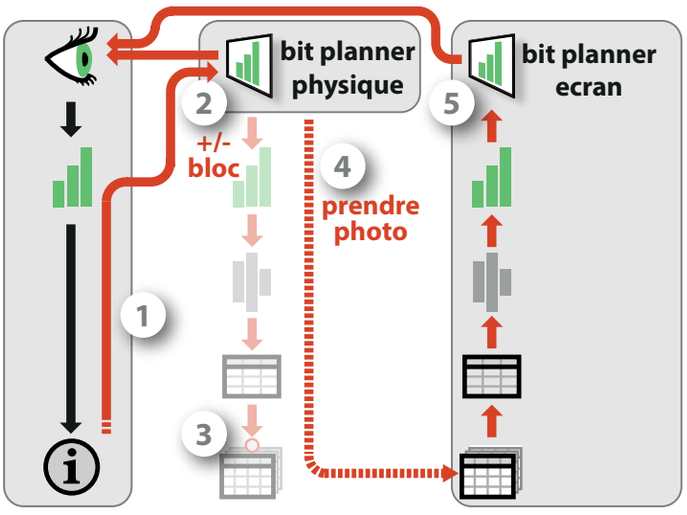


Figure 43. Modélisation du système Bit planner : lego calendar

Afin d'avoir une version digitale du planning, il est nécessaire de réaliser une photographie du tableau pour qu'un algorithme analyse l'image et envoie les données à Google Calendar (propagation manuelle) (4).

La justification de l'existence de 2 composants système est qu'il n'y a pas de propagation automatique à partir des données brutes du pipeline conceptuel. La version physique propage les données d'un pipeline conceptuel vers le

pipeline concret de la version digitale au moyen d'une photographie de la version physique. Cette propagation est toujours effectuée dans un seul sens : la version digitale ne modifiera jamais la version physique du système. La source de données (raw data) est donc différente. C'est pourquoi seule la version physicalisée ne peut être classée. La version digitalisée est une visualisation au sens InfoVis.

La matérialisation des données est effectuée uniquement au moyen de blocs et personnages LEGO. La physicalisation n'utilise pas de représentation digitale directement dans son système. En conséquence, la dimension est qualifiée de 100% tangible. Dynamisme de la physicalisation est qualifié de Dynamique de manière conceptuelle, car il existe un mécanisme permettant de modifier le pipeline conceptuel (le concept de bloc LEGO).

Du point de vue de l'incarnation, l'action d'ajouter un bloc ou un personnage sur le tableau grâce au système proposé par LEGO, est un input de l'artefact. (On ajoute une partie d'objet à l'objet global). C'est pourquoi la valeur attribuée à cette dimension est complète.

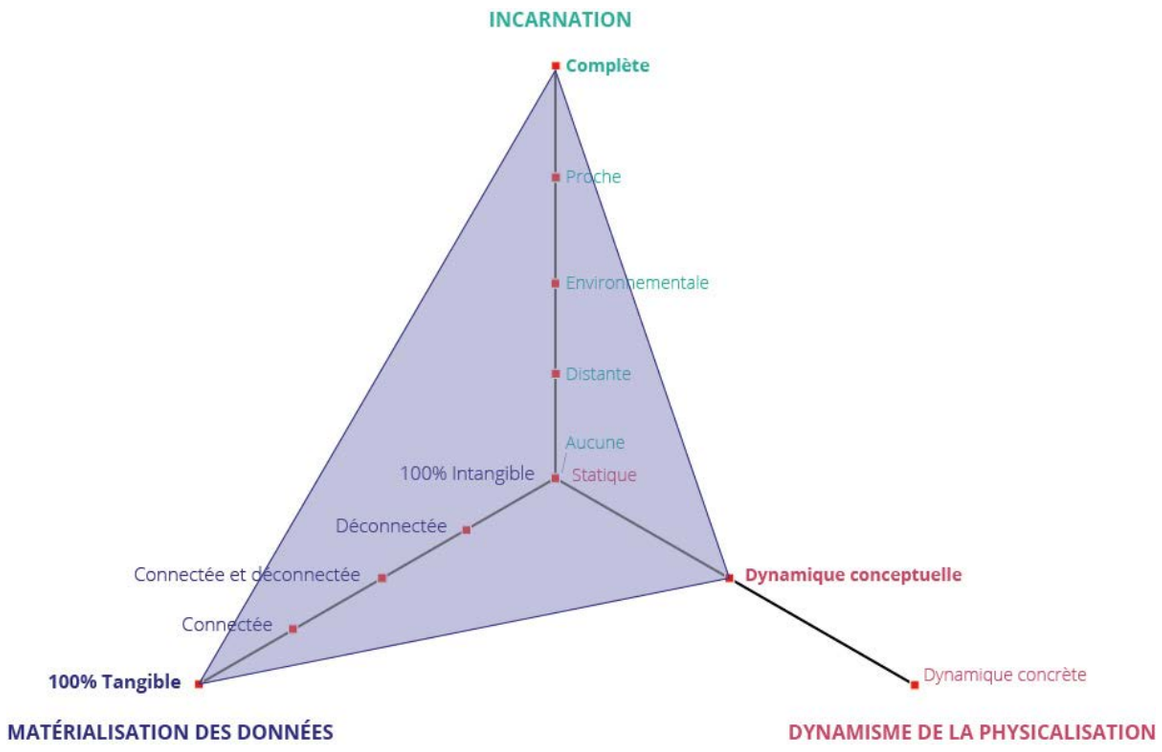


Figure 44.Valeurs attribuées aux dimensions pour Bit planner

3.1.4. Emoto : Projection Augmented Heatmaps of Twitter Data (Dragicevic, 2013)

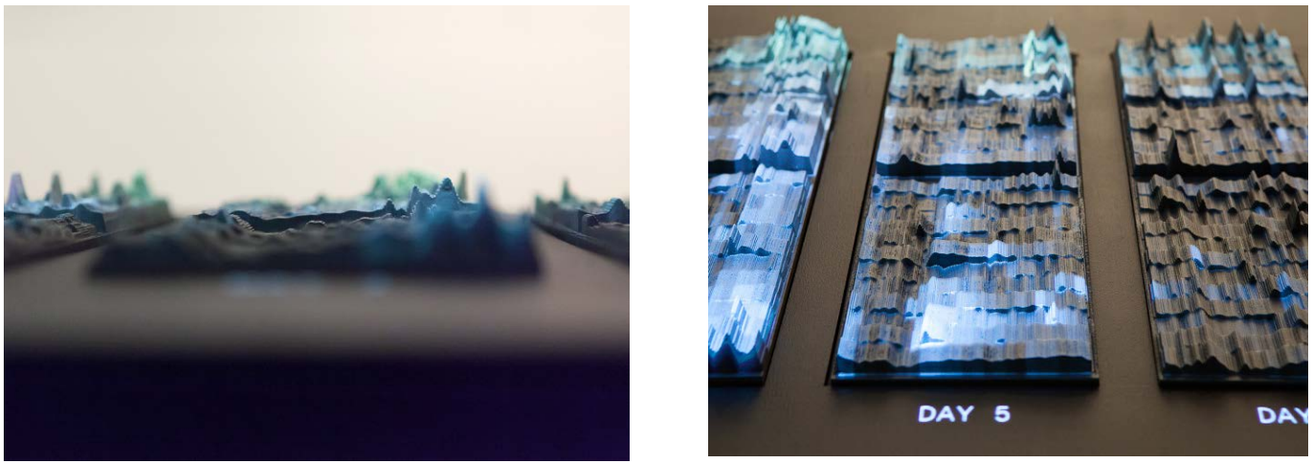


Figure 45. (http://emoto2012.org/) Illustration du système Emoto : Projection augmented heatmaps of twitter Data

Description et analyse

Emoto est un dispositif ③ placé dans un musée permettant de visualiser un ensemble de tweets au cours de la durée des Jeux olympiques 2012. Le système dispose de deux pipelines, le premier, sous la forme d'une surface 3D ① encodant des données organisées en fonction du temps, le second, sous la forme d'une heatmap encode un sous-ensemble des tweets correspondant à un thème particulier et est projeté sur la surface 3D ②.

Les visiteurs peuvent explorer les données en utilisant un bouton circulaire localisé à proximité. Tourner le bouton permet de bouger le curseur de temps et montre les détails d'un tweet ④. Pousser sur le bouton permet de naviguer dans les thèmes et donc de changer la heatmap ⑤.

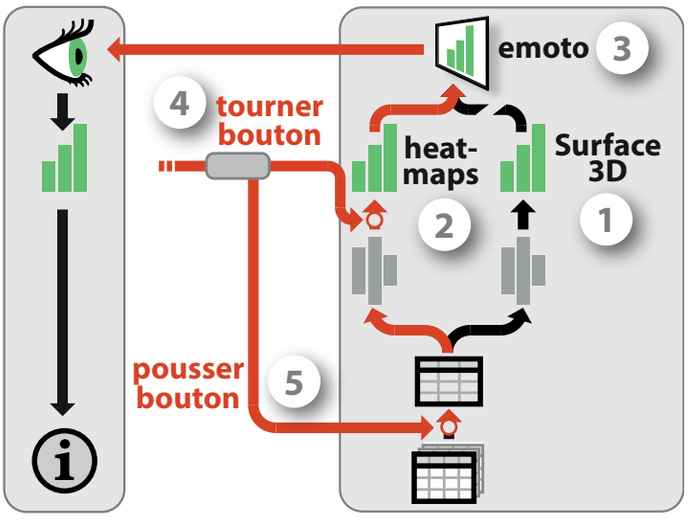


Figure 46. Modélisation du système Emoto : Projection Augmented Heatmaps of Twitter Data

La représentation des données est faite, à la fois, au moyen d'une représentation tangible (surface 3D) et d'une représentation intangible (heatmap + détails tweets). Pour la projection de la heatmap sur la surface 3D, il y a une connexion entre les deux représentations. Cependant, l'affichage des détails d'un tweet est fait sur la toile dans les environs. C'est pourquoi la valeur attribuée à la matérialisation des données est connectée.

La dimension dynamisme de la physicalisation est évaluée à dynamique de manière concrète vu que la physicalisation est toujours connectée à sa source de données après de processus de création et que des mécanismes permettent de modifier le pipeline de visualisation.

L'incarnation est évaluée à distante vu que le bouton permettant l'interaction est une interface externe qui n'est pas en contact avec la physicalisation.

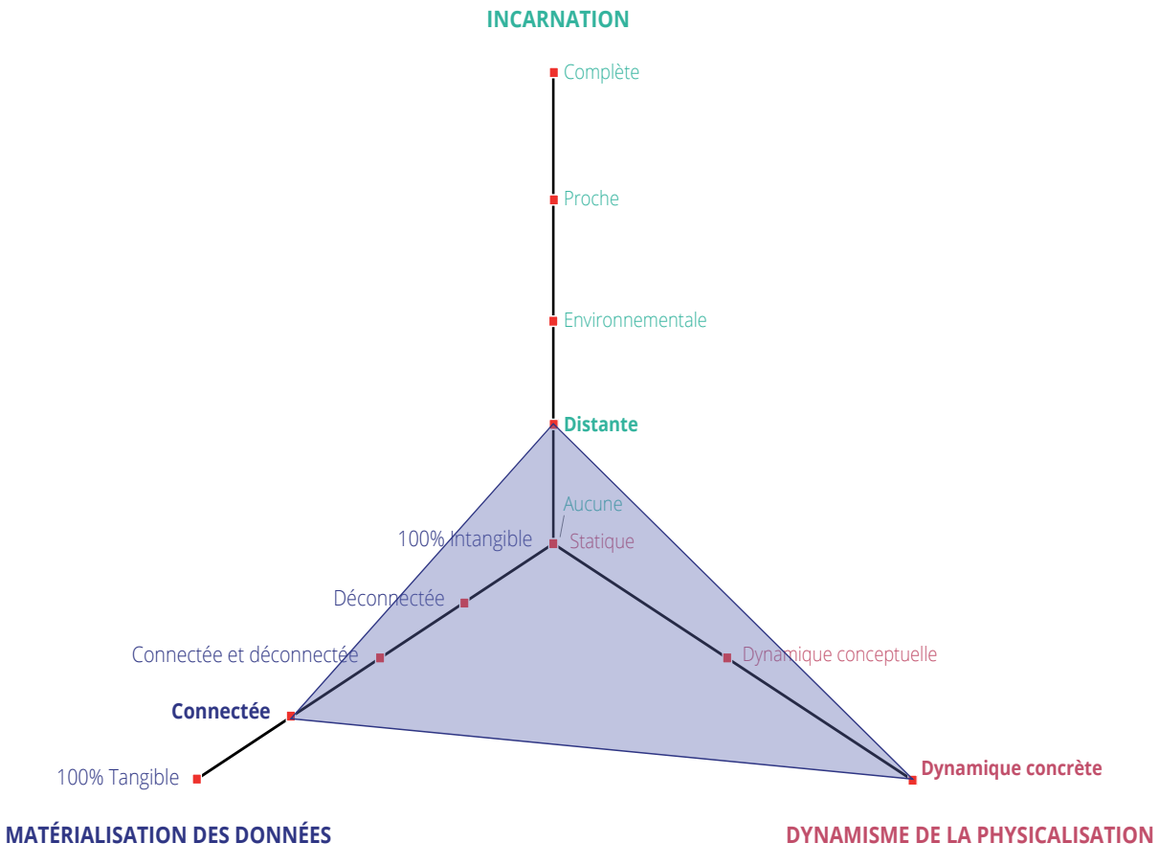


Figure 47. Valeurs attribuées aux dimensions pour Emoto

3.1.5. Projection Augmented Relief Models (Dragicevic, 2013)

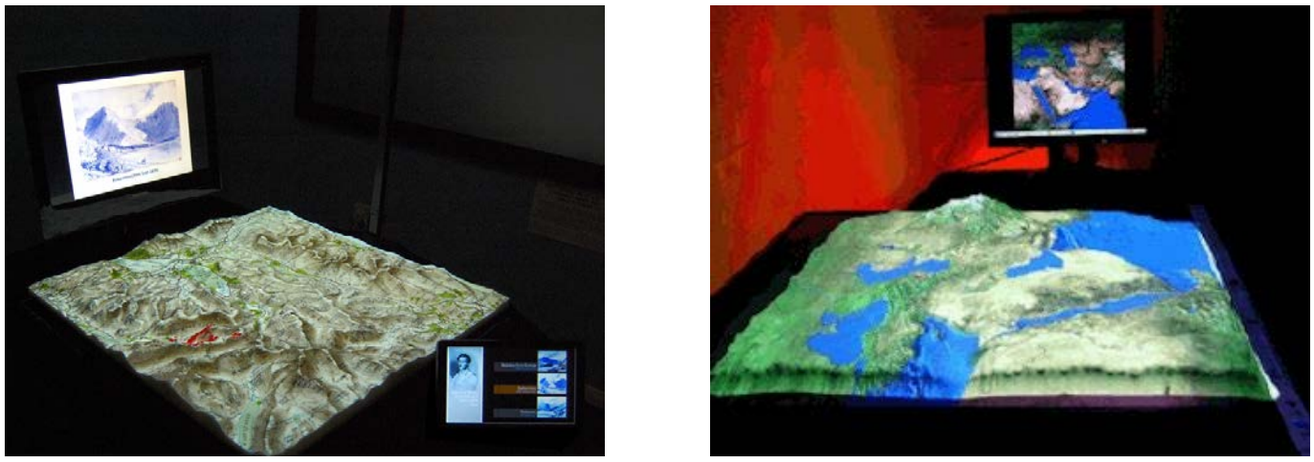


Figure 48. (Priestnall, et al., 2012) Illustration du système Projection Augmented Relief Models

Description et analyse

Parm est une physicalisation composée d'une surface 3D statique ① combinée à des projections digitales ② permettant l'affichage de plusieurs types de données (imageries satellites à différents moments de l'année) sur la représentation tangible. Grâce à la tablette tactile, l'utilisateur peut changer de couche digitale. Un écran secondaire fournit de l'information supplémentaire en relation avec la couche choisie.

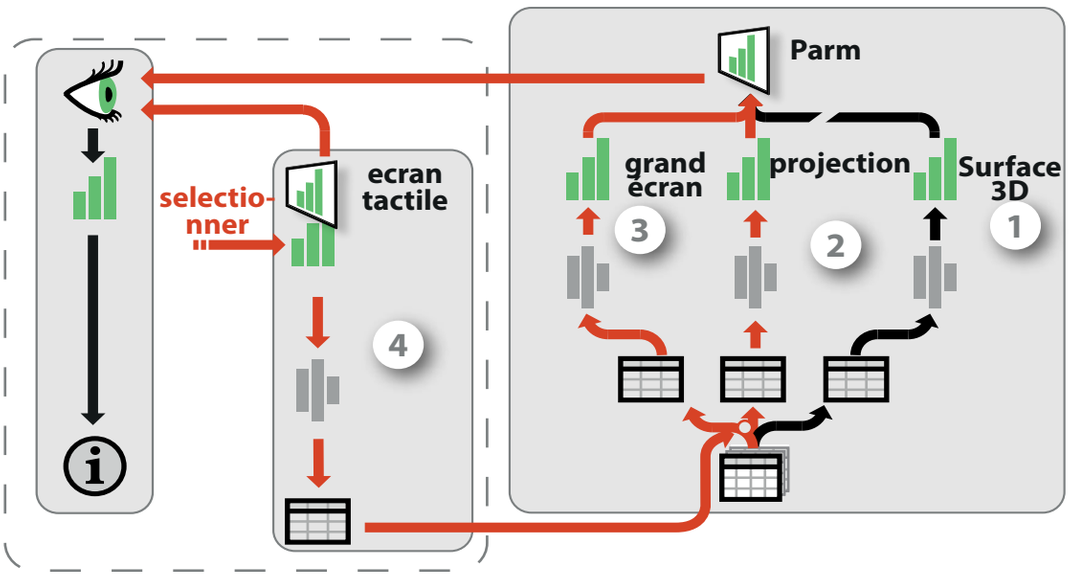


Figure 49. Modélisation de PARM

Vu la superposition d'une couche digitale ② sur la représentation tangible ① (topographie),la matérialisation des données est considérée comme connectée. De plus, des écrans secondaires fournissent de l'information lors d'une interaction avec l'utilisateur ③. Cette dimension sera donc évaluée à connectée et déconnecté.

Le niveau de la dimension dynamisme de la physicalisation est évalué à dynamique de manière concrète. En effet, la représentation physique est figée, la surface n'est pas modifiable. Par contre, le résultat de l'interaction avec l'utilisateur est réalisé sur la représentation digitale via les informations relayées sur les écrans secondaires et sur la couche superposée.

Cette physicalisation dispose d'un mécanisme spécifique pour interagir avec l'utilisateur qui est externe à la physicalisation. En effet, l'utilisateur interagit avec le système au moyen d'une tablette tactile (4). L'Incarnation est évaluée à distante.

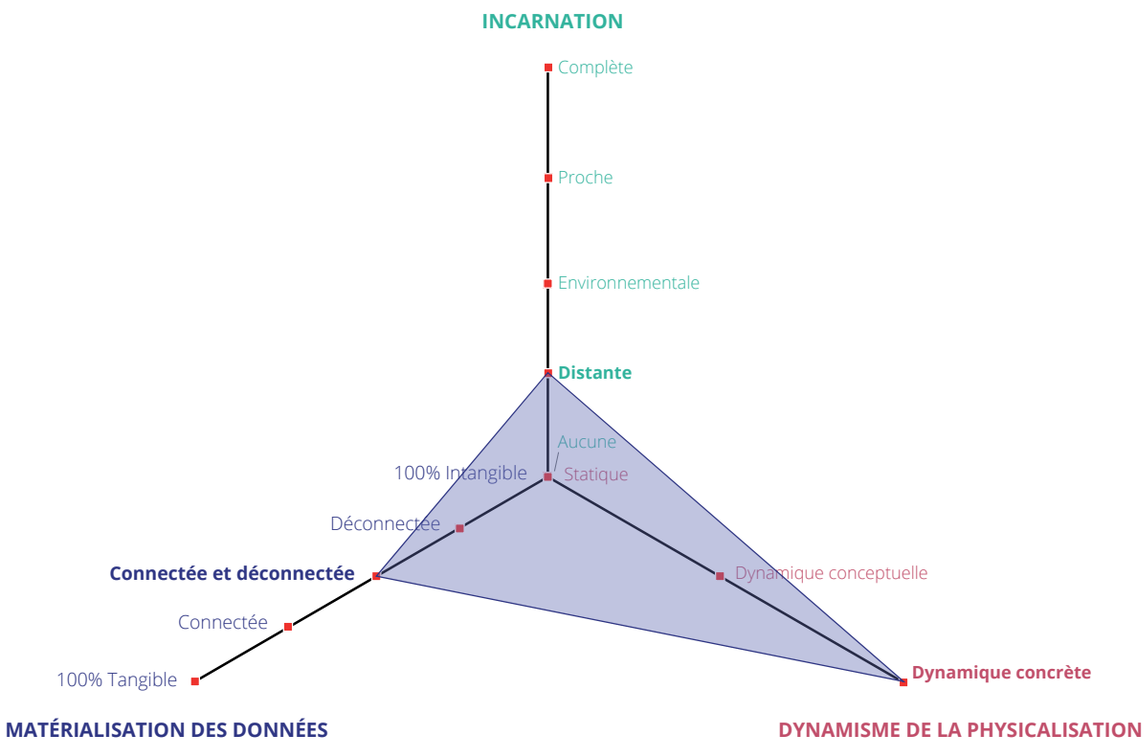


Figure 50. Valeurs attribuées aux dimensions pour PARM

3.1.6. InForm (Follmer, 2013)

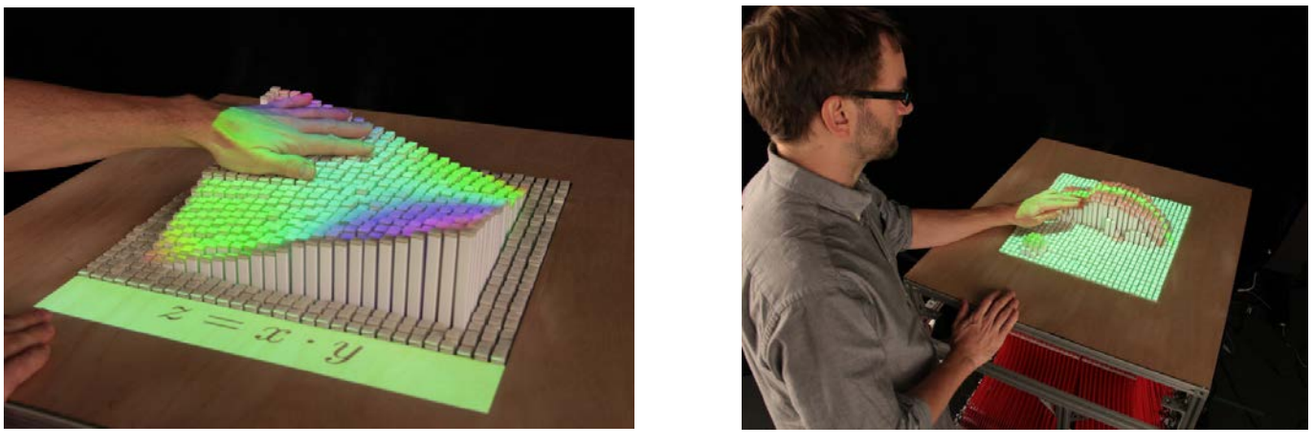


FIGURE 51. (HTTP://TANGIBLE.MEDIA.MIT.EDU/PROJECT/INFORM/) ILLUSTRATION DU SYSTÈME INFORM

Description et analyse

InFORM est un système dont l'objectif initial est de montrer de nouvelles techniques d'interaction (démonstration technologique) au moyen d'UI à formes changeantes ce qui en fait un système TUI.

Le dispositif est capable de réceptionner des données provenant d'un système extérieur (type tablette tactile) via un pick and drop (Rekimoto, 1997) [7], de fournir des TUI à formes changeantes afin de :

- Fournir une affordance dynamique (objectif de faciliter la compréhension de l'interface)
- Guider l'utilisateur au moyen de contraintes dynamiques physiques (objectif de contraindre la possibilité d'action de l'utilisateur)
- Manipuler des objets physiques

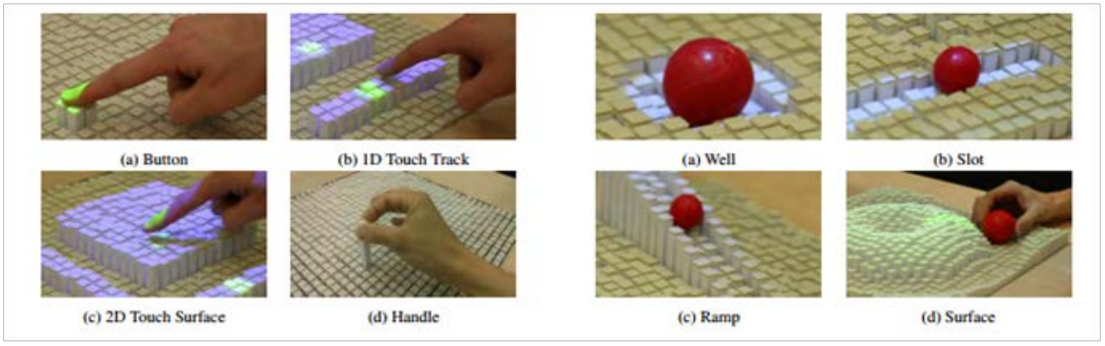


FIGURE 52. (FOLLMER, 2013) CAPACITÉ DU SYSTÈME À CRÉER DES INTERFACES À FORMES CHANGEANTES

Cependant, certaines fonctionnalités de ce système font partie du domaine de la Data physicalisation. En effet, InForm est capable de représenter un modèle de données au moyen d'une représentation physique et digitale [2]. La représentation

physique des données est réalisée au moyen de pixels physiques avec, en superposition, un affichage digital des données. La matérialisation des données est évaluée à connectée.

La dimension dynamisme de la physicalisation est évaluée à dynamique de manière concrète vu que la physicalisation est toujours connectée à sa source de données après de processus de création et que des mécanismes permettent de modifier le pipeline de visualisation.

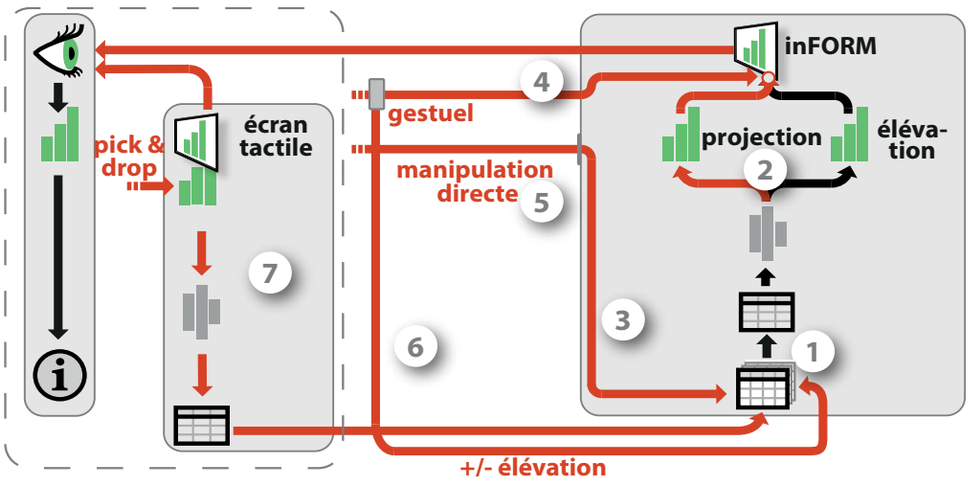


FIGURE 53. MODÉLISATION DU SYSTÈME INFORM

L'incarnation de la physicalisation est évaluée à complète car l'interaction (pour abaisser ou élever les pixels physiques [6])avec les données physicalisées est réalisée de manière directe [5] ou via gestuel [4] (kinect). Conceptuellement, en utilisant des gestes pour interagir avec l'objet, l'utilisateur n'utilise pas d'interface extérieure à la physicalisation. Le pixel pouvant être identifié comme une unité de donnée, le fait de pouvoir l'élever, le repousser, montre que l'interaction agit les données elles-mêmes [1].

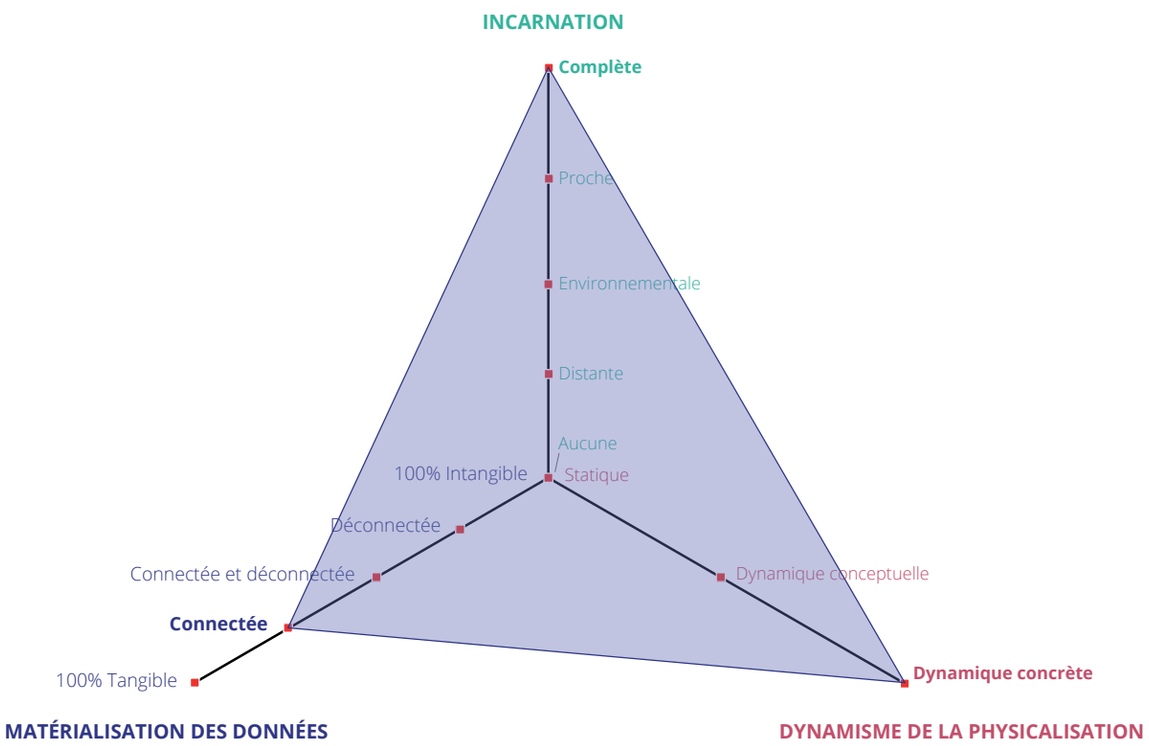


FIGURE 54. VALEURS ATTRIBUÉES AUX DIMENSIONS POUR INFORM

3.1.7. Passim : Visual Reconceptualisation of Spatial Theories (Dragicevic, 2013)

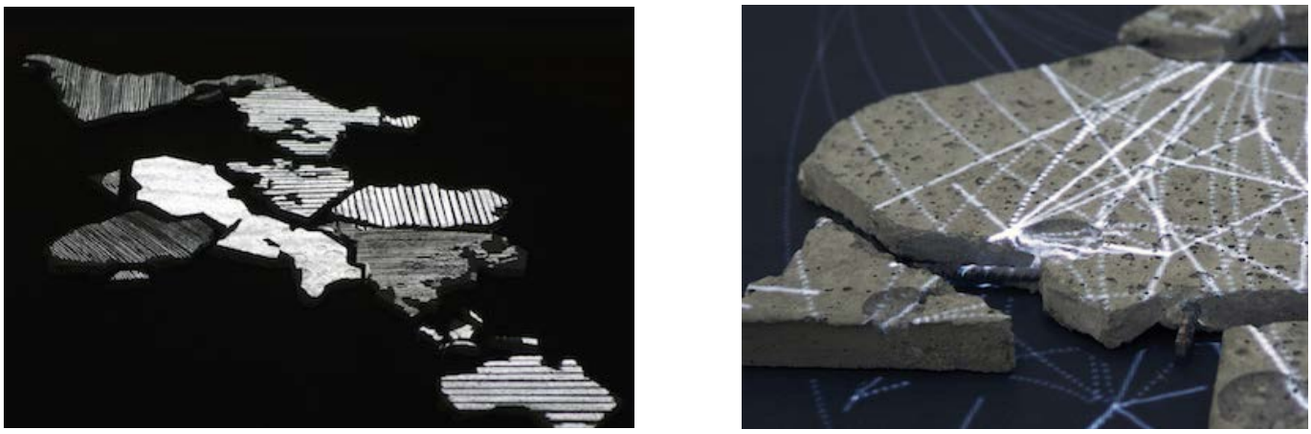


Figure 55.(Dragicevic, 2013) Illustration du système Passim

Description et analyse

Cette physicalisation a pour but de représenter l'espace dans un contexte sociopolitique selon quatre notions majeures qui permettent une meilleure compréhension du sujet. Le système explore la relation entre les quatre notions d'espace en projetant les visualisations de données géopolitiques de l'institut Heidelberg sur une représentation physique des continents. Plusieurs vues du monde sont créées, permettant de montrer comment les notions d'espaces influencent directement les événements géopolitiques actuels et comment il serait possible de repenser le contexte géopolitique sur base de l'espace.

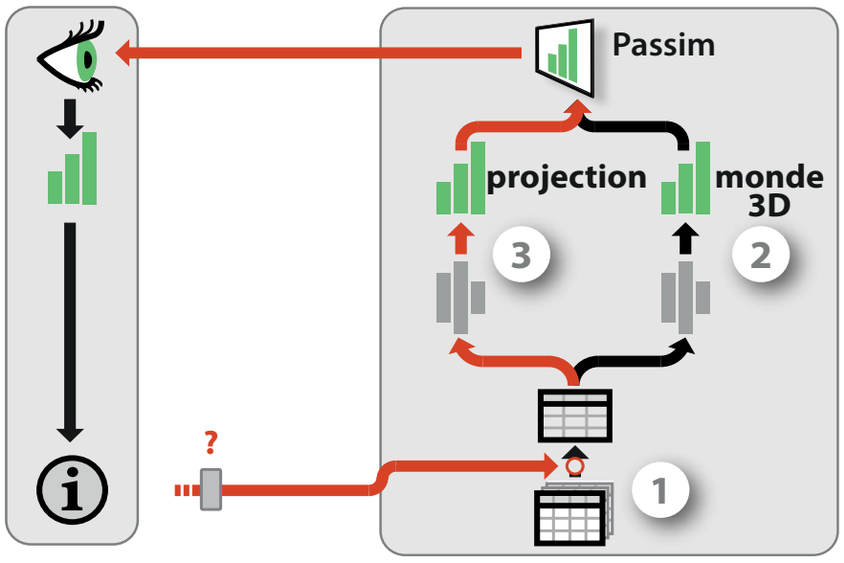


Figure 56. Modélisation du dispositif Passim

La représentation physique de la physicalisation montre des continents ② permettant de contextualiser l'information fournie par la couche digitale ③. Aucun écran n'est utilisé pour afficher une information supplémentaire. C'est pourquoi la matérialisation des données est évaluée à connectée. Dynamisme de la physicalisation peut-être qualifié de dynamique de manière concrète étant donné que l'objet est connecté à sa source de donnée après le processus de création et qu'il est possible de changer la projection digitale diffusée ① (la documentation ne renseigne pas la manière de procéder).

L'incarnation est évaluée à distante puisque l'interaction avec l'objet est réalisée avec un élément extérieur. L'utilisateur a l'impression que le système de traitement des données est distant de la physicalisation.

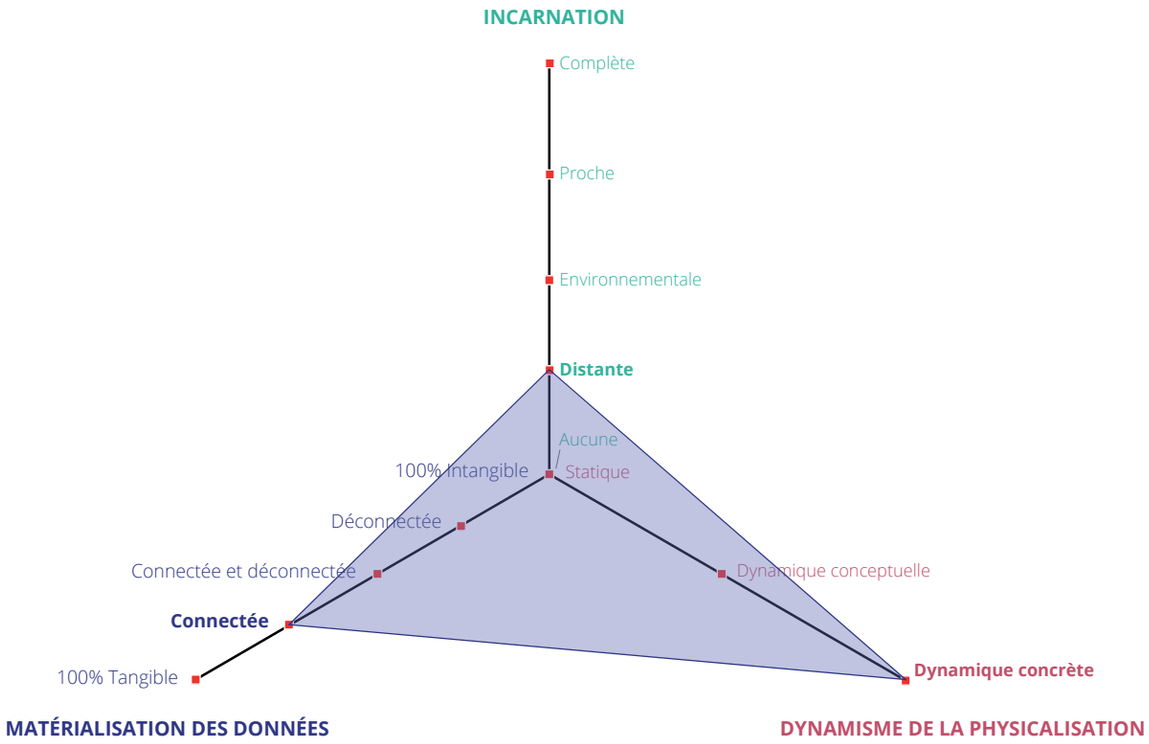


Figure 57. Valeurs attribuées aux dimensions pour Passim

3.2. Comparaison des variantes d'un même concept: le diagramme à bâtons

L'un des objectifs d'une taxonomie est de permettre la comparaison de différents travaux existants pour ensuite la traduire en une possible évolution (point 2). La taxonomie illustrée dans ce mémoire a été soumise à cet exercice de comparaison. Pour ce faire, différentes représentations de types diagrammes à bâtons ont été choisies et placées sous la loupe de la taxonomie. Comme mentionné au point 2.2, une aire sera déterminée pour chaque représentation ce qui facilitera la visualisation du niveau de physicalisation. Ces aires seront, ensuite, comparées entres-elles pour estimer si une évolution est observée entre les différentes variantes du concept.

1

Le premier diagramme en bâtons présenté est une version imprimée en trois dimensions. Ce diagramme montre l'évolution d'indicateurs en fonction du temps pour un pays. Cette impression le rend 100% tangible, mais statique et ne permet aucun mécanisme d'interaction. Cet exemple est détaillé dans *(Jansen Y., 2013)*.

FIGURE 58. (JANSEN Y., 2013) ILLUSTRATION DE LA PREMIÈRE VERSION DU CONCEPT

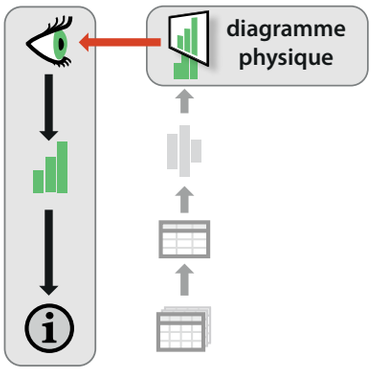


FIGURE 59. PIPELINE CORRESPONDANT À LA PREMIÈRE VERSION DU CONCEPT

2

Le second diagramme (Centograph: Dynamic Bar Charts Show Keyword Popularity *(Dragicevic, 2013)*) représente la popularité des mots clés dans des articles de journaux. Le graphique est piloté via un ordinateur en proposant l'article à analyser. En fonction des résultats de la recherche, des plaques de Plexiglass, disposée à la verticale dans une structure cubique, varie en hauteur. Ce diagramme est donc 100% tangible avec une incarnation, car il faut utiliser un pc comme interface d'entrée et dynamique de manière concrète puisque différents mécanismes permettent de faire varier le pipeline de visualisation de l'information.

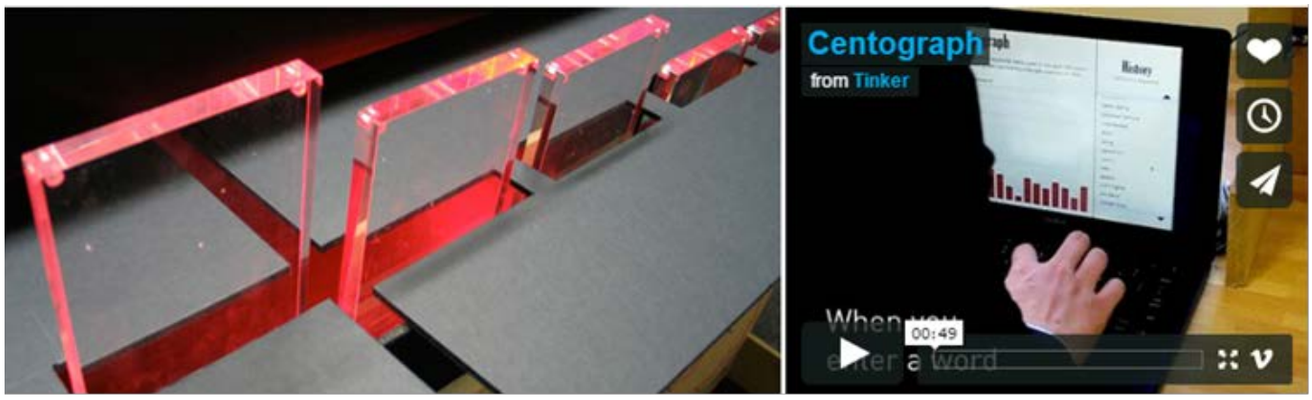


Figure 60. (Dragicevic, 2013) Illustration de la seconde version du concept (Centograph)

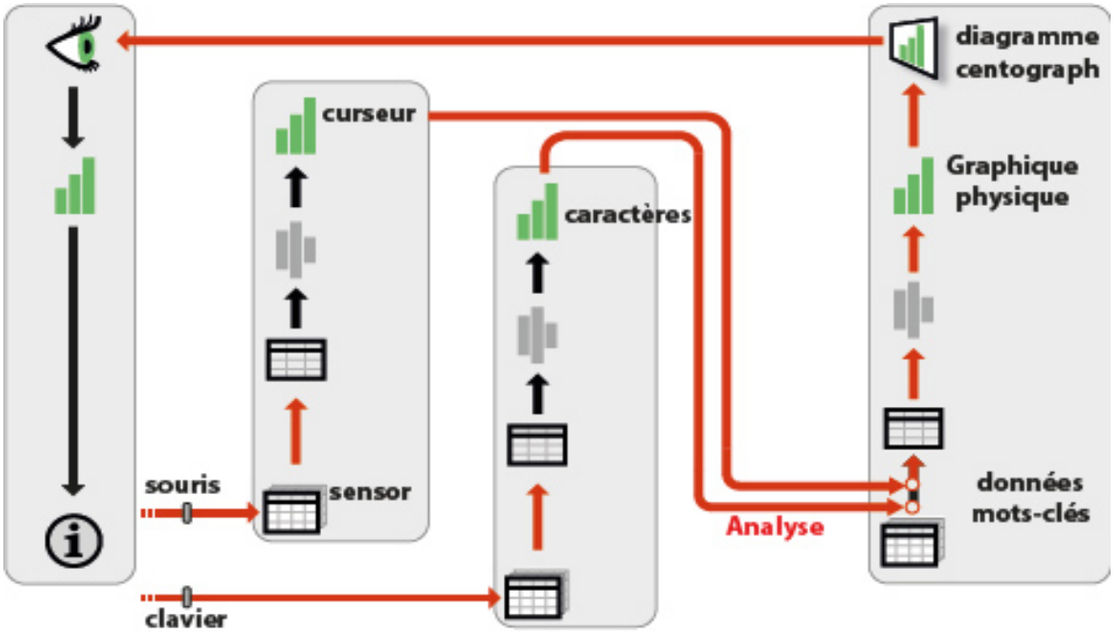


Figure 61. Pipeline correspondant à la deuxième version du concept

3

Le troisième diagramme (Rearrangeable 3D Bar Chart *(Dragicevic, 2013)*) est, tout comme le premier illustré, une impression 3D. Cependant, il est quant à lui modulable, permettant à l'utilisateur de trier, filtrer, comparer et examiner les données d'intérêts en les déplaçant manuellement. Il est donc également 100% tangible, mais, vu que l'utilisateur interagit directement avec la physicalisation via des mécanismes prévus, son incarnation est considérée comme complète. Puisqu'il est possible de modifier le pipeline conceptuel de visualisation des données (les données ne sont pas stockées sur un support externe), il est dynamique de manière conceptuelle.

Figure 62. (Dragicevic, 2013) Illustration de la troisième version du concept (Rearrangeable 3D Bar Chart)

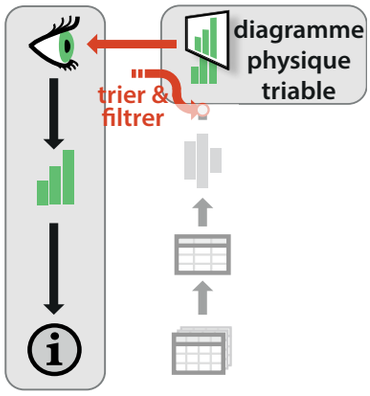


Figure 63. Pipeline correspondant à la troisième version du concept

4

Le quatrième diagramme (Wable: Web Behavior Shown with a Dynamic Bar Chart *(Dragicevic, 2013)*) mesure l'activité d'une personne sur des services web (twitter, Facebook...). Les bâtons évoluent automatiquement selon l'activité. Ce diagramme est 100% tangible. Son Incarnation est considérée comme environnementale, car c'est l'environnement autour de la physicalisation qui sert d'input. Ce n'est pas l'utilisateur qui fournit l'input. Il est dynamique de manière concrète puisque le pipeline de visualisation est modifiable et qu'il est connecté à une source de données.

Figure 64. (Dragicevic, 2013) Illustration de la quatrième version du concept Wable: Web Behavior Shown with a Dynamic Bar Chart

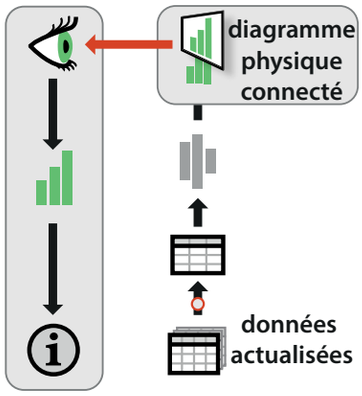


Figure 65. Pipeline représentant la quatrième version du concept

5

Le cinquième diagramme (EMERGE Physically Dynamic Bar Charts (Taher, et al., 2015)), Il permet d'explorer les données en permettant l'annotation, le filtre , le tri... Il existe des mécanismes permettant de manipuler le pipeline de visualisation concret. L'utilisateur interagira avec le système par manipulation directe. La matérialisation des données est connectée, une couche digitale est superposée à la représentation tangible. L'incarnation est complète puisque l'interface d'input est confondue à l'interface d'output. Cet exemple est un des plus abouti actuellement.

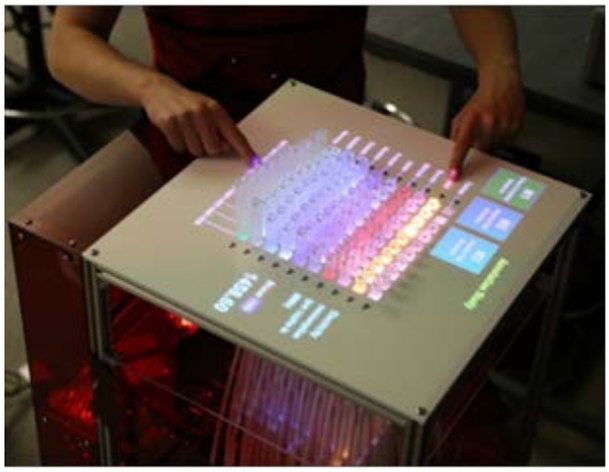


FIGURE 66. (TAHER, ET AL., 2015) ILLUSTRATION DU DISPOSITIF EMERGE

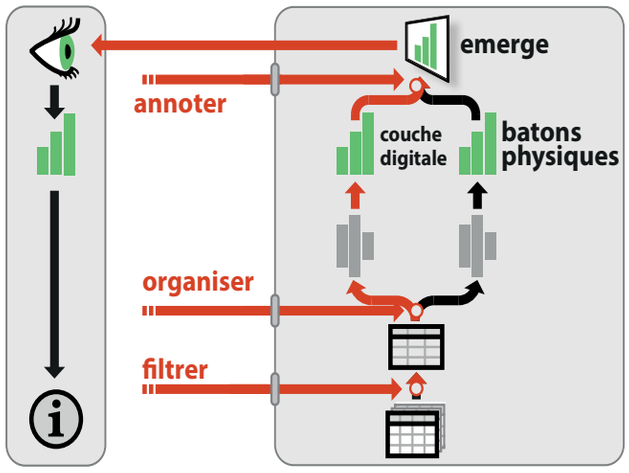


FIGURE 67. PIPELINE CORRESPONDANT À LA CINQUIÈME VERSION DU CONCEPT

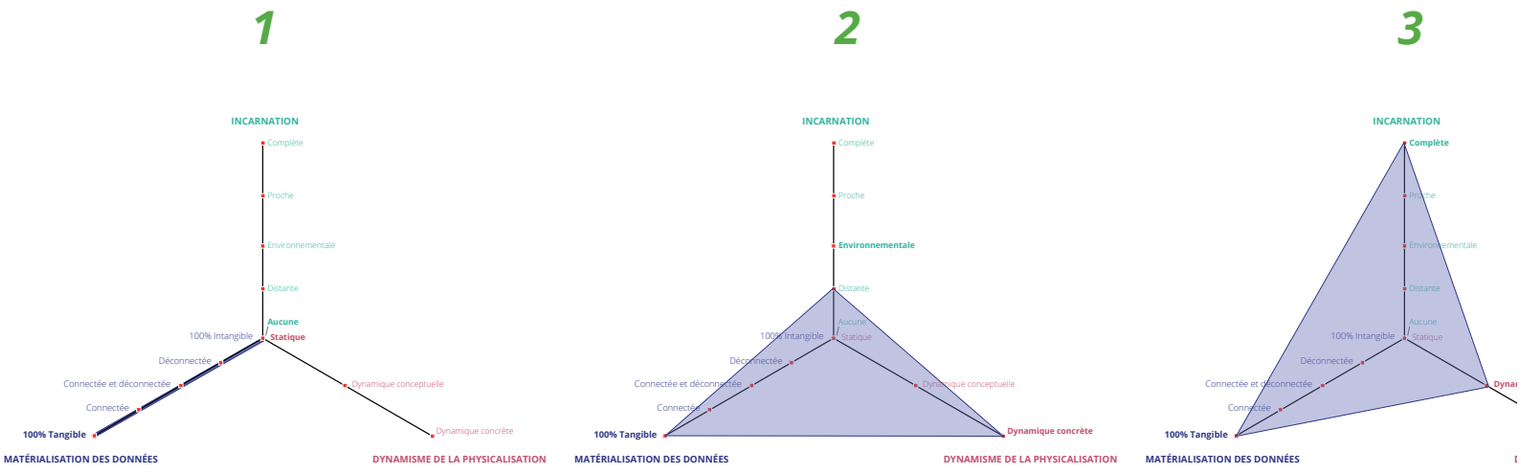


FIGURE 68. COMPARAISON DES DIFFÉRENTES AIRES DE COUVERTURE

Que constatons-nous ? La taxonomie prend en compte les différentes versions du concept de diagramme à bâtons. De la version simplement statique à une version presque complètement physicalisée, l'aire observée varie de manière cohérente (Figure 68). En comparant les cinq diagrammes illustrant le niveau de physicalisation de chaque exemple, on peut se rendre compte que l'aire de couverture, résultant des différentes évaluations des dimensions, augmentent. Cette augmentation fait ressortir une évolution du concept de diagramme à bâtons vers plus de physicalisation.

Pour qu'un ensemble de données soit complètement physicalisé au sens de la Data physicalisation, il faudrait que les trois dimensions soit, chacune, à leur niveau maximum c'est-à-dire :

1. Matérialisation des données soit à 100% tangible
2. Dynamisme de la physicalisation soit à dynamique de manière concrète
3. Incarnation soit complète

Pour l'instant, aucun exemple n'a été trouvé pour représenter ce cas de figure. Dans le futur, la matière programmable (point 1.2.5) permettra de réaliser la correspondance entre l'atome programmable (Radical Atoms) et le pixel digital. Cette matière est la candidate idéale pour atteindre les niveaux maximums de chaque dimension de la taxonomie définie.

Un des objectifs clés d'une taxonomie, qui est de permettre la comparaison de différents travaux existants pour ensuite la traduire en une possible évolution, est atteint.

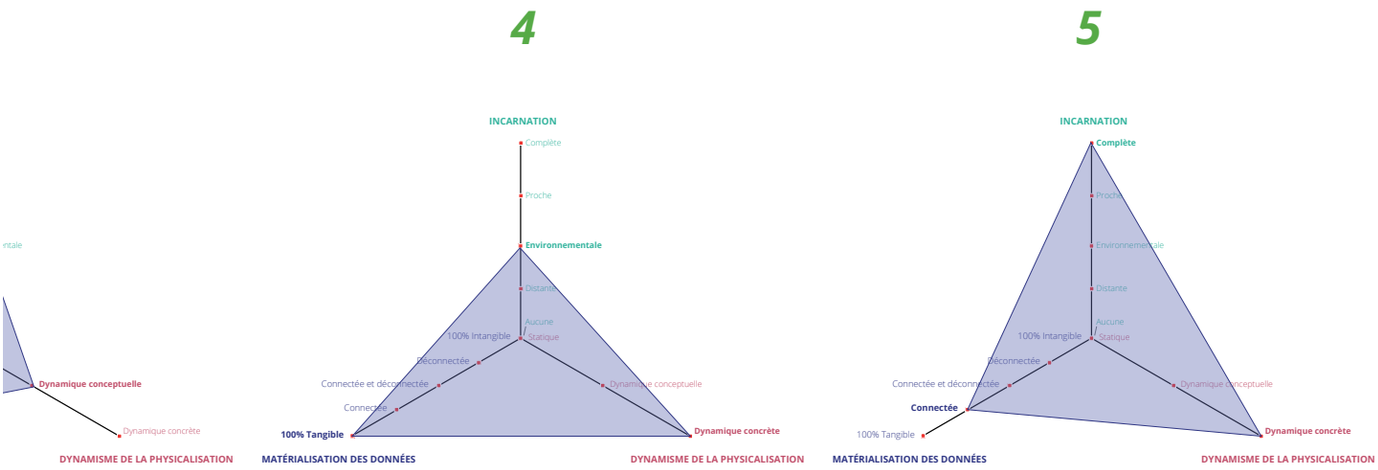


Figure 68. Comparaison des différentes aires de couverture

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

4. Conclusion

La Data physicalisation est un domaine émergeant qui examine comment les données peuvent être représentée physiquement grâce à l'informatique afin de supporter la cognition, la communication, la prise de décision. Elle est à mi-chemin entre la Visualisation de l'information (InfoVis) et les interfaces tangibles (TUI). Tout comme l'InfoVis, elle vise à faciliter l'exploration des données grâce à des représentations de ces données. Tout comme les TUIs, la Data physicalisation s'attache à la représentation physique des données et sa manipulation, mais avec un objectif différent. La data physicalisation se focalisera sur la représentation des données en output, avec des interactions possibles ayant un but exploratoire. Les TUI s'attacheront à physicaliser les données en provenant de l'input avec les interactions de manipulations. Ce domaine de recherche est particulièrement intéressant puisqu'il reste beaucoup de chemin à parcourir dans beaucoup de secteurs.

Après avoir présenté les fondements, les modèles et théories des deux domaines liés à la Data physicalisation. Nous avons présenté notre taxonomie qui se base sur des fondements robustes issus des deux domaines précités, notamment, le MCRit, la taxonomie de Fishkin et le pipeline de visualisation « beyond desktop ».

Fruit d'un travail itératif, la taxonomie a été déclinée en trois dimensions (la matérialisation des données, le dynamisme de la physicalisation et l'incarnation), qui permettent de quantifier le caractère physicalisé d'une physicalisation. Chaque dimension dispose de niveaux 3 à 5 niveaux. Plus l'évaluation du niveau sera haute dans ces trois dimensions plus l'objet sera physicalisé.

Afin de tester la robustesse de la taxonomie, celle-ci a été mise au défi au moyen des nombreux exemples fournis par le site internet dataphys.org. Sept d'entre eux sont analysés plus finement vu leur caractère représentatif du domaine. Par la suite, la taxonomie est testée sur un concept bien connu, le diagramme à bâtons, décliné selon différents styles. En comparant les aires générées à partir des graphiques réseau à 3 dimensions, on peut se rendre compte qu'elle remplit son travail correctement avec cohérence.

Cependant, il faut être conscient que cette taxonomie n'est pas parfaite et qu'elle mérite d'être améliorée. En effet, on peut ressentir l'existence d'une intersection entre certaines parties des périmètres d'actions attribués aux dimensions. Une ou plusieurs itérations sont nécessaires pour déconstruire la dimension « Incarnation » qui engendre quelques soucis d'intersection avec les deux autres dimensions.

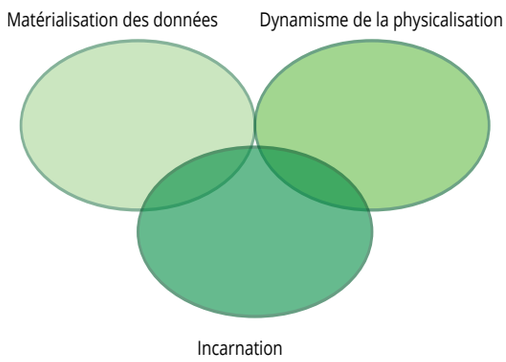


Figure 69. Périmètre d'actions des dimensions de la taxonomie

Grâce cette taxonomie il est possible de classer les physicalisations de manière générique au moyen de ses trois dimensions. Elle possède les avantages suivants :

- Chaque dimension vise un ou plusieurs aspects de la définition de la Data physicalisation
- La taxonomie s'appuie sur des théories validées et éprouvées
  1. La taxonomie de Fishkin pour les TUI
  2. Le MCRit : Model-Controller-Représentation intangible tangible
  3. L'InfoVis pipeline adapté
- La taxonomie prend en considération les physicalisations ne nécessitant pas l'apport de l'informatique

ETAPE 1

CONTEXTE

Visualisation de l'information (InfoVis)

Interfaces Tangibles (TUI)

Data Physicalisation

ETAPE 2

TAXONOMIE

Materialisation des données

Incarnation

Dynamisme de la physicalisation

ETAPE 3

EXPERIMENTATION

Confrontation aux exemples du domaine

Confrontation au concept de diagramme à bâtons

ETAPE 4

CONCLUSION

Forces et faiblesses
de la taxonomie

ETAPE 5

PERSPECTIVES

Piste d'évolution de la taxonomie

Opportunités du domaine

5. Perspectives

D'autres systèmes de classement mettant en avant des aspects différents des physicalisations pourraient voir le jour.

Il serait possible de classer les physicalisations selon d'autres aspects tels que :

- **La Multimodalité au service de l'exploration des données** : Explorer le caractère multimodal de l'output des physicalisations en s'inspirant des « CARE properties »(Coutaz, et al., 1995). Ces propriétés permettent d'évaluer les aspects de l'interaction multimodale.

  Equivalence: L'information est présentée de multiples façons et peut être interprétée comme une même information.

  Assignement: Lorsqu'une information d'un certain type est toujours traitée par la même modalité

  Redundancy: Plusieurs modalités traitent la même information

  Complimentarity: Plusieurs modalités utilisent des informations différentes et les fusionnent

- **Les variables physiques**: Essayer de classer les physicalisations selon les sens impliqués dans le processus de cognition n'aurait pas beaucoup de sens, vu le caractère multimodal des physicalisation. Par contre, imaginer un classement par rapport aux propriétés physiques impliquées dans la cognition et dans les actions exploratoires des données, telles que la dureté, douceur, le caractère spongieux, le poids, les odeurs, la conductivité… qui impliquent plusieurs sens, aurait beaucoup plus d'intérêt. Cependant, ces propriétés doivent faire l'objet d'un recensement préalable pour pouvoir être classée*(Jansen, et al., 2015)*.

- **Le support de l'animation et de l'interactivité**: comment les actions similaires aux interactions et animations en InfoVis peuvent être rendues en data physicalisation. Le challenge est important, car en plus des interactions supportées par l'informatique, il faut également prendre en considération les interactions directes avec l'objet. Réaliser des recherches sur ce domaine permettrait d'imaginer un classement des physicalisations selon leurs méthodes d'interactions.

- **Les techniques de représentations physiques**: Le pixel écran base sa capacité de représentation de données sur la vision en faisant varier sa couleur. Dans le cas, du « pixel physique » d'autres propriétés sont à prendre en considération. (Ishii, et al., 2012)

- **La réalisation d'une taxonomie des visualisations de l'information « beyond desktop »**. L'objectif ne serait plus de quantifier le caractère physicalisé d'une physicalisation mais bien de classer les InfoVis avec la possibilité de prendre en compte les physicalisations.

De manière plus générale, les perspectives de recherches sont nombreuses dans ce domaine comme le décrit, *(Jansen, et al., 2015)*, comme par exemple:

- La création de technologies permettant de rendre les représentations physiques réellement actives. Ces futures technologies imposeront des challenges physiques, chimiques, informatiques… qu'il faudra relever
- Identifier les bénéfices cognitifs de manière empiriques sur l'éducation, l'apprentissage
- Identifier le ratio bénéfices/coût dans la création d'applicatifs tangibles
- Comprendre comment les utilisateurs explorent les données sans but particulier
- Proposer des modèles de références (design pattern) pour la data physicalisation

6. Bibliographie

Averbuch, M., & Group, D. V. (1996). As you Like It: Tailorable Information Visualization. *Fifth ACM international multimedia conference* (pp. 173-182). Medford, MA: Tufts University.

Bertini, E. a. (2009). Surveying the complementary role of automatic data analysis and visualization in knowledge discovery. ACM, 12-20.

Camarata, K., Do, E., Gross, M., & Johnson, B. (2002). Navigational blocks: tangible navigation of digital information. *Extended abstracts of the CHI 2002 conference on human factors in computing systems* (pp. 752–754). Minneapolis, Minnesota: ACM New York.

Card, S. (2007). *Human-Computer interaction - Fundamentals.* (z. Sears, & J. A. Jacko, Éds.) CRC Press.

Card, S. M. (1999). *Readings In Information Visualization: Using Vision To Think.* San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers.

Coelho, M., Ishii, H., & Maes, P. (2008). Surflex : a programmable surface for the design of tangible interfaces. *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3429-3434). New York: ACM.

Coutaz, J., Nigay, L., Blandford, A., May, J., & Richard, M. (1995). Four Easy Pieces for Assessing the Usability of Multimodal Interaction: The Care Properties. *Human—Computer Interaction IFIP Advances in Information and Communication Technology* , 115-120.

Dragicevic, P. a. (2013, september 22). 5500 BC – *Mesopotamian Clay Tokens.* Récupéré sur dataphys.org: http://dataphys.org/list/peruvian-quipus/

Dragicevic, P. a. (2016, Avril 15). *List of Physical Visualizations & related artifacts*. Récupéré sur dataphys.org: www.dataphys.org/list

Fishkin K, G. A. (2000, Sept). Embodied user interfaces for really direct manipulation. *Communications of the ACM,* 43(9), 74-80.

Fishkin, K. P. (2004, Sept). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing,* 8(5).

Fitzmaurice, G. I. (1995). Bricks : Laying the foundations for graspable user interfaces. *CHI '95 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human* , 442-449.

Follmer, S. L. (2013, 10 08). inFORM: Dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. *Proceeding*, 417-426 .

Froebel, F. (1885). *The Education of Man*. Indiana, New York: A. Lovell & company.

Harrison, C., & Hudson, S. E. (2009). Providing dynamically changeable physical buttons on a visual display. *CHI '09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 299-308). New York, NY, USA: ACM.

Hinckley, K. P. (1994). Passive real-world interface props for neurosurgical visualization. Dans C. Plaisant (Éd.), *CHI '94: Conference Companion on Human Factors in Computing Systems* (p. 232). ACM.

Holmquist L., R. J. (1999). Handheld and Ubiquitous Computing - *Token-based access to digital information. Springer Berlin Heidelberg.*

Ishii, H. (2008). Tangible Bits: Beyond Pixels. *TEI '08 Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. xv-xxv). ACM Press.

Ishii, H. a. (1997). Tangible Bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. *CHI '97 Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems* (pp. 234-241). ACM.

Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L., & Labrune, J.-B. (2012). Radical Atoms: Beyond Tangible Bits, Toward Transformable Materials. *Interactions*, 19(1), pp. 38-51.

Jansen, Y. &. (2013, 12 01). An Interaction Model for Visualizations Beyond The Desktop. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2396-2405.

Jansen, Y. D.-D. (2013). Evaluating the efficiency of physical visualizations. *CHI '13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2593-2602). ACM.

Jansen, Y., & Dragicevic, P. (2015). Opportunities and Challenges for Data Physicalization. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3227-3236). NY, USA: ACM New York.

Ji Soo Yi, Y. a. (2007, 11 01). Toward a Deeper Understanding of the Role of Interaction in Information Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* 13(6), 1224-1231.

Keim, D. A. (2002, 01 01). Information Visualization and Visual Data Mining. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 8(1), 1-8.

Keim, D., & Mansmann, F. a. (2006, 07 05). Challenges in Visual Data Analysis. IV '06 *Proceedings of the conference on Information Visualization* (pp. 9-16). IEEE Computer Society Washington.

Lee, J., Post, R., & Ishii, H. (2011). ZeroN : Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Compter Controlled Magnetic Levitation. *Proceeding of the 24th annual ACM symposium on User interface softaware and technology* (pp. 327-336). New York, NY, USA: ACM.

Mackinlay, J. (1986, 04 01). Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 5(2), 110-140.

Piper, B. R. (2002). Illuminating clay: A 3-D tangible interface for landscape analysis. *CHI '02 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 355-362). ACM New York, NY, USA ©2002.

Priestnall, G., Gardiner, J., Durrant, J., & Goulding, J. (2012). Projection Augmented Relief Models (PARM): Tangible Displays for Geographic Information, *Electronic Visualisation and the Arts London*, UK: EVA 2012.

Purchase, H. C.-K. (2008, 03 01). *Information Visualization*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.

Rekimoto, J. (1996). Tilting operations for small screen interfaces. *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on user interface software and technology (UIST'96)* (pp. 167-168). Vienna: ACM.

Rekimoto, J. (1997). Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. *the Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 31-39). New York, NY, USA: ACM .

Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. *Proceedings of the CHI'98 conference on human factors in computing systems* (pp. 281-287). Los Angeles, California: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.

Shaer, O. a. (2010, 01 01). Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 3(1-2), 1-137.

Singer, A., Hindus, D., Stifelman, L., & White, S. (1999). Tangible progess : less is more in somewire audio spaces. *Proceedings of the CHI'99 conference on human factors in computing systems* (pp. 104–111). Pittsburgh: ACM.

Small, D., & Ishii, H. (1997). Design of spatially aware graspable displays. *Extended abstracts of the CHI'97 conference on human factors in computing systems* (pp. 367-368). Atlanta, Georgia: ACM.

Spence, R. (2007). *Information Visualization - Design for Interaction* (2nd ed.). (Pearson, Éd.) Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc.

Taher, F., Hardy, J., Karnik, A., Weichel, C., & Jansen, Y. (2015). Exploring Interactions with Physically Dynamic Bar Charts. *CHI '15 Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3237-3246). ACM New York.

Tominski, C. (2006). *Event-Based Visualization for User-Centered Visual Analysis*, PhD Thesis.

Ullmer, B., & Ishii, H. (2001, 07 01). Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces. *Human-Computer Interaction in the New Millenium*, 39(3-4), 915-931.

Underkoffler, J. a. (1999). Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. *CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems,* 386-393, ACM New York.

Ware, C. (2004). *Information Visualization, Perception for Design*. (M. O. PUBLISHERS, Éd.) Elsevier.

UNIVERSITÉ
DE NAMUR