

Résumé en Français

manipulation Directe pour la Visualisation
d'Information

Charles Perin

Université Paris-Sud, INRIA, CNRS-LIMSI

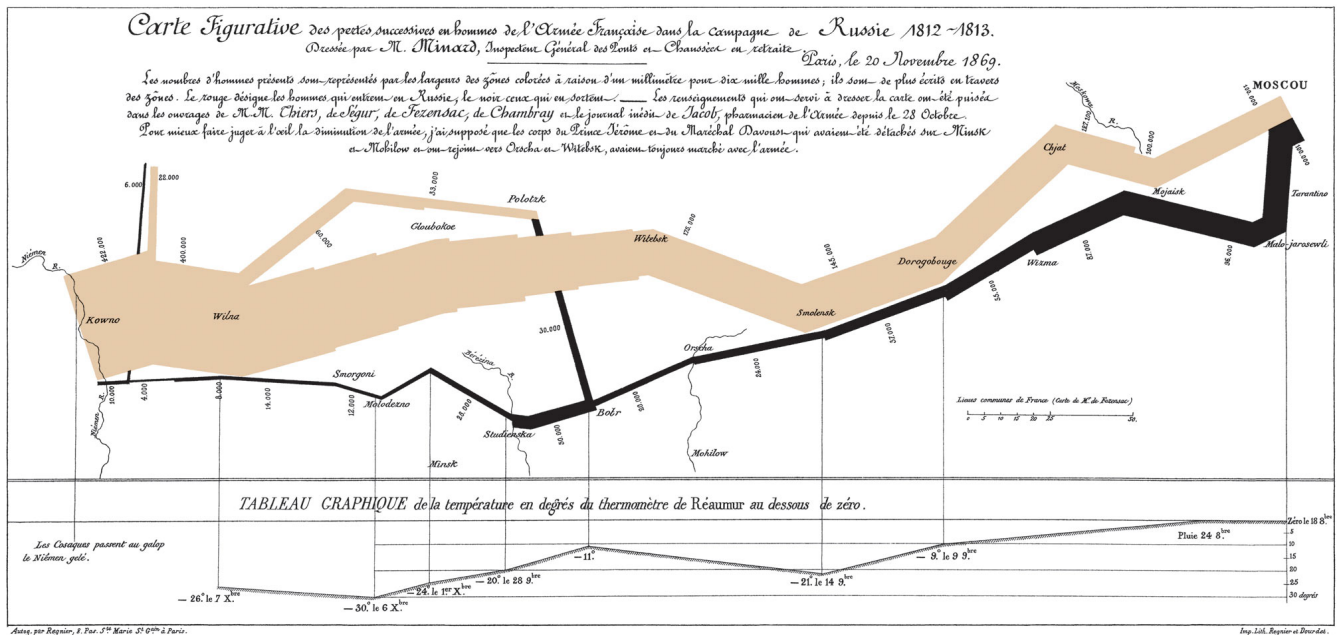


Figure 1: Carte de Minard (1869) représentant le nombre de pertes humaines durant la campagne de Russie de Napoléon de 1812, ainsi que les mouvements de troupes en fonction de repères géographiques et des températures rencontrées.

Chapitre 1 : Introduction

L'informatique a révolutionné la quantité d'information qu'il est possible de récolter, stocker, et analyser, mais aussi la manière de représenter ces informations, de les interpréter visuellement, et d'interagir avec. Le domaine de la visualisation d'information est né de ce changement.

La visualisation d'information (Infovis) est la représentation visuelle et l'interaction avec des données (abstraites) augmentant la cognition afin d'analyser ces données, de les comprendre, et de prendre des décisions. Les premières représentations visuelles étaient non interactives (Figure 1). Ces graphiques statiques imprimés sont optimisés pour transmettre le plus clairement possible la plus grande quantité d'information possible, exploitant les capacités préattentives afin d'optimiser la cognition. De ces travaux ont découlé des théories et classifications afin d'exploiter au mieux la perception de l'œil humain, telles que les variables visuelles et représentations graphiques.

Avec l'arrivée des ordinateurs au milieu du XIXème siècle, ces représentations graphiques ont pu être créées informatiquement, les ordinateurs permettant de traiter de plus grandes quantités de données, plus rapidement, et permettant d'itérer plus facilement sur les visualisations. Surtout, l'informatique permet non seulement d'observer une visualisation, mais aussi d'interagir avec son contenu, c'est à dire les données représentées. Cependant, aujourd'hui encore, les interactions pour les visualisations sont rudimentaires et s'inspirent de paradigmes tels que la manipulation directe et les interfaces WIMP (Fenêtre, Icône, Menu, Curseur) alors que le domaine de l'interaction homme-machine (IHM) a depuis énormément progressé.

Cette thèse, à l'intersection de la visualisation d'information et de l'interaction homme-machine, est un pas en avant vers l'intégration et l'adoption de techniques d'interaction avancées dans le domaine de l'Infovis. En faisant le lien entre ces deux domaines, j'explore comment améliorer l'efficacité et l'utilisabilité des interactions. Pour ce faire, j'ai conçu et évalué de nouvelles interactions basées sur les avancées récentes et peu connues du domaine de l'Infovis au cours de différents projets. À partir de ces différents projets, j'extrai de nouvelles règles empiriques visant à améliorer les interactions pour l'Infovis et je soulève des problèmes cruciaux pour la communauté dans le futur.

Chapitre 2 : Visualisation d'Information et Interaction

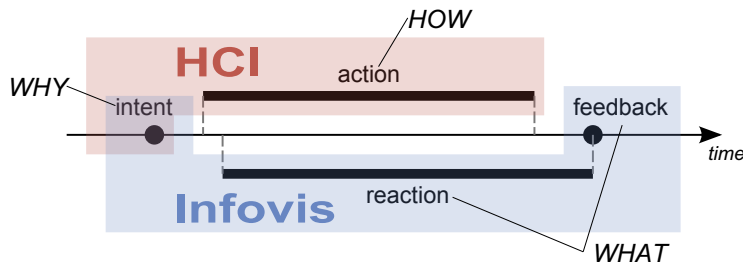


Figure 2: Définition d'une interaction en fonction du temps. Illustre sur quelles parties d'une interaction l'Infovis et l'IHM se concentrent.

Dans le chapitre 2, je me base sur la définition d'une interaction illustrée Figure 2 permettant d'identifier les aspects auxquels s'intéressent principalement, d'un côté le domaine de l'Infovis, et de l'autre côté, le domaine de l'IHM. Dans cette thèse, je considère le spectre entier d'une interaction: le *Why* correspond à l'intention de l'utilisateur, le *How* à la manière dont l'utilisateur interagit avec le système pour accomplir l'action associée à son intention, et le *What* au retour cognitif du système en réponse à l'action de l'utilisateur.

Je présente ensuite un historique des interfaces à manipulation directe et extraie à partir de la littérature une liste de 19 principes, 16 bénéfiques et 17 défis des interfaces à manipulation directe. Je présente aussi des aspects moins explorés de la conception d'interactions. Ensuite, je décris le rôle de l'interaction en Infovis et présente plusieurs exemples de techniques de visualisation mettant en application les critères des interfaces à manipulation directe. J'analyse ces systèmes en me basant sur les principes, bénéfiques et défis précédemment extraits, afin d'illustrer les apports de la manipulation directe pour l'Infovis. Enfin, je présente des défis et compromis propres aux systèmes de visualisation d'information en termes d'interaction.

Chapitre 3 : Rendre une Technique de Visualisation plus Efficace

Dans le chapitre 3, je propose des techniques d'interaction afin d'améliorer l'efficacité d'une représentation existante pour visualiser de multiples graphiques temporels, et évalue les bénéfices de telles interactions. Les représentations de données temporelles sont nombreuses, et leur utilisation variée.

Je m'intéresse dans ce chapitre au besoin de visualiser simultanément de nombreux graphiques temporels, comme c'est le cas des analystes boursiers par exemple. Ainsi, je me base sur une technique récente, les *Horizon Graphs*, offrant une vue compacte des données par aplatissements successifs du graphique en un graphique nécessitant moins d'espace à l'écran et communiquant des valeurs non seulement par la position verticale des points de donnée, mais aussi par leur saturation.

Je détaille la conception de ces interactions, des variantes du *pan* et du *zoom* (Figures 3 et 4) et leur évaluation, montrant que la version interactive proposée (interactive *Horizon Graphs*) est plus efficace que deux représentations statiques classiques lorsque le nombre de graphiques temporels à analyser en parallèle augmente.

Je compare ces résultats à deux études récentes afin d'identifier les apports des techniques d'interaction proposées et je propose des recommandations sur la technique de visualisation à utiliser en fonction du nombre de graphiques temporels à analyser simultanément. Je discute en particulier la force d'interactions génériques permettant de fusionner des représentations existantes, afin de limiter la prolifération de techniques de visualisation sensiblement différentes mais étant en fait très proches. Je conclus en explorant la généralité de ces techniques d'interaction et leur application à d'autres types de graphiques, et en proposant des implications de conception de techniques d'interaction pour l'Infovis.

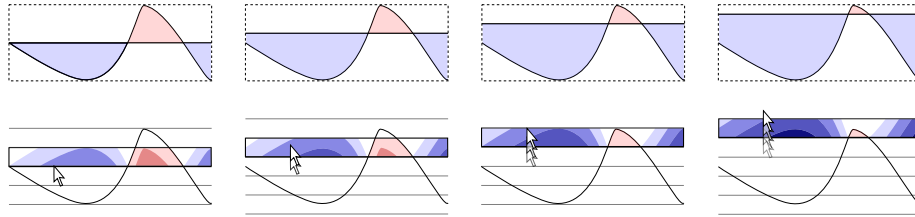


Figure 3: Pan : translation du repère vertical. Le graphique du bas représente la vue du graphique en utilisant les Interactive Horizon Graphs pour quatre valeurs successives de translation (pour un facteur de zoom constant). Le graphique original est présenté au-dessus de chaque étape pour plus de clarté.

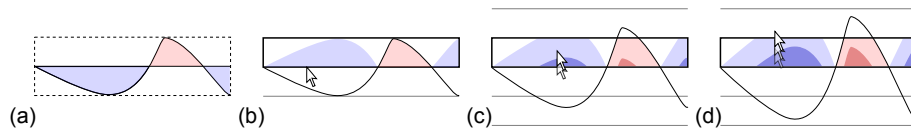


Figure 4: Zoom : (a) à partir d'un graphique temporel classique dont (b) les valeurs sous le repère vertical sont inversées et colorées en bleu, la valeur du zoom est progressivement augmentée: (b) zoom=1.0, (c) zoom=1.35, (d) zoom=1.7. Les valeurs atteignant le haut du graphique réapparaissent en bas, avec une teinte plus saturée. Le graphique original est superposé à chaque étape pour plus de clarté.

Chapitre 4 : Navigation Temporelle dans les Tables de Classement

Dans le chapitre 4, je propose deux nouvelles techniques d'interaction pour la navigation dans la dimension temporelle de tables multidimensionnelles évoluant dans le temps (Figure 5). J'explore aussi l'intégration d'une représentation classique (graphique temporel) comme une vue alternative intégrée à la table et accessible par interaction.

Ce travail est basé sur une étude exhaustive i) des pratiques courantes pour la représentation graphique de tables de classement, en particulier dans le domaine du football, et ii) une étude des tâches à effectuer extraites d'articles de sites spécialisés en ligne et évaluées par un journaliste sportif. Ces tâches sont ensuite catégorisées selon une classification des tâches temporelles. Les techniques d'interaction et navigation sont ensuite évaluées en ligne, par le biais d'un quiz, dont les participants sont familiers avec le contexte et habitués à observer de telles tables.

Les résultats de notre évaluation montrent que les techniques d'interaction proposées sont plus efficaces que les moyens standards de naviguer dans le

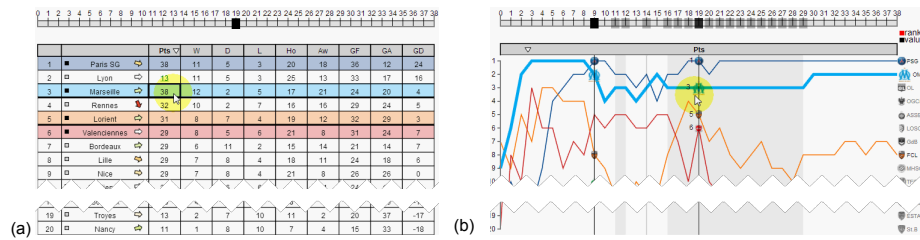


Figure 5: Les deux nouvelles techniques d’interaction proposées pour la navigation dans des données de classement multidimensionnelles et temporelles. (a) DRAG-CELL permet de naviguer directement dans les valeurs d’une cellule en fonction du temps. (b) VIZ-RANK est une vue alternative intégrée à la table permettant de visualiser l’évolution des valeurs au cours du temps.

temps (boutons ou sliders de navigation) pour un grand nombre de tâches jugées importantes et difficiles. Ces nouveaux modes de navigation (en particulier impliquant de naviguer dans le domaine des valeurs de la table plutôt que le domaine temporel) ouvrent des perspectives prometteuses car soit plus génériques, soit plus efficaces que les interactions habituellement disponibles.

Enfin, je discute les implications de conception issues de ce projet, et discute en particulier les problèmes d’engagement de l’utilisateur et de découvrabilité des techniques d’interaction avancées.

Chapitre 5 : Navigation Temporelle par Manipulation Directe

Dans le chapitre 5, j’explore en détail comment rendre plus “directes” les techniques de navigation temporelle. En me basant sur les techniques conçues et détaillées dans le chapitre 4, je présente une nouvelle technique d’interaction pour la navigation dans des représentations de données temporelles en utilisant des trajectoires temporaires d’objets mouvants. J’explore en premier lieu l’unification des de DRAG-CELL et VIZ-RANK présentées dans le chapitre 4 dans le cas des tables de classement multidimensionnelles (Figure 6), illustrée au travers de plusieurs cas d’application tels que les algorithmes de tri, les classements de championnats sportifs, les classements d’universités, et les citations par auteur d’une conférence. J’en extraie une liste de propriétés i) interactives à prendre en compte lors de la création d’une telle technique : contrôle interactif des animations, mise à jour dynamique de la visualisation, défilement automatique de la page, etc ; et ii) visuelles: type d’interpolation de la trajectoire, épaisseur de trait, couleur, plateaux, halo, opacité, et représentation de la cause des changements.

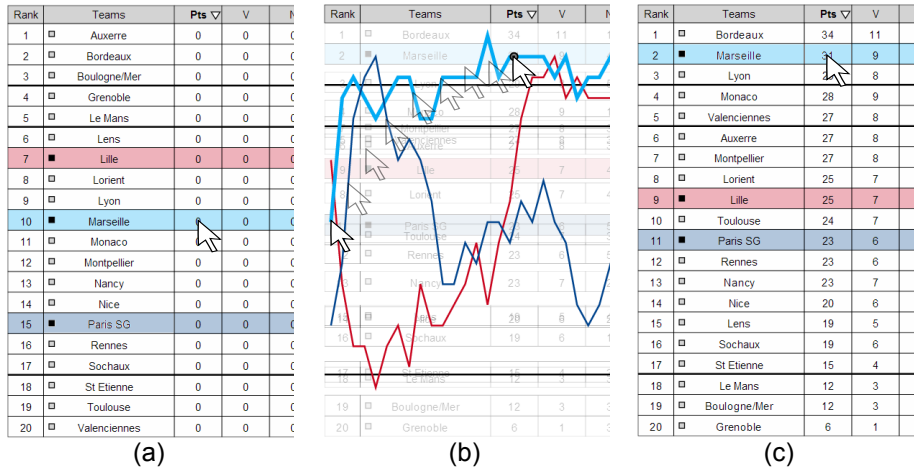


Figure 6: Navigation basée sur la trajectoire d’objets appliquée aux tables de classement : (a) sélection d’entrées de la table et pression du bouton de la souris dans une cellule ; (b) la cellule est transformée en sa trajectoire en fonction du temps et naviguer le long de la trajectoire met à jour la table en fond ; (c) relâcher le bouton de la souris restaure la vue de la table, mise à jour au temps courant.

J’explore ensuite l’espace de conception de l’interaction basée sur les trajectoires et propose un modèle d’interaction générique de la technique, et l’applique à plusieurs types de graphiques temporels: scatterplot matrix, diagrammes en bâtons, etc. Ce modèle d’interaction soulève de nouveaux problèmes, tels que le choix de la méthode de déplacement le long des trajectoires et le problème de grande variabilité des données. La conception de cette technique met en avant les bénéfices d’appliquer des critères de la manipulation directe et de l’interaction instrumentale (degrés de décalage temporel et spatial, degré d’intégration, degré de compatibilité).

Ce projet met en avant des facettes des interactions pour la visualisation peu explorés, telles que les interactions fluides et engageantes et l’esthétique des techniques d’interaction et de visualisation. un autre point crucial soulevé est l’identification de l’objet d’intérêt comme première étape à la conception d’une technique d’interaction.

Je conclus en proposant un ensemble de conseils de conception des techniques de navigation basées sur les trajectoires d’objets et en discutant les bénéfices d’augmenter la directitude des interactions pour la navigation temporelle. Ces conseils de conception englobent l’identification de l’objet d’intérêt, la représentation des trajectoires, la stratégie de suivi de trajectoire, l’adaptation dynamique de la vue sur les données, et les représentations graphiques additionnelles.

Chapitre 6 : Nouvelles Interactions pour la Création de Visualisations Tabulaires

Dans le chapitre 6, je présente un nouveau type d'interaction pour la création, l'analyse, l'exploration, et la communication de données tabulaires basé sur le travail de Jacques Bertin, cartographe et précurseur de la visualisation dans les années 80. Ce travail se base sur une étude exhaustive des systèmes existants ayant tenté d'implémenter cette méthode, dont la plupart a disparu.

Non seulement ce chapitre revisite une méthode d'analyse ancienne et oubliée, mais il met aussi en avant des aspects de l'Infovis peu considérés dans la communauté que sont les algorithmes dirigés par l'utilisateur et les bénéfices de l'interaction "lente". L'outil est accessible sur www.bertifier.com (et illustré Figure 7). Le coeur de l'application est la conception des Crossets, des widgets augmentés de franchissement permettant d'appliquer à des séries de lignes ou colonnes de la table une même action.

La conception des interactions est ancrée dans le modèle de l'interaction instrumentale et de la manipulation directe, tout en tirant avantage du franchissement, une technique d'interaction peu utilisée et pourtant extrêmement puissante. Les résultats d'une étude qualitative suggèrent que les interactions proposées rendent accessible cette méthode d'analyse non seulement à des spécialistes, mais aussi au grand public, pour l'exploration, l'analyse, et la communication de leurs propres données.

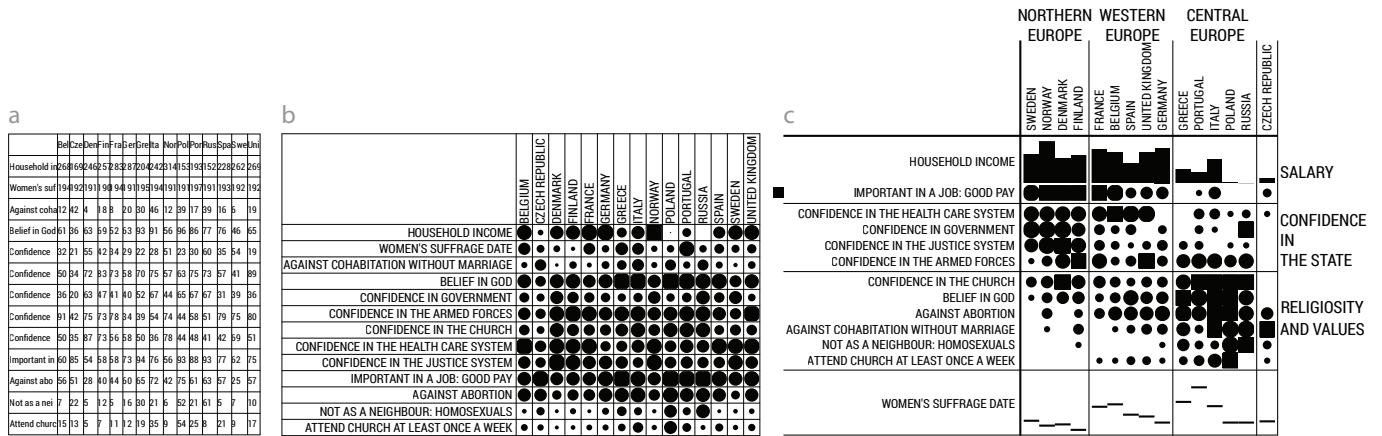


Figure 7: Un tableau de données formaté et réordonné avec Bertifier : (a) la table numérique originale ; (b) la visualisation tabulaire correspondante ; (c) le résultat final, réordonné, formaté et annoté. Le résultat final peut alors être exporté et inséré comme figure dans un document.

Cette implémentation est au final la plus complète en termes de fonctionnalités requises par la méthode, ainsi que la plus cohérente et directe interface. Ce projet met en avant plusieurs compromis des interactions dites directes, soulève la perspective prometteuse des algorithmes semi-automatiques dirigés par l'utilisateur, et détermine un nouveau style d'interface à la fois compatible avec les interfaces existantes basées sur les widgets et permettant la création d'interfaces d'un nouveau genre.

Chapitre 7 : Leçons et Perspectives

Dans le chapitre 7, je résume mon travail de thèse. Je présente les leçons et conseils, compromis, et perspectives que mon travail de thèse a mis en avant, et j'identifie les défis des interfaces à manipulation directe qui restent encore à explorer dans de le domaine de l'Infovis. Je propose un senssemble de conseils de conception empiriques extraits de ce travail de thèse: l'interaction guidée par les objets d'intérêt de la visualisation ; le compromis entre généralité d'une interaction et sa *cohérence cognitive*, c'est à dire la similarité entre l'intention (la tâche) de l'utilisateur et l'action effectuée pour accomplir cette tâche ; l'importance des interactions engageantes, impliquant l'esthétique et la "jouabilité" des interactions ; et les avantages de l'interaction "lente" et l'intérêt du *small data* en opposition au *big data*, qui permettent de générer de la connaissance et aident à la compréhension.

Je présente ensuite les perspectives pour la recherche future, en particulier le défi de la découvrabilité des interactions; le besoin d'un standard associant aux actions utilisateur des interactions en Infovis; et l'apprentissage et la facilité d'utilisation, ces deux facteurs étant liés à l'engagement utilisateur et à la démocratisation de la visualisation d'information.

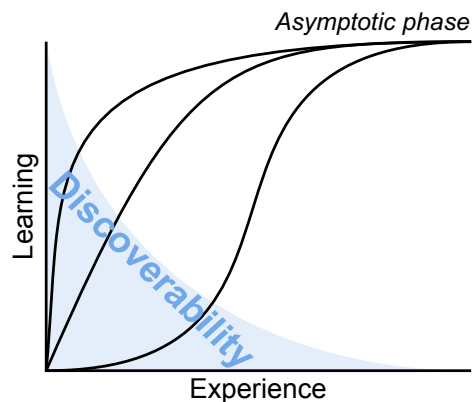


Figure 8: Découvrabilité comme catalyseur d'apprentissage rapide.

Le défi de la découvrabilité en particulier est un travail extrêmement important pour la communauté. J'estime, comme illustré Figure 8, que la découvrabilité des interactions est le catalyseur de l'apprentissage et de la compréhension d'une interface. Plus une interface est découvrable, plus vite elle sera apprise et maîtrisée, et l'abandon des utilisateurs sera amoindri.

Chapitre 8 : Conclusion

La visualisation va de plus en plus vers les environnements collaboratifs, les interfaces tangibles et tactiles, et les dispositifs physiques. Cependant, le bureau classique est toujours l'environnement de travail par défaut (clavier, souris, moniteur) et je pense qu'il le sera toujours pour les prochaines décennies. Alors qu'il est important de s'orienter vers et explorer les nouvelles technologies et possibilités que celles-ci offrent, la recherche est loin d'être terminée sur les visualisations dites de bureau, afin de rendre celles-ci plus efficaces, plus engageantes, et plus populaires.

Je soutiens dans cette thèse que la clé est l'interaction, ce composant majeur de la visualisation d'information offrant de nouvelles possibilités grâce aux avancées de la communauté IHM, et devant être considéré à sa juste valeur, c'est à dire comme égal de la représentation. Cette thèse, à l'intersection de l'infovis et l'IHM, met en lumière le besoin de considérer le spectre tout entier d'une interaction, englobant l'intention de l'utilisateur (*Why*), la réponse du système (*What*), et les actions de l'utilisateur pour accomplir ses tâches (*How*). En particulier, le *How* est le canal de communication entre l'utilisateur et la visualisation, donc entre l'utilisateur et les données qu'il explore. Comme les tâches en infovis sont de haut niveau, inconnues, et vagues, l'interaction fournit à l'utilisateur l'outil lui permettant d'établir un dialogue avec les données et offre de nouvelles possibilités de mieux analyser, explorer, comprendre, et communiquer des résultats afin de prendre des décisions, le but premier de l'Infovis.

En concevant de nouvelles interactions de manière opportuniste, basées sur des avancées récentes en IHM allant au-delà des widgets standards et des interfaces WIMP, j'ai montré que des représentations visuelles pouvaient être unifiées (chapitre 3), que des techniques d'interaction pouvaient être unifiées (chapitre 5), que de nouvelles représentations visuelles pouvaient être découvertes grâce à l'interaction (chapitre 3), et que de nouveaux instruments d'interaction pouvaient être générés (chapitre 4 et chapitre 6).

J'ai exploré plusieurs défis des interfaces à manipulation directe et proposé des conseils de conception ainsi que de nouveaux défis pour des interactions plus efficaces en infovis, tels que la conception d'interfaces centrée objet d'intérêt, la congruence cognitive des interactions, leur généricité, la valeur des interactions fluides, continues, et engageantes pour l'utilisateur, ainsi que l'interaction "lente"

comme vertu afin de générer plus de compréhension et de connaissances.

Les leçons et conseils de conception que j'ai extrais de cette thèse sont un pas de plus vers une théorie de l'interaction pour l'Infovis. En me basant sur les observations tirées de plusieurs projets, j'ai proposé des perspectives de recherche future: le besoin de pouvoir comparer des systèmes interactifs hétérogènes en termes de modalités d'interaction proposées ; le rôle et les facteurs de découvrabilité des interactions avancées non standard ; et le besoin d'un standard associant aux actions utilisateur des interactions en Infovis.

Finalement, l'exploration et la conception à la fois opportuniste et empirique de nouvelles interactions en se basant sur les règles déjà empiriques pré-établies est une stratégie alternative à la formalisation d'une théorie de l'interaction en infovis—qui pourrait bien ne jamais être établie. plus qu'une alternative, cette stratégie est catalyseur de créativité, leur conception n'étant pas contrainte par une formalisation stricte qui pourrait restreindre l'innovation.