

Visualisation interactive de données temporelles : un aperçu de l'état de l'art

Kangnikoé Adjanor^{1, 2}

*Eric Lecolinet*¹

*Yves Guiard*¹

*Myriam Ribière*²

¹ TELECOM ParisTech - CNRS LTCI
46 rue Barrault 75013,
Paris, France

{kangnikoe.adjanor, eric.lecolinet, yves.guiard}@enst.fr

² Alcatel-Lucent Bell Labs - Centre de Villard
Route de Villejust 91620,
Nozay, France
myriam.riberie@alcatel-lucent.com

RESUME

De nombreux systèmes de visualisation ont été conçus et développés pour traiter la masse sans cesse grandissante de données temporelles. Les interfaces de ces systèmes se basent sur différentes représentations qui prennent en compte les multiples aspects du facteur temps (linéaire ou cyclique, instant ou intervalle, multiples unités, etc.) ainsi que les caractéristiques propres aux données. Pour pouvoir analyser et comparer les différentes techniques de représentation de ces données, il est nécessaire de disposer d'un espace de classification. Dans cet article, qui tente de dresser un état de l'art, nous décrivons et nous comparons les représentations visuelles de données temporelles en mettant l'accent sur trois facteurs de classification: le temps, la donnée et la tâche de l'utilisateur.

MOTS CLES : Visualisation temporelle, représentation visuelle, donnée temporelle, taxonomie.

ABSTRACT

Many visualization systems have been designed and developed to address the ever-growing mass of temporal data. The multiple aspects of time (linear vs cyclic, instant vs interval, different units etc.) have been represented in different manners in existing visualization systems. A design space is thus needed to analyse and compare different visual representations used in those systems. In this article we propose a framework to describe and analyze existing temporal visual representations with emphasis on three factors: time, data and user task.

CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS: H5.2. [Information Interfaces And Presentation]: Graphical user interfaces.

GENERAL TERMS: Design, Human Factor.

KEYWORDS: Temporal visualization, visual representation, temporal data, taxonomy.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

IHM'2010, September 20-23, 2010, Luxembourg, LU

Copyright © 2010 ACM ISBN 978-1-4503-0410-8/09/2010... \$10.00

INTRODUCTION

Selon la qualité de la représentation graphique utilisée, des données dépendantes du temps peuvent être très difficiles ou très faciles à comprendre. Des techniques tout à fait efficaces de représentations visuelles de données temporelles ont été imaginées bien avant l'avènement de l'informatique. Tufte [45] nous rapporte plusieurs exemples remarquables de représentations temporelles sur support papier. L'une des plus célèbres est la Marche de Napoléon [34], une carte figurative réalisée par Minard; elle représente l'évolution des troupes de Napoléon pendant la campagne de Russie (1812-1813).

Aujourd'hui dans des domaines variés (santé, finance, démographie, gestion de projet, simulation, etc.) les utilisateurs sont amenés à créer et à analyser de grandes quantités de données temporelles. Parmi les défis importants relatifs à ces données, Mackay et al. [30] mentionnent leur création par des techniques d'interaction simples, leur modélisation, leur archivage, leur partage et leur visualisation.

Cet article se concentre sur le thème de la visualisation des données temporelles et nous mettrons l'accent sur les représentations de type interactif que permet aujourd'hui l'informatique. Une revue de la littérature montre que si de nombreux systèmes et prototypes logiciels ont été développés pour visualiser les données temporelles, à notre connaissance peu de travaux [4, 16, 35] ont été consacrés à la classification et à la caractérisation de l'existant.

Afin d'analyser de manière systématique les exemples de visualisations temporelles, nous proposons une caractérisation basée sur trois facteurs: le temps, la donnée et la tâche. La première section est consacrée aux définitions et aux taxonomies existantes. Nous présentons en détail, dans la deuxième section, les dimensions de notre espace, un espace qui nous servira, dans la troisième section, à caractériser une vingtaine de visualisations temporelles. Enfin, nous présenterons une conclusion générale sur les techniques de visualisations étudiées.

DEFINITIONS ET TRAVAUX ANTERIEURS

Définitions

Une donnée temporelle est définie dans [35] comme un couple $\langle t, v \rangle$ où t possède une sémantique temporelle (instant, durée, intervalle de temps) et v une sémantique métier (valeur numérique, titre d'un événement, image, etc.). Canavagio [10] utilise le terme « information temporelle » pour désigner une information v qui dépend du temps t . Dans [16], t est appelée valeur temporelle et v valeur structurelle. On appelle domaine temporel l'ensemble $\{t_0, \dots, t_n\}$ et domaine structurel l'ensemble $\{v_0, \dots, v_n\}$. La visualisation de données temporelles traite donc de la représentation visuelle des ensembles similaires à $H = \{\langle t_0, v_0 \rangle, \langle t_1, v_1 \rangle, \dots, \langle t_n, v_n \rangle\}$; H est appelé historique de la donnée dans [16]. Notons que la variable structurelle v peut aussi être une fonction continue du temps, ceci aboutissant à une infinité de couples $\langle t, v=f(t) \rangle$ à visualiser.

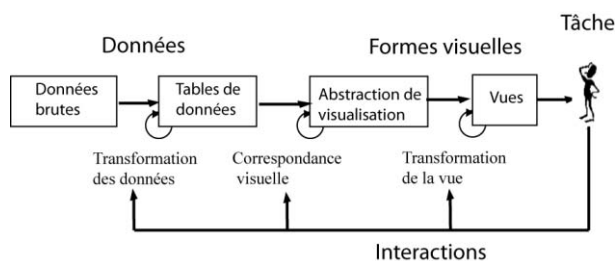


Figure 1 : Un modèle de référence pour la visualisation interactive de l'information (Card et al. [11]). Tout en identifiant plusieurs stades dans la transformation des données en formes visuelles, le modèle montre que l'utilisateur peut aujourd'hui interagir avec les données en intervenant sélectivement aux divers stades de leur élaboration, selon ses besoins et ses tâches.

Travaux antérieurs

Les modèles de référence existants [11, 13] décrivent le processus de visualisation comme étant la transformation des données en éléments visuels. Outre les données et les variables visuelles, le modèle de référence de Card et al. (Figure 1) fait intervenir les concepts de tâches et d'interactions. Dès lors, plusieurs facteurs peuvent être utilisés pour caractériser les visualisations.

D'abord, les systèmes de visualisation peuvent être caractérisés par les variables visuelles utilisées. La première formalisation des variables visuelles est due à Bertin [8]. Cleveland et McGill [15] ont approfondi les travaux de Bertin en comparant l'efficacité des différentes variables visuelles. Hurter et al. [24] se sont intéressés aux variables visuelles et aux données dans les représentations temporelles écologiques (qui s'appuient sur les capacités perceptives innées et préattentives de l'utilisateur). Ils proposent une caractérisation basée sur les fonctions de transformation des données, les codes visuels utilisés et les données émergentes (voir [24] pour une définition complète). Cette caractérisation permet de comparer plusieurs représentations temporelles suivant le nombre de données émergentes. Nous nous intéressons à

un ensemble de visualisations temporelles beaucoup plus grand incluant celles écologiques ou non.

Muller et al. [35] proposent pour leur part une classification selon la manière dont évolue la représentation dans le temps. Ils distinguent les représentations *statiques* et *dynamiques*. Les représentations statiques présentent le temps par un ou plusieurs axes géométriques, rectilignes ou non. Les données structurelles sont ensuite disposées dans le repère ainsi obtenu. Elles fournissent aussi des « widgets » pour des effets de « pan » ou de « zoom ». Les représentations dynamiques quant à elles sont des vues animées des données structurelles. Généralement, ces représentations disposent d'une barre de temps pour naviguer dans les données et de quelques widgets pour contrôler l'animation (pause, arrêt, reprise, avance rapide). La puissance de cette taxonomie réside dans sa simplicité (seulement deux grandes catégories). Muller et al. ont également identifié plusieurs aspects du temps (intervalle, instant, aspect cyclique et linéaire ...) mais ils ne se sont pas appesantis sur l'étude de leur influence sur les représentations. Pour compléter la taxonomie de Muller et al., Aigner et al. [4] proposent un nouvel espace de caractérisation basé sur 3 facteurs : le temps, la donnée et la représentation. Deux aspects du temps (primitive temporelle et structure), les aspects dynamique ou statique et la forme (2D ou 3D) de la représentation ainsi que les caractéristiques des données sont pris en compte.

Ces divers espaces de caractérisation prennent en compte différents aspects des représentations temporelles sans s'intéresser véritablement aux tâches que ces représentations supportent. Or, les représentations visuelles temporelles sont spécifiquement adaptés à certaines tâches (détection des tendances et motifs répétitifs, recherche, comparaison, etc.). Nous tenterons ci-dessous d'approfondir les travaux d'Aigner et al. [4] en explicitant l'influence des six caractéristiques du temps sur les représentations temporelles. Toutefois nous mettrons moins l'accent sur les caractéristiques liées aux données structurelles et à la forme de la représentation. Précisons que si les tâches dont il est question dans [4] sont éventuellement automatisables grâce aux algorithmes de fouille de données temporelles, par exemple à la manière de Laxman et Sastry [29], c'est l'activité des utilisateurs humains qui retiendra toute notre attention - notre perspective étant celle de l'interaction homme-machine.

ESPACE DE CARACTERISATION

Facteur temps

Le temps fait partie des notions primaires d'où l'extrême difficulté à le définir [27]. Bien que les humains sachent mesurer les durées et dater les événements avec précision, l'essence même du temps leur échappe. Cependant différents modèles de temps ont été proposés pour prendre en compte les spécificités des phénomènes tem-

poels. Pour organiser les modèles existants, Frank [18] propose une taxonomie des différents « types de temps » utilisés dans les systèmes d'information. En se basant sur les travaux de Frank, Muller et al. [35] identifient quatre caractéristiques du temps, puis Aigner et al. [2] en proposent une cinquième. Dans cette section, nous reprenons ces cinq caractéristiques que nous illustrons par des visualisations temporelles. Nous proposons ensuite une sixième caractéristique: l'étendue du domaine temporel.

Primitive temporelle: instant, intervalle. Un *instant* est une coordonnée temporelle sans durée, semblable à un point d'un espace euclidien [18, 35]. Dans Time-Tube [14] par exemple, la structure du domaine Xerox.com est visualisée à quatre dates différentes considérées comme des instants. Planning Polygon [41] et ThemeRiver [22] utilisent également les instants comme éléments de base. Un *intervalle de temps* est défini par ses deux bornes : un instant de début et un instant de fin. Les intervalles sont utilisés dans les logiciels de planification (MS Project, Sunbird) et également dans LifeLines [37] (voir Figure 2). Parfois, lorsqu'on planifie des événements futurs, ni les dates, ni la durée ne sont connues avec certitude. PlanningLines [3] utilise par exemple les dégradés de couleur et des formes particulières pour indiquer l'incertitude des dates et des durées des activités.

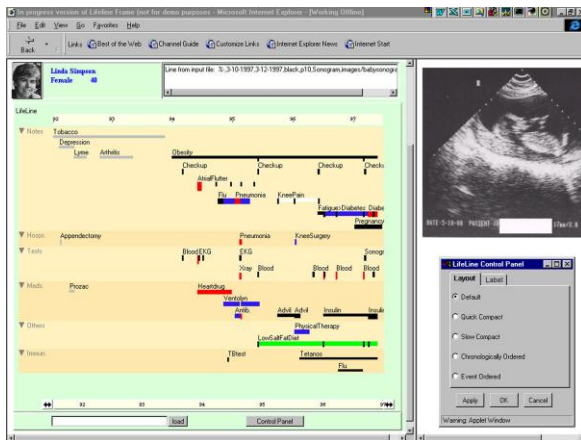


Figure 2 : LifeLines [37] visualisation des événements dans la vie d'un patient (maladies, hospitalisations, etc.). Les événements sont présentés par rapport à une timeline horizontale. A droite on voit les détails de l'événement sélectionné.

Structure : linéaire, cyclique. La *structure linéaire* permet d'exprimer l'idée d'un temps qui s'écoule uniformément du passé vers le futur. Les visualisations qui utilisent un temps linéaire représentent souvent le temps par un axe gradué [42]. Par ailleurs, les phénomènes naturels (succession des jours et des saisons) ou l'activité quotidienne obéissent généralement à des cycles répétitifs. C'est cette répétition qu'exprime la *structure cyclique* du temps. Pour faire apparaître ce caractère cyclique [12, 23, 47] l'axe temporel est souvent représenté par un cercle ou une spirale (Figure 3). Enfin il existe des

représentations logarithmiques du temps: pour des éléments espacés d'une même durée, plus on s'éloigne du présent, plus les distances géométriques séparant ces éléments sont faibles. La représentation logarithmique a été utilisée pour présenter l'histoire de l'univers¹ depuis le big bang jusqu'aux années 90.

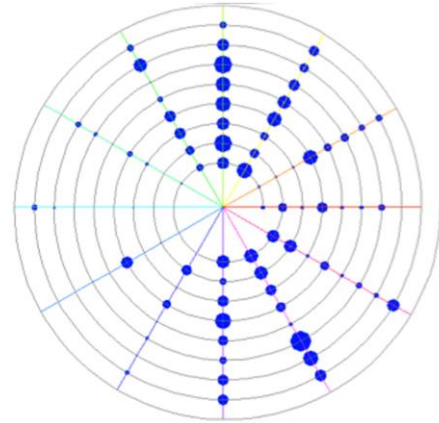


Figure 3 : Part de l'espèce végétale *Baphia Capparidifolia* dans l'alimentation de chimpanzés [12] visualisée de 1980 à 1986. Chaque tour de la spirale correspond à une année.

Echelle de graduation: ordinale, quantitative. L'échelle de graduation exprime la notion de mesure dans le domaine temporel. Le temps est muni d'une échelle de graduation *ordinale* lorsque seul l'ordre des éléments compte. Dans ce cas deux événements peuvent être comparés pour savoir si l'un précède l'autre ou s'ils sont simultanés. Selon Frank [18], ce modèle se retrouve par exemple en géologie où l'on connaît l'ordre de formation des couches sans connaître avec précision la date de formation. L'échelle de graduation *quantitative*, aussi appelée temps continu [2, 11], autorise des calculs de durée entre les éléments. Le domaine temporel est alors assimilé à l'ensemble des nombres réels.

Point de vue: totalement ordonné, partiellement ordonné, à ramifications, à perspective multiple. Le point de vue *totalement ordonné* correspond à l'écoulement du temps pour un seul observateur. Dans ce cas tous les événements se suivent les uns les autres. Lorsque deux observateurs observent deux séries d'événements différents dans un temps à échelle ordinale, il devient difficile de connaître l'ordre relatif de deux événements appartenant à ces deux séries: on parle de point de vue *partiellement ordonné*. Le troisième point de vue est celui du temps à *ramifications* et se retrouve par exemple dans la planification où plusieurs alternatives sont possibles. Chaque choix entraîne un nouvel état du monde avec de nouvelles alternatives. Enfin le temps à *perspective multiple* permet de modéliser la différence entre un événement dans le monde réel et la connaissance que les systèmes informatiques ont de cet événement.

¹<http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/images/log-timeline.jpg>

Granularité : aucune, unique, multiple. La granularité décrit la subdivision du temps en plusieurs unités ainsi que les règles de correspondance entre ces unités. Il existe des unités régulières (un siècle contient obligatoirement 100 années) et des unités irrégulières (le mois contient 28, 29, 30 ou 31 jours). Certaines subdivisions sont liées à des phénomènes naturels cycliques (année, jour); d'autres en revanche sont introduites par l'homme pour des raisons pratiques (millénaire, siècle, dixième de seconde). L'absence de granularité est souvent liée à un temps ordinal. Dans [36] les échanges commerciaux sont connus pour chaque année; la granularité est donc unique. Par contre, dans SpiraClock [17] et Spiral Calendar [32], il y a plusieurs niveaux de subdivision du temps. La représentation tabulaire utilisée par DateLens [7] (voir Figure 4) prend en compte l'année, le mois, le jour, l'heure et la minute; elle utilise de ce fait un temps à granularité multiple.

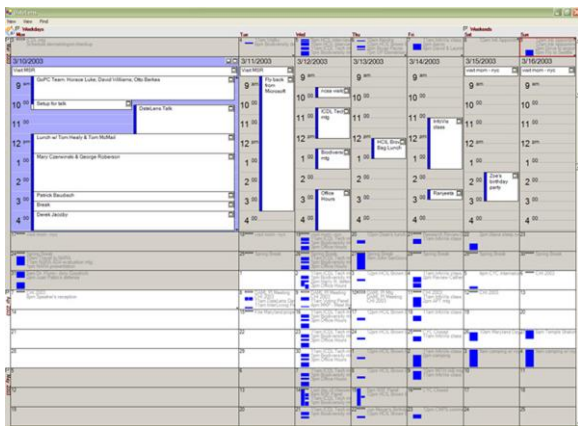


Figure 4 : DateLens [7] - Visualisation des événements dans un calendrier. La distorsion Fisheye permet de voir les détails des événements dans la zone sélectionnée sans perdre trop de contexte.

Etendue du domaine temporel: illimité, limité. En plus de ces cinq caractéristiques nous en proposons une dernière : l'étendue du domaine temporel car nous pensons que cette caractéristique influence la conception d'une vue d'ensemble sur les données. Dans les systèmes d'agendas électroniques [7, 32], les limites ne sont pas connues à l'avance et l'utilisateur a la possibilité de créer de nouvelles données. Le domaine temporel est alors potentiellement illimité. Dans d'autres systèmes [42, 20], l'utilisateur n'a pas le droit de créer des données, mais uniquement de visualiser et d'analyser celles qui existent. Le domaine temporel est alors limité aux données existantes.

Facteur donnée structurelle

Les données traitées par les systèmes de visualisation temporelle diffèrent selon les domaines d'activité. Shneiderman [40] identifie sept types de données (1D, temporelle, 2D, 3D, ND, arbre et graphe). La variable structurelle v peut avoir pour type chacun des sept types

(à l'exception peut-être du type temporel). Pour mieux comprendre ce que véhiculent ces divers types de visualisations temporelles, examinons-les selon les critères de l'intérêt, de la dimension et du niveau de la mesure.

Intérêt : valeur, structure globale. On peut distinguer deux cas dans les visualisations temporelles selon que le message le plus important est la valeur des données ou la structure globale des données. Dans TimeTube [14] et Ripple [25] l'évolution de la topologie globale est plus importante que les pages Web prises séparément. D'autres systèmes de visualisation temporelle, et c'est le cas le plus courant, permettent de visualiser les données elles-mêmes. TimeSearcher [9] par exemple, permet de visualiser et d'analyser la valeur des enchères.

Nombre de dimensions : données unidimensionnelles, données multidimensionnelles. Conformément à la définition de Wong et Bergeron [49], le nombre de dimensions est le nombre de variables indépendantes alors que le nombre de variables correspond au nombre de variables dépendantes. Lorsque la visualisation est consacrée à la valeur des données plutôt qu'à la structure, on distingue deux cas de figure. Le cas le plus simple est le cas *unidimensionnel* (ou *univariable*) où une seule variable varie en fonction du temps. La consommation d'énergie en fonction du temps (jour et heure) présentée dans [48] (voir Figure 5) et les événements dans un agenda électronique [7] sont des exemples de visualisations temporelles unidimensionnelles.

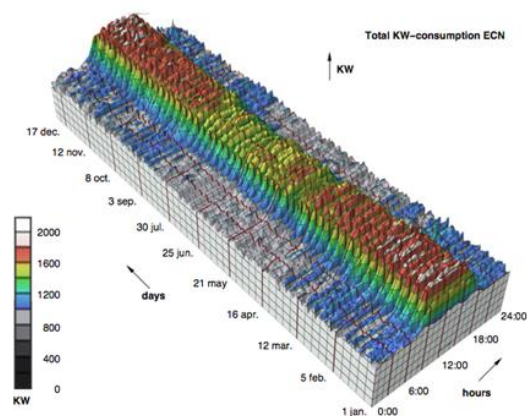


Figure 5 : Consommation d'énergie en fonction de l'heure et de la date [48]. Il saute aux yeux que les plus fortes consommations sont localisées entre 9h et 18h, ce qui correspond aux horaires de bureau.

En dehors des données unidimensionnelles, certaines visualisations permettent d'analyser des données multidimensionnelles et multi-variables (MDMV). Time on horizon [19] et TimeSearcher [9] permettent de visualiser respectivement les valeurs d'action en bourse et celles des enchères. Un autre exemple célèbre est Filmfinder [1] qui utilise le « Starfield Display » et les requêtes dynamiques. Il permet de visualiser les films avec plu-

sieurs attributs (titre, réalisateur, date, classement). Gapminder [20] permet de visualiser l'évolution de plusieurs pays qui appartiennent à différentes zones géographiques dans un plan structuré par deux variables socio-économiques (par exemple le PIB/habitant et le nombre d'utilisateurs d'Internet). Le choix d'utiliser deux axes s'inspire du « Starfield Display » à la différence notable que Gapminder utilise une animation pour présenter l'évolution des différents pays et fournit à l'utilisateur un contrôle continu de la visualisation. Parmi plus de 500 variables que contient la base de données de Gapminder, l'utilisateur ne peut en choisir que deux à la fois.

Niveau de mesure : nominale, quantitative. Une analyse plus approfondie des données unidimensionnelles révèle qu'il est possible de distinguer le cas nominal (ou qualitatif) du cas quantitatif. Les médecins sont par exemple intéressés par les événements dans la vie d'un patient et les historiens par les événements dans l'histoire d'un pays ou du monde. Au contraire les météorologues sont intéressés essentiellement par des données numériques représentant la température, le taux d'humidité, la vitesse ou encore la direction du vent. Nous pouvons donc distinguer les données quantitatives (température par exemple) des données nominales (événements), sans oublier que Card et al. [11] distinguent, entre le cas nominal et quantitatif, le cas ordinal.

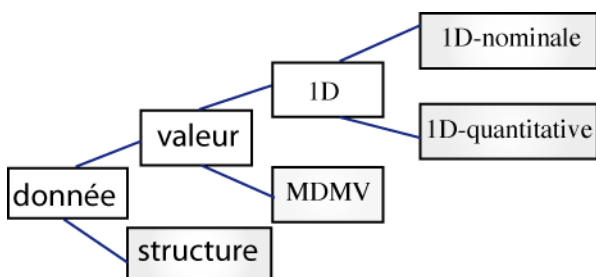


Figure 6 : Les feuilles de cet arbre correspondent à quatre catégories de données obtenues par raffinements successifs

Facteur tâche

Le dernier facteur selon nous crucial en visualisation temporelle est la tâche que l'utilisateur peut accomplir avec ce type de représentations. Après avoir étudié plus de 50 représentations temporelles nous avons pu identifier certaines tâches récurrentes. Le concepteur IHM pourra confronter ces tâches aux besoins des utilisateurs réels afin d'identifier certaines fonctionnalités du système et décider de la meilleure représentation.

Acquisition d'une vue d'ensemble relative à un instant, à un intervalle, à tout le domaine temporel. Conformément au mantra de Shneiderman [40] « overview first, zoom and filter, then details-on-demand », habituellement les systèmes de visualisation fournissent par défaut une vue d'ensemble des données à l'utilisateur. En étudiant plus en détail les visualisations temporelles on peut distinguer trois cas de vues d'ensemble. Le premier

cas est une vue d'ensemble relative à un seul instant, c'est le cas des représentations dynamiques où, à l'instant choisi, l'utilisateur ne voit que les valeurs correspondant à cet instant. Le deuxième cas correspond à une vue d'ensemble sur un intervalle de temps. C'est le cas le plus fréquent en visualisation temporelle : le système offre à l'utilisateur une image des données présentes dans un intervalle de temps bien défini et des moyens d'interaction pour changer les bornes de cet intervalle. La vue d'ensemble définie sur un intervalle est utilisée par exemple dans LifeLine2 [46], Perspective Wall [30] (Figure 7) ou TimeScape [38]. Le troisième cas est une vue globale sur laquelle toutes les données sont présentes. Ce type de vue est utilisée lorsque le domaine temporel est peu étendu ou lorsque les instants d'observation sont peu nombreux. On retrouve ce cas dans Planning Polygon [41] et Simile Timeline².

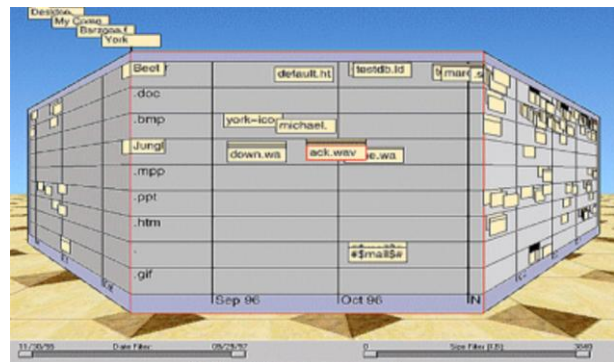


Figure 7 : Perspective Wall [30] - Visualisation des fichiers sur un mur à trois faces. Seuls les fichiers localisés dans un intervalle de deux mois sont clairement visibles.

Recherche d'éléments basée sur des critères temporels ou sur les données structurales.

Les visualisations temporelles offrent généralement deux tâches de recherche. La première consiste à retrouver un élément en connaissant le temps ou l'intervalle de temps approximatif. Lorsque les données sont présentées dans un repère, dont un ou plusieurs axes sont dédiés au temps, il suffit de se focaliser sur le point de l'axe correspondant à la valeur temporelle pour retrouver la donnée. Les systèmes dynamiques fournissent en général un « slider » qui permet à l'utilisateur de se déplacer dans le temps. Pour des vidéos de très longue durée, un « slider » devient peu efficace et il peut être intéressant de le remplacer par un « slider » multi-échelle [39]. La seconde tâche de recherche consiste à retrouver des données structurales en connaissant des critères sur celles-ci. Cette tâche n'est pas propre aux visualisations temporelles et est supportée par bien d'autres systèmes. Elle s'effectue notamment en saisissant un mot clé dans une zone de texte ou en cochant une série de cases représentant les propriétés vérifiées par la donnée. TimeScape [38] supporte les deux types de recherche, en permettant le positionnement dans une timeline et la recherche par mot clé.

² <http://www.simile-widgets.org/timeline/>

Découverte des relations: relations temporelles et relations sémantiques. Les représentations temporelles sont souvent utilisées pour découvrir les relations au sein des données. Ces relations peuvent être de deux types : les relations temporelles et les relations sémantiques. En histoire, une représentation utilisant un temps linéaire et des instants comme primitives permet de connaître quels événements précèdent un événement particulier ou lui succèdent, ou quels sont les événements concomitants. Lorsque la représentation s'appuie sur la primitive temporelle intervalle, on a alors des relations d'Allen [5], lesquelles permettent de répondre à des questions plus complexes. Les représentations sous forme de diagrammes de Gantt [3, 21] supportent ces relations.

D'autres relations sémantiques (causalité, agrégation, inclusion) sont également utiles à l'utilisateur. En médecine [37, 46] les utilisateurs peuvent avoir besoin de visualiser le fait qu'une maladie a nécessité une hospitalisation, une radio du poumon ou une prise régulière de médicaments. En histoire, un événement (bataille de Verdun par exemple) peut faire partie d'un événement plus important (1^{ère} guerre mondiale). Continuum [6] par exemple, permet de visualiser les relations entre des pièces de théâtre ou des partitions de musique créées par des compositeurs et les artistes qui les ont interprétés, éventuellement plusieurs dizaines d'années plus tard.

Comparaison. Lorsque plusieurs variables évoluent de manière indépendante le processus de prise de décision peut nécessiter de les comparer. Nous ne nous intéressons pas ici à deux valeurs d'une même variable mesurée à deux instants différents (ce cas est traité dans le prochain paragraphe), mais bien à deux ou plusieurs variables dont on compare la valeur à un instant donné. Dans [12] l'utilisateur peut visualiser et comparer la quantité de différentes espèces végétales consommées par des singes. En finance, les Horizon graph [19], représentations utilisant plusieurs couches graduellement colorées, permettent de comparer les valeurs des actions. Les « multi-gauges » et « multi-bars » de Matkovic et al. [33] permettent la visualisation des mesures d'une même grandeur physique. La comparaison de ces mesures permet d'identifier et d'exclure une mesure erronée.

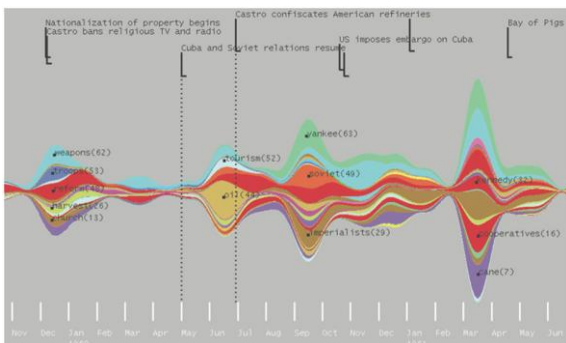


Figure 8 : ThemeRiver [22] - évolution des différents thèmes dans les écrits et discours de Fidel Castro entre 1959 et 1969. L'épaisseur de chaque bande indique le nombre d'occurrence du thème.

Visualisation des tendances. Pour les besoins de prédiction, les utilisateurs sont souvent amenés à analyser l'évolution d'une variable quantitative dans le temps. L'utilisateur peut ainsi observer les tendances à la hausse ou à la baisse, constater des changements dans le cours d'une tendance régulière. En corrélant ces tendances avec des événements externes, ThemeRiver [22] (Figure 8) permet d'expliquer la recrudescence de certains thèmes dans les discours de F. Castro. Le thème « yankee » par exemple devient très utilisé après l'embargo imposé à Cuba par les Etats-Unis en Octobre 1960.

Certaines représentations ne présentent pas les données elles-mêmes, mais directement le gradient calculé sur les données. Dans « map-of-the-market³ », ce n'est plus la valeur des actions qui présentée mais le taux d'évolution par rapport à la clôture la veille. L'utilisation du gradient réduit le nombre d'éléments à afficher sur l'interface pour connaître la tendance des données quantitatives. Lorsque les données sont nominales, la visualisation des tendances se résume à l'observation des phénomènes d'apparition et de disparition.

La détection de motifs répétitifs. Si la visualisation des tendances d'une variable nécessite une observation locale (pendant un petit intervalle de temps), la détection des motifs répétitifs nécessite une observation à plus long terme. La prise en compte de l'aspect cyclique [12, 47] et des granularités multiples du temps permet la mise en évidence rapide de certains motifs répétitifs.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons défini un espace pour caractériser les représentations visuelles de données temporelles. Nous avons illustré par des exemples tirés de l'état de l'art les aspects du temps, des données structurelles et des tâches de l'utilisateur. Ces trois facteurs nous permettent de classifier une vingtaine de visualisations temporelles dont un résumé est présenté ci-dessous (Figure 9). Notre espace de caractérisation ne saurait répondre à toute la complexité des questions en visualisation temporelle. Il complète les taxonomies précédentes en introduisant la tâche de l'utilisateur comme nouveau facteur de caractérisation. Ces tâches pourraient servir de base pour des expériences de perception afin de comparer l'efficacité et la précision relative de plusieurs représentations temporelles, par exemple en suivant le protocole expérimental de Cleveland et McGill [15].

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du laboratoire de recherche commun UBIMEDIA entre Alcatel-Lucent Bell Labs et l'Institut Telecom. Nous tenons à remercier les autres chercheurs de l'équipe IC2/VIA ainsi que les lecteurs anonymes pour leurs critiques constructives et leurs nombreuses suggestions.

³ www.smartmoney.com/map-of-the-market/

a- DateLens [7]	b- Spiral calendar[32]	c- Gapminder [20]	d- Multibars [33]	e- Multicomb [43]	f- Datatube2 [42]
g- Horizon graph [19]	h- TimeScape [38]	i- Perspective wall[30]	j- TimeSpace [28]	k- TimeTube [14]	l- Ripple [25]
m- Marche de N.[34]	n- TimeNets [26]	o- Spiral T.S. [47]	p- S. P. Data [12]	q- Continuum [6]	r- LifeLines [37]
s- LifeLines2 [46]	t- T. D. on Map[44]	u- P consumption[48]	v- ThemeRiver [22]		

Temps	Primitives	Instant a, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, o, p, s, t, u, v		Intervalle b, c, j, n, q, r		
	Structure	Linéaire c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, q, r, s, t, v		Cyclique a, b, o, p, t, u		
	Granularité	Aucune m	Unique c, e, f, g, i, k, n, q, v		Multiple a, b, d, h, j, l, o, p, r, s, t, u	
	Etendue	Illimitée a, b, h, i, j		Limitée c, d, e, f, g, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v		
Donnée	Catégorie	1D - Nominale a, b, h, j, n, q, r, s	1D - Quantitative o, p, u	MD MV c, d, e, f, g, m, o, p, v	Structure k, l, t	
Tâche	Vue d'ensemble	Instantanée c, d, h		Sur intervalle a, b, f, h, i, j, n, r, s,		
	Recherche	critère temps a, b, c, e, g, h, i, j, k, n, o, p, q, r, s, t, u, v			critère donnée a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, n, o, q,	
	Relation	temporelle a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v			Sémantique c, j, k, l, m q, s, t	
	Comparaison	c, d, e, f, g, j, k, n, o, p, q, s, t, v				
	Tendance	a, c, e, f, g, h, i, j, k, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v				
	Motifs répétitifs	e, f, l, o, p, s, t, u				

Figure 9 : Caractérisation de 22 représentations temporelles. En haut (fond blanc) nous avons une liste de représentations et leur référence. Le tableau coloré est une caractérisation de ces exemples en utilisant nos 3 facteurs

BIBLIOGRAPHIE

- Ahlberg, C., Shneiderman, B., *Visual Information Seeking: Tight Coupling of Dynamic Query Filters with Starfield Displays*. 1994. ACM CHI '94, P. 313-317
- Aigner, W., Bertone, A., Miksch, S., Tominski, C., and Schumann, H. *Towards a conceptual framework for visual analytics of time and time-oriented data*. 2007. WSC '07, P. 721-729
- Aigner W., Miksch S., Thurnher B., Stefan Biffel, *PlanningLines: Novel Glyphs for Representing Temporal Uncertainties and their Evaluation*. 2005. IEEE InfoVis '05, P.457-463
- Aigner, W., Miksch S., Muller W., Schumann H., Tominski, C. *Visualizing Time-Oriented Data - A Systematic View*. 2007. Computers & Graphics Volume 31, Issue 3, P. 401- 409.
- Allen, J.-F. *Maintaining Knowledge about Temporal Intervals*. 1983. CACM Vol 26, No.11, P. 832-843.
- André, P., Wilson M. L., Russel, A., Smith, D. A., Owens, A., Schraefel M. C., *Continuum: Designing Timelines for Hierarchies, Relationships and Scale*. 2007. UIST '07, P. 101-110.
- Bederson, B.B., Clamage, A., Czerwinski, M. P., Robertson, G. G., *DateLens: A Fisheye Calendar Interface for PDAs*. 2004. ACM TOCHI, Vol. 11, No. 1, P. 90-119.
- Bertin J., *Sémiologie Graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris, La Haye, Mouton, Gauthier-Villars, 3e édition : 1999, EHESS, Paris.
- Buono, P., Aris A., Plaisant C., A. Khella, Shneiderman. *Interactive Pattern Search in Time Series*. 2005. VDA '05, P. 175–186.
- Canavaggio J-F. *Tempos : un modèle d'historiques pour un SGBD temporel*. Thèse de doctorat. P. 5-25
- Card, S.K., Mackinlay, J.D., Shneiderman, B. *Readings in Information Visualisation Using Vision to Think*. 1999. Morgan Kaufmann Publishers.
- Carlis, J. V., Konstan, J. A. *Interactive visualization of Serial Periodic Data*. 1998. UIST '98 P. 29-38.
- Chi, E. H. *A Taxonomy of Visualization Techniques Using the Data State Reference Model*. 2005. IEEE InfoVis '00, P. 69-75.
- Chi, E.H., Pitkow J., Mackinlay, J., Pirolli P., Gossweiler, R., Card, S. K., *Visualizing the evolution of Web ecologies*. 1998. ACM CHI '98, P. 400-407.

15. Cleveland, W.S., McGill, R. *Graphical Perception : Theory, Experimentation, and Application to the Development of Graphical Methods*. 1984. Journal of the ASA, Vol. 79, No. 387. P. 531-554.
16. Daassi, C., Nigay, L., Fauvet, M.-C. *A taxonomy of Temporal data visualization*. 2006. In *Revue Information Interaction Intelligence*. P. 41-63.
17. Dragicevic P., Huot, S. *SpiraClock : a continous and non intrusive display for upcoming events*. 2002. ACM CHI '02 Extend Abstract, P. 604-605.
18. Frank A. U., *Different Types of 'Times' in GIS. Spatial and Temporal Reasoning in GIS*. Retyped. 1998. New York Oxford University Press. P. 40-61.
19. Few, S. *Time on the Horizon*. 2008. Visual Business Intelligence Newsletter. June/July 2008.
20. Gapminder, on the web www.gapminder.org
21. Ganttproject, on the web www.ganttproject.biz
22. Havre, S., Hetzler, B., Withney, P., Nowell, L. *ThemeRiver: visualizing thematic changes in large document collections*. 2002. IEEE Transactions On Visualization and Computer Graphics, Vol. 8, No.1.
23. Hewagamage K. P., Hirakawa M. and Ichikawa T. *Interactive Visualization of Spatiotemporal Patterns Using Spirals on a Geographical Map*. 1999. IEEE VL '99. P. 296-304
24. Hurter, C., Conversy, S., Vinot, J-L., Jestin Y., *Représentations écologiques de données temporelles : exemples et apports*. 2009. IHM '09, P. 33-42.
25. Ishihara, M., Misue, K., Tanaka J. *Ripple Presentation for Tree Structures with Historical Information*. 2006. APVIS '06, P. 153-160.
26. Kim N. W., Card S. K., Heer J. *Tracing Genealogical Data with TimeNets*. 2010. AVI '10. A paraître.
27. Klein E., *Le temps, son cours et sa flèche*. 2000. Université de tous les savoirs, 6 Juillet 2000.
28. Krishnan, A., Jones, S., *TimeSpace : activity-based temporal visualisation of personal information spaces*. In PUC Vol. 9, January 2005, Springer-Verlag
29. Laxman S., Sastry P. S. *A Survey of temporal data mining*. 2006. Sadhana Vol 31. Springer India.
30. Mackay, W. E., Van Kleek, M. G., Tabard, A., *Interacting with temporal data*. 2009. ACM CHI EA '09, P. 4783-4786.
31. Mackinlay, J.D., Robertson, G.G., Card, S.K., *The perspective wall : detail and context smoothly integrated*. 1999. ACM CHI '99 P. 173-176.
32. Mackinlay, J.D., Robertson, G.G., DeLine, R. *Developing Calendar Visualizers for the Information Visualizer*. 1999. ACM UIST '94, P. 109-118.
33. Matkovic, K., Hauser H., Sainitzer R., Groller, M. E., *Process visualization with Levels Of Detail*. 2002. IEEE InfoVis '02. P. 67-75.
34. Minard, C. J. 1844-1870. *Tableaux graphiques et cartes figuratives*. Collection de l'ENPC.
35. Muller, W., Schumann, H. *Visualization methods for time dependent data – an overview*. 2003. Proceedings of the WSC 2003, P. 737-745.
36. Plaifair, W. *Commercial and Political Atlas and Statistical Breviary*. 1786. Cambridge University Press, Re-issuance 2005.
37. Plaisant, C., Mushlin, R., Snyder, A., Li, J., Heller, D., Shneiderman, B., *Lifelines: Using Visualisation to Enhance Navigation and Analysis of Patient Records*. 1998. Proceedings of AMIA '98, P. 76-80.
38. Rekimoto, J. *Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment*. 1999. ACM UIST '99, P. 45-54.
39. Richter, H., Brotherton, J., Abowd, G. D., Truong, K. *A Multi-Scale Timeline Slider for Stream Visualization and Control*. 1999. Georgia Tech.
40. Shneiderman, B. *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*. 1996. IEEE VL '96. P. 336-343.
41. Shanbhag, P., Rheingans P., DesJardins M., *Temporal Visualization of Planning Polygons for Efficient Partitioning of Geo-Spatial Data*. 2005. IEEE InfoVis '05, P. 28-35.
42. Sureau, F., Bouali, F., Venturini, G. *Extension de DataTube pour la fouille visuelle de données temporelles*. 2008. IHM '08, P. 33-40.
43. Tominski, C., Abello, J., Schumann, H., *Interactive Poster : 3D Axes-Based Visualizations for Time Series Data*. 2005. Poster IEEE InfoVis '05, P. 49-50.
44. Tominski, C., Schulze-Wollgast, P., Schumann H., *3D Information Visualization for Time Dependent Data on Maps*. 2005. IEEE InfoVis'05, P. 175-181.
45. Tufte, E.R. *The Visual Display of Quantitative Information*. 1983. Graphics Press, Connecticut USA.
46. Wang, T. W., Plaiant, C., Quin, A. J., Murphy S. *Aligning Temporal Data By Sentinel Events : Discovering Patterns in Electronic Health Records*. 2008. ACM CHI '08, P. 457-466.
47. Weber, M., Alexa, M., Muller, W., *Visualizing Time-Series on Spirals*. 2001. IEEE InfoVis'01, P. 7
48. van Wijk, J. J., van Selow E. R. *Cluster and Calendar based Visualization of Time Series Data*. 1999. IEEE InfoVis '99, P. 4-10.
49. Wong P. C., Bergeron R. D. *30 Years of Multidimensional Multivariate Visualization*. 1994. IEEE computer Society, P. 3-33.