

# PROPOSITION D'UN ALGORITHME DE PLACEMENTS TEMPORELS DES SOMMETS D'UN GRAPHE EVOLUTIF

Eloïse LOUBIER, [loubier@irit.fr](mailto:loubier@irit.fr)

I.R.I.T. (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse),  
118, route de Narbonne, 31062 TOULOUSE Cedex 9

## Mots clefs :

Modélisation des connaissances, algorithme de placements dirigés par des forces, exploration de graphe, interactivité, outil de veille stratégique, visualisation de données relationnelles temporelles, structure.

## Keywords:

Knowledge modeling, force directed placement algorithm, graph exploration, interactivity, strategic watch tool, relational and temporal data visualization, structure.

## Palabras clave :

Formalización del conocimiento, algoritmo de colocación dirigida, exploración gráfica, herramienta interactiva para la inteligencia empresarial, visualización de datos relacional estructura temporal

## Résumé

Dans un contexte de veille stratégique, le recours à la visualisation de données relationnelles sous forme de graphe, aide l'utilisateur du système à comprendre et à naviguer au travers d'espaces informationnels complexes. L'utilisation d'algorithmes de placements dirigés des sommets par des forces permet d'obtenir des graphes planaires, davantage clairs et exploitables. Ces algorithmes favorisant la proximité des sommets fortement liés ne prennent pas en compte la dimension temporelle dans un contexte d'analyse de données évolutives. Dans cet article, nous proposons un algorithme paramétrable permettant le placement des sommets selon leurs liaisons, mais aussi en prenant en compte leurs caractéristiques temporelles. Pour cela, pour chaque période considérée, un repère temporel sous forme de sommet est disposé sur le contour de la fenêtre de visualisation. Chaque sommet est alors lié par une arête invisible, de fort poids, aux repères des périodes pour lesquelles il est valué. Le recours à une règle graduée pour paramétrer ces forces, permet d'augmenter/ diminuer l'attraction des sommets vers les repères, rendant l'outil interactif.

## Abstract

In a strategic watch context, recourse to relational data graphs helps the user to understand and sail through complex informational spaces. Force directed placement algorithms applied on tops makes it possible to obtain cleaner and exploitable planar graphs. These algorithms support the proximity of the strongly dependent tops but they do not take into account temporal dimension in a context of evolutionary data analysis. In this article, we propose a skeletal algorithm allowing tops placement according to their connections, but also by taking into account their temporal characteristics. A temporal reference mark in the top form is laid out on contour of the display window for each period considered. Each top is then bound by an invisible strong weight edge to the reference marks of the periods where it is present. Recourse to a scale to parameterize these forces, makes it possible to increase or to decrease the attraction of the tops towards the reference marks.

# 1 Introduction

Pour la plupart des utilisateurs, l'analyse d'informations constitue un processus long et fastidieux, qui exige de nombreux efforts de la part des décideurs chargés de traiter de gros volumes de données, ainsi que les rapports ad hoc. Les analystes doivent être en mesure d'étudier des tendances, de tester différentes approches et surtout d'isoler les informations précieuses apportant un avantage compétitif. Pour cela, la visualisation de données relationnelles permet la transformation, le codage et la représentation graphique claire et efficace de grands volumes de données, initialement difficile d'accès.

Le but de la visualisation d'information est d'exploiter les caractéristiques du système visuel humain pour faciliter la manipulation et l'interprétation de données informatiques variées. Ce procédé de représentation de données relationnelles sous forme de graphe regroupe l'ensemble des techniques permettant de concevoir ce dernier dans le plan, de façon à en faciliter la lecture. La représentation d'un graphe de manière optimale consiste à disposer ses sommets et ses arêtes selon des règles d'esthétique telles qu'homogénéiser les longueurs des arêtes, limiter les entrecouplements d'arêtes, distribuer les sommets de façon rationnelle sur la surface de représentation.

Cependant les données traitées étant souvent hétérogènes, les graphes possèdent rarement de bonnes propriétés, en particulier en ce qui concerne la planarité. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'algorithmes ouverts à une classe de graphe générale, sans propriétés particulières, tels que les algorithmes « force-directed-placement » (FDP), basés sur une analogie physique (ressorts, particules, forces, ...) et en simulant la dynamique du modèle permettant d'approcher une configuration « stable » du système physique.

Dans cet article, l'intérêt est porté sur l'étude des algorithmes de forces, de type FDP, permettant de faciliter l'analyse de la structure d'un graphe en respectant davantage les règles d'esthétique précédemment citées et en faisant ressortir les alliances entre les différents acteurs. Cependant, lorsque la notion de temps intervient, l'évolution des liens entre les données est difficile à percevoir, surtout lorsque toutes les périodes sont représentées sur un même graphe. Les travaux proposés dans la littérature ne ciblent généralement pas la prise en compte de la dimension temporelle dans ces algorithmes.

Dans un contexte de graphe évolutif, ces algorithmes FDP doivent prendre en compte les variations au cours du temps entre les différents acteurs. Nous proposons dans cet article un algorithme, permettant de placer les sommets du graphe selon leurs liaisons mais aussi selon leurs caractéristiques temporelles. La place de l'utilisateur dans une représentation de données est extrêmement importante, c'est pourquoi l'algorithme que nous proposons est paramétrable.

Dans un premier temps, le principe des algorithmes FDP est défini et un état de l'art est présenté. Puis, la prise en compte de la dimension temporelle dans l'algorithme de placement des sommets est exposée. Cette contribution est appliquée au sein de l'outil de visualisation de données relationnelles évolutives, nommé VisuGraph et développé dans notre laboratoire et un exemple applicatif illustre l'application de cet algorithme.

## 2 Etat de l'art

La notion de *représentation de graphe* regroupe l'ensemble des techniques permettant d'élaborer une visualisation des données dans le plan de façon à en faciliter la lecture. Représenter un graphe de manière optimale consiste à disposer ses sommets et ses arêtes selon les règles d'esthétique, à homogénéiser les longueurs des arêtes, à limiter les entrecouplements des liens, à distribuer les nœuds de façon rationnelle sur la surface de représentation.

Le but de la visualisation d'information est d'exploiter les caractéristiques du système visuel humain pour faciliter la manipulation et l'interprétation de données informatiques variées. Les travaux en perception visuelle ont montré que l'être humain a une perception d'abord globale d'une scène, avant de porter son attention aux détails [21]. Cette caractéristique est à la base de nombreuses illusions visuelles. Les travaux de [22] et [3] ont montré comment exploiter, de façon intuitive ou ad hoc, ces caractéristiques de perception globale. La visualisation d'information cherche à exploiter ces mêmes caractéristiques de façon plus systématique.

La représentation de graphe étant destinée à explorer des données, les tâches rencontrées en visualisation d'information sont liées à la Recherche d'Information au sens large :

- exploration rapide d'ensembles d'informations inconnues ;
- mise en évidence de relations et de structures dans les informations ;
- mise en évidence de chemins d'accès à des informations pertinentes ;
- classification interactive des informations.

La qualité de la représentation est primordiale pour l'appropriation de la visualisation par l'utilisateur. Il faut cependant noter que l'efficacité d'une technique de visualisation est difficile voire impossible à évaluer de façon absolue.

On retient quatre concepts de base [18]:

- La convention de tracé qui spécifie les règles géométriques de lecture du tracé, comme le tracé des arêtes sous forme de droite ou encore de courbe ;
- les contraintes de support et de l'œil humain qui imposent des écarts minimums entre les sommets pour éviter leur superposition ou encore le chevauchement des libellés ;
- les critères esthétiques qui facilitent la lisibilité;

Les algorithmes de Placement Dirigés par des Forces, aussi appelés « à ressort » ou encore « *modèles physiques* » permettent d'améliorer la qualité de la représentation de graphe. Les travaux portant sur ce domaine FDP reposent sur une méthode de visualisation des graphes qui présente ces derniers comme des systèmes physiques [7], puis [23] où les sommets sont considérés comme des anneaux et les arêtes comme des ressorts reliant les anneaux 2 à 2.

Le graphe est initialement positionné de manière aléatoire dans l'espace de tracé. Le système évolue librement de manière à aboutir à un équilibre, où la somme des forces exercées par les élastiques est minimale. Plus deux sommets sont fortement liés, plus ils s'attirent et inversement.

De même, plus le lien entre les deux sommets est faible, voire inexistant, plus ils se repoussent. Ces algorithmes itératifs permettent le déplacement des sommets de manière à ce que leur proximité soit significative de forte liaison, dans le cas où deux sommets sont joints par une arête. Ainsi, le nombre d'entrecroisements d'arêtes est limité et le graphe devient alors plus clair à étudier.

*Dans la*

Figure 1, le principe des algorithmes FDP est illustré. La première figure à gauche représente un graphe non orienté dont la valeur des liens est affichée. Le second représente ce même graphe, mais pour lequel les liens ont été assimilés à des ressorts et les sommets à des anneaux. Dans la troisième figure, les ressorts sont contractés ou relâchés selon l'importance du lien. La dernière figure illustre l'apport de cet algorithme, permettant de visualiser le graphe sous sa forme la plus planaire et la plus significative.



*Figure 1. Principe de l'algorithme de ressorts.*

Tous ces algorithmes diffèrent non seulement dans leurs techniques d'optimisation, mais aussi dans leurs modèles implicites de l'espace de représentation. Certains ont été proposés pour réaliser de grandes visualisations graphiques [13].

<i>Référence</i>	<i>Principe</i>
[15]	Il s'agit d'une évolution de l'algorithme d'Eades, intégrant les interactions entre sommets non voisins, par le biais des courts chemins reliant ces sommets. Cet algorithme est basé sur la résolution d'équations différentielles. Kamada et Kawai considèrent le dessin d'un graphe comme un processus de réduction de l'énergie totale d'un système de ressorts reliant des anneaux. En minimisant la somme de la compression et de la tension sur tous les ressorts, les anneaux devront être plus proches de leurs distances idéales les uns des autres.
[11]	Il s'agit d'optimiser un graphe en prenant en compte un critère d'esthétisme paramétrable en fonction des objectifs à

	atteindre.
[10]	Il s'agit d'un algorithme de répulsion électrostatique entre tous les sommets. Une attraction est appliquée entre les sommets liés. Cet algorithme est basé sur la notion de température de représentation, qui diminue lors du déplacement des sommets. Le déplacement maximal possible d'un sommet est restreint par une valeur maximale. Cette dernière est réduite après chaque itération, rendant le déplacement possible de plus en plus petit. Ainsi le système se stabilise.
[5]	Il s'agit d'un algorithme de recuit simulé, l'objectif étant ici de minimiser le niveau d'énergie globale d'un système.
[9]	Chaque sommet du graphe cherche sa position d'énergie minimale en rapport avec ses voisins. Cette méthode présente l'avantage de favoriser certaines caractéristiques esthétiques d'un graphe [8], et surtout de préserver la carte mentale de l'utilisateur [7].
[24]	Les sommets sont regroupés formant des clusters. Ces derniers sont utilisés pour former un nouveau graphe. Ce procédé est répété jusqu'à ce que la taille du graphe tombe au-dessous d'un certain seuil. L'algorithme de placement des sommets est alors appliqué sur ce graphe grossier. Une fois les positions définies, un retour au graphe initial est établi.
[16]	L'algorithme se base sur une fonction simplifiée calculant l'énergie du système, permettant ainsi un traitement mathématique plus robuste.
[13]	La méthode comporte deux phases: tout d'abord intégrer le graphique dans une très haute dimension et le projeter dans un plan 2D.

*Tableau 1. Principaux travaux sur les algorithmes de placements dirigés par des forces.*

Plusieurs logiciels ont recours à ces algorithmes. Parmi les plus utilisés, on distingue Pajek [2], GraphVis [1], NetDraw [4], et d'autres [17], [14].

### 3 Algorithme de placement temporel, basé sur les force\_directed\_placement (FDP)

#### 3.1 La prise en compte de la dimension temporelle dans la représentation graphique

VisuGraph est un outil de visualisation de données, développé en java [19]. Deux acteurs, représentés graphiquement sous forme de sommets sont considérés co-occurents s'ils sont présents dans une même alliance (il peut y avoir plus de deux acteurs par alliance). L'ensemble de ces cooccurrences est dénombré dans une matrice carrée croisant, deux à deux, les acteurs concernés.

Les données sont représentées dans un graphe  $G$  caractérisé par deux ensembles : un ensemble  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  dont les éléments sont appelés sommets, et un ensemble  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ , issu de l'ensemble  $\rho_2(V)$  des parties à deux éléments de  $V$ , dont les éléments sont appelés arêtes.

On notera  $G = (V, E)$ .  $G$  est un graphe non orienté (il n'y a pas de distinction entre  $(u, v)$  et  $(v, u)$  pour  $u$  et  $v$  dans  $V$ ) et simple (il n'y a pas de boucle  $(v, v)$  dans  $E$  et il existe au plus un lien entre deux sommets).

La prise en compte de la dimension temporelle s'effectue par la considération de plusieurs périodes distinguées matérialisées sous formes de matrices de cooccurrences [20]. Pour chacune des périodes considérées, tout sommet aura une valeur de métrique spécifique.

Ainsi la métrique globale notée  $M_g$  d'un sommet  $s$ , constituée de la somme des métriques  $m$  pour les périodes  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , qui sera notée de la façon suivante :

$$M_{sg} = m_{sp1} + m_{sp2} + \dots + m_{spn} \quad (1)$$

Chaque sommet est représenté sous la forme d'un histogramme dont la taille de chaque barre est relative à la valeur de la métrique pour la période considérée. Ainsi, en visualisant un sommet, il est facile de distinguer, en observant l'histogramme, s'il s'agit d'une donnée évoluant au cours des périodes étudiées, persistant ou au contraire diminuant. Cet indice visuel facilite l'analyse locale spécifique à un sommet.

Cependant, il est important de mettre en place des techniques permettant de caractériser temporellement les données afin de permettre une analyse plus globale.

Pour ce faire, pour chaque période considérée, on assimile un repère temporel qui sera disposé sur le contour de la fenêtre de visualisation à équidistance des autres. Pour chaque période, si le sommet a une valeur de métrique supérieure à zéro, alors une arête invisible est créée pour joindre le sommet au repère.

Au plus le sommet a une valeur de métrique importante pour la période considérée, au plus le poids attribué à cette arête invisible est important. On applique alors l'algorithme de liaison, illustré en Figure 2, entre les sommets  $S_j$  et les repères  $rep_i$  des périodes.

```

Pour chaque période i{
  Pour chaque sommet j{
    Si  $m_{sp_i} > 0$  alors creation_arete(sommet1=s, sommet2=repi, poids=  $m_{sp_i} \times 2$ );
    j++;
  }
  i++;
}

```

Figure 2. Algorithme de liaison entre les sommets et les repères temporels.

### 3.2 Algorithme de placement temporel

Afin d'améliorer la représentation de graphe et d'obtenir une visualisation la plus planaire possible, c'est-à-dire minimisant le nombre d'entrecouplements d'arêtes, nous nous basons sur l'analogie « arc = ressort ». Le système, ainsi considéré, engendre des forces entre les sommets, ce qui provoque naturellement des déplacements de ces derniers.

La notion d'attraction entre les sommets s'effectue par leur rapprochement pour ceux fortement liés et la répulsion s'établit par éloignement des nœuds. La condition d'arrêt initialement proposée pour un tel système est un nombre maximum d'itérations selon l'évolution du graphe dans le temps. L'utilisateur laisse les forces agir jusqu'à ce qu'il obtienne satisfaction des résultats visuels.

Dans notre proposition nous prenons en compte plusieurs paramètres, à savoir :

- Le dosage, par l'utilisateur, de l'attraction et de la répulsion,
- La distance minimale entre les deux sommets,
- L'aire de représentation du graphe (fenêtre de représentation).

Dans un premier temps, nous proposons un algorithme général [19] permettant un meilleur rendu pour la représentation graphique, quelque soit le type de données (temporelles ou non).

La force d'attraction entre deux sommets  $u$  et  $v$  est donnée par :

$$f_a(u, v) = \frac{\beta \times d_{uv}^{\alpha_a}}{K} \quad [1]$$

$\beta$  est une constante.  $d_{uv}$  est la distance entre  $u$  et  $v$  dans le dessin.  $\alpha_a$  sert à augmenter/diminuer l'attraction entre deux sommets.

Le facteur  $K$  est calculé en fonction de l'aire du dessin et du nombre de sommets du graphe et permet de s'assurer du non dépassement par les sommets, des bords de la fenêtre de représentation. Pour cela,  $L$  représente la longueur de la fenêtre,  $l$  la largeur et  $N$  correspond au nombre de sommets visibles du graphe.

$$K = \sqrt{\frac{L \times l}{N}} \quad [2]$$

Si les sommets  $u$  et  $v$  ne sont pas reliés par une arête alors  $f_a(u, v) = 0$ .

La force de répulsion entre deux sommets  $u$  et  $v$  est définie par :

$$f_r(u, v) = \frac{\alpha_r \times K^2}{d_{uv}^c} \quad [3]$$

$\alpha_r$  sert à augmenter/diminuer la répulsion entre deux sommets  $u$  et  $v$  ;  $c$  est, dans ce cas là, une constante.

La notion de la température globale du système est introduite pour limiter le déplacement excessif des sommets. Cette température est totalement contrôlable par l'utilisateur, via une règle graduée en paramètre. Par changement de valeur de la température, les déplacements des sommets sont plus ou moins importants. La température initiale doit être de forte valeur, afin de permettre le déplacement rapide des sommets et surtout le décroisement des arêtes. Une fois le graphe amélioré, d'un point de vue de la lisibilité, une baisse de la température permet de stabiliser la visualisation.

Afin d'obtenir davantage d'interactivité entre le système et l'utilisateur et surtout pour permettre à ce dernier de contrôler pleinement sa représentation graphique, l'utilisateur peut accentuer l'attraction ou la répulsion entre les données. Pour cela, des sliders sont mis à disposition, dans le menu de l'outil, permettant l'augmentation ou la diminution de ces deux types de forces. Le système dispose ainsi d'un slider spécifique aux forces d'attractions, correspondant au paramètre  $\alpha_a$  et un pour les forces de répulsion, ajustant la valeur de  $\alpha_r$ .

Un troisième (appelé Force repères temporels) est ajouté pour contrôler l'attraction des sommets vers les repères temporels. Cet algorithme est donc interactif et l'utilisateur reste maître de sa représentation graphique.

L'algorithme de placement temporel se base sur l'application, dans un premier temps, de la force de répulsion entre tous les sommets. Dans un second temps, toutes les attractions sont prises en compte, pour toute paire de sommets liés. Ces deux forces, d'attraction et de répulsion, engendrent le déplacement des sommets, c'est-à-dire un changement des coordonnées. Si la valeur du slider temporelle est évaluée et si le sommet appartient à la période considérée, alors une attraction entre ce dernier et le repère est appliquée, engendrant son déplacement vers le repère.



```

Pour tout sommet u{
    Si u est visible
    Alors {
        Calcul de la distance  $d(u,v)$  ;
        pour tout sommet v{
             $f_r(u,v, d(u,v))$ ;
            S'il y a une arête entre u et v{
                 $f_a(u, v)$ ;
                Si (u ou v est un repère temporel)
                     $Slider_{force\_reperes\_temporels} \times f_a(u, v, d(u,v))$ ;
            }
        }
    }
}

Pour tout sommet u {
    Si (u n'est pas un repère)
        Déplacement du sommet ;
}
/* Vérification de la non superposition des sommets par comparaison des coordonnées */
Pour tout sommet u{
    Pour tout sommet v{
        Si  $(x_u, y_u) == (x_v, y_v)$ 
            alors changer les coordonnées de v.
    }
}

```

Figure 3. Algorithme de placements dirigés par des forces en prenant compte de la dimension temporelle.

Dans cet algorithme de FDP, les paramètres ont été étudiés pour obtenir des résultats pertinents.

Ainsi, pour le calcul de la force d'attraction :

$\beta$  est une constante, initialisée à 2 ;

$d_{uv}^{\alpha_a}$  est la distance entre  $u$  et  $v$ , où  $\alpha_a$  correspond à la valeur du slider permettant d'interagir sur l'attraction.

Pour le calcul de la force de répulsion :

$\alpha_r$  correspond à la valeur du slider, permettant d'interagir sur la répulsion ;

$c$  est une constante, initialisée à 1,5.

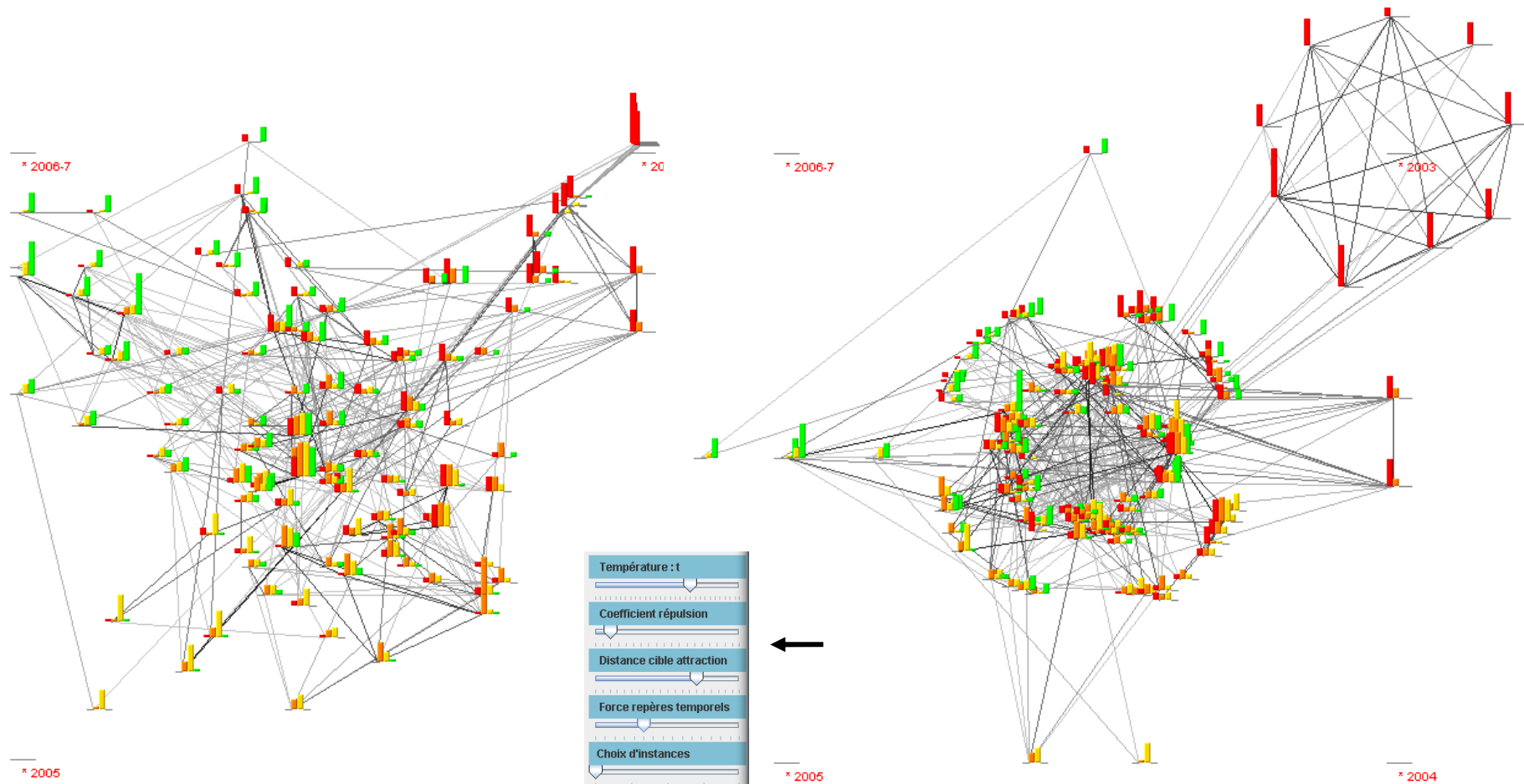


Figure 4. Sur un graphe évolutif (à gauche), application de l'algorithme présenté, paramétré à l'aide du slider « Force repères temporels » (graphe de droite).

Dans l'exemple illustré par la Figure 4, nous étudions des auteurs spécifiques au domaine du data-mining sur quatre périodes : 2003, 2004, 2005, 2006-7. Nous ne nous attardons pas sur l'origine, le recueil et les traitements des données utilisées, cet exemple ayant pour objectif de montrer une application de l'algorithme et non pas les résultats d'une analyse spécifique.

Pour chacune des périodes, un repère est attribué, figurant en rouge sur la Figure 4 et chaque sommet ayant une métrique évaluée pour une période est alors lié au repère correspondant par un arc invisible. Sur le premier graphe de la Figure 4, aucune force d'attraction et de répulsion n'a été appliquée. Sur le second, elles sont appliquées et la valeur du slider permettant d'augmenter l'attraction vers les périodes est élevée. Il est constatable que chaque partie du second graphe est spécifique à une caractéristique temporelle.

Plus un sommet est proche d'un repère, plus il est fortement caractérisé par cette période. Les sommets situés à équidistance de deux repères révèlent une appartenance aux deux périodes. Ainsi, sur la figure suivante, il est facile de distinguer les sommets spécifiques à 2003 puisqu'il s'agit de l'ensemble des sommets situés autour du repère, proches des bords de la fenêtre de visualisation et caractérisés par une seule barre d'histogramme en première position. Cette dernière révèle la présence du sommet au cours de la première période par une valeur de métrique caractéristique.

De même pour les autres périodes, plus un sommet est situé proche du centre de la Figure 4, plus le nombre de périodes auxquelles il appartient est important. Ainsi, les auteurs représentés au centre de la Figure 4 sont les plus persistants. Ceux représentés proches du repère 2003 sont les plus anciens et ceux qui sont le plus proche de 2006-7 sont les auteurs les plus émergents.

Nos expérimentations nous mènent à préconiser un ordonnancement spécifique pour obtenir un meilleur résultat visuel, en ce qui concerne le paramétrage de ces trois forces.

- Etape 1) Appliquer une très forte valeur d'attraction, via le slider spécifique, jusqu'à obtenir un regroupement concentré des données, permettant de distinguer la structure globale du graphe. Mettre la température au maximum via le slider, afin de permettre le déplacement rapide et efficace des sommets.
- Etape 2) Réduire cette force d'attraction et augmenter la répulsion, via les deux sliders, afin d'obtenir un graphe lisible. Réduire la température pour éviter un mouvement trop brutal des sommets.
- Etape 3) Ajuster sensiblement les trois sliders, en baissant la température, jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant. Des variations des effets visuels peuvent être appliquées, telles que l'augmentation de l'intensité des liens.

Ces principes sont illustrés dans la figure 5 décomposant les différentes étapes du dessin de graphe.

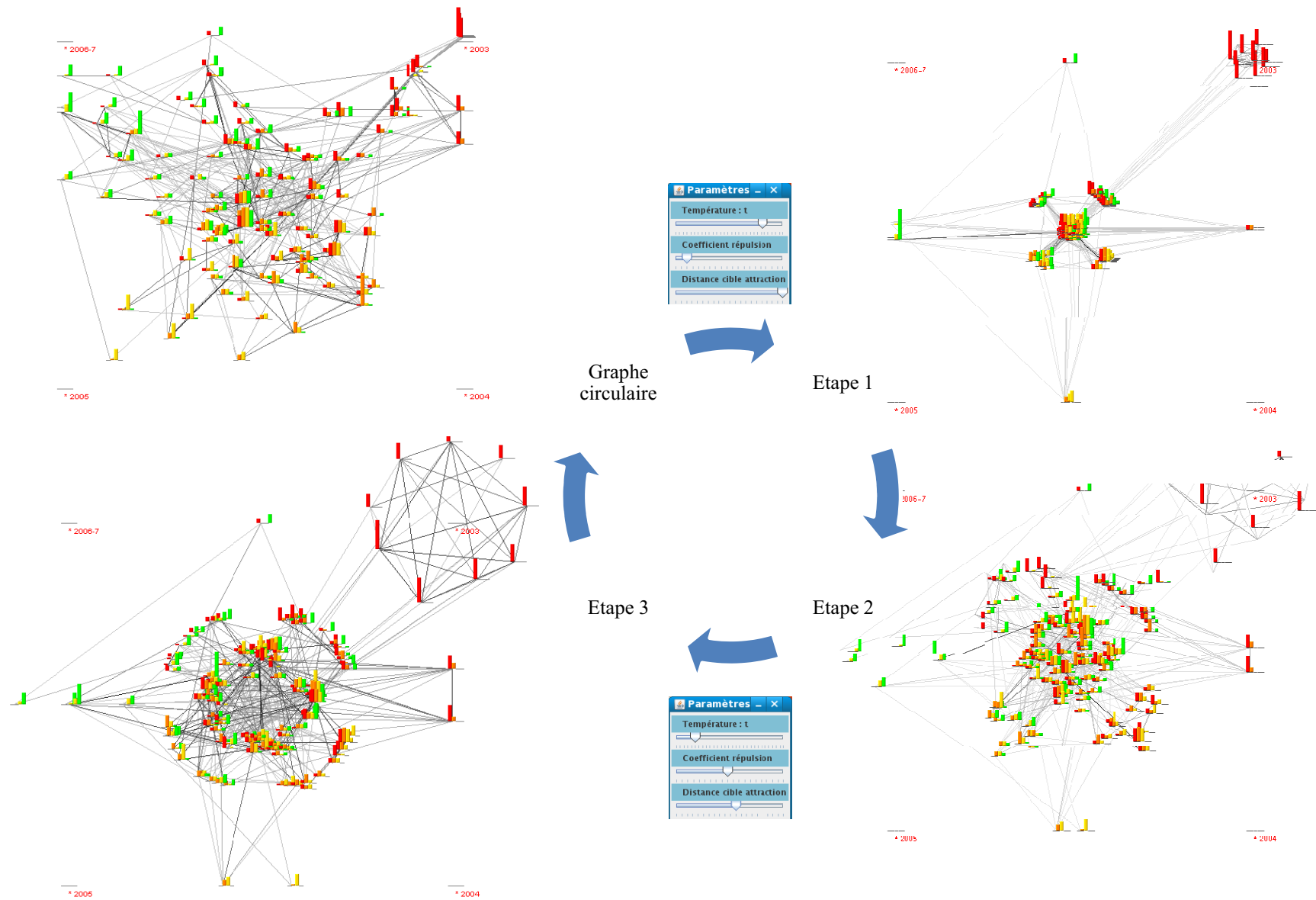


Figure 5. Préconisations sur les différentes étapes de réglage des FDP.

### 3.3 Analyse de structure temporelle

L'analyse de structure temporelle repose sur plusieurs points :

- Le signalement explicite.

Certaines informations se suffisent à elles mêmes, Après leur validation et leur mise en forme, elles sont communiquées au bon moment et à la bonne personne. Elles sont présentées à titre signalétique.

- Le recouplement.

L'information est étudiée par rapprochement avec d'autres données de même nature.

- Phénomènes de rupture.

La disparition brutale d'un sous domaine, d'une équipe, d'un acteur majeur peut être une information stratégique. Lorsqu'il s'agit d'effectuer une réorientation thématique, un changement d'alliance ou tout simplement l'arrêt d'une collaboration, il est nécessaire de faire intervenir deux variables et le temps.

La visualisation de données temporelle doit être en mesure d'apporter la bonne information, au bon moment, à la bonne personne et sous la meilleure forme possible pour qu'elle soit associée au processus de décision. Un des aspects visés par VisuGraph est la surveillance dynamique d'un système, à savoir l'évolution de ses performances, la détection des signaux faibles, les changements de collaborations, alliances, d'associations.

La façon la plus immédiate de représenter le temps dans les graphes de données est d'utiliser ce qui est appelé une représentation spatiale du temps. L'information temporelle que contiennent les données est alors transformée en une information spatiale, c'est-à-dire une position caractérisant temporellement l'information. La prise en compte du temps est réalisée en permettant l'accès à l'état précédent du graphe, à la période antérieure, ainsi qu'à la période successive.

Notre contribution vise à pouvoir permettre à l'utilisateur d'effectuer une étude en trois temps, avec une analyse directe, abordable par simple visualisation du graphe globale, puis un second niveau, par compréhension de l'évolution des données. Cette étape demande un effort cognitif plus important, puis qu'elle atteint l'analyse stratégique de la structure. Enfin la dernière partie de l'analyse concerne l'extrapolation des résultats, à savoir l'aspect « anticipatif » des données, spécifique au contexte de veille stratégique.

Dans un graphe évolutif, proposé par VisuGraph, chaque portion de la fenêtre du graphe traduit une caractéristique temporelle. Nous pouvons effectuer une généralisation, quelque soit le nombre de périodes étudiées, de ces caractéristiques selon leur positionnement. La trame que nous proposons peut alors être appliquée à tout graphe temporel pour en faciliter son analyse. Pour décomposer les différentes catégories temporelles, nous procédons par élaboration de cibles applicables au graphe temporel. Chacune des cibles peut être décomposée en autant de sous parties que d'instances étudiées.

Dans un cadre de prédiction, toutes les données rattachées à la dernière période peuvent laisser penser qu'elles apparaîtront dans les instances suivantes.

- Les données situées dans la cible la plus grande sont divisées en deux sous catégories :
  - Les données spécifiques à une seule période. Elles sont placées extrêmement proches des repères temporels. Dans le cas des données spécifiques à la dernière période, il est prévisible que ces dernières puissent apparaître de nouveaux dans les instances suivantes.
  - Les données spécifiques à deux périodes. Elles se situent à équidistance de deux repères temporels. De même, si l'une des deux périodes auxquelles la donnée est rattachée, est la dernière instance, on peut prédire qu'elle aura des chances de persister à l'avenir.
- Les données situées dans la cible intermédiaire. Quelque soit le nombre de périodes étudiées, les données situées dans cette couronne sont généralement présentes durant les trois périodes, symbolisées par les trois repères temporels encadrant le sommet. Ces données peuvent être qualifiées comme des *pivots temporels*. Ils sont apparus durant la première période, ont confirmé leur position en seconde instance, puis ont disparu finalement, s'ils ne sont pas liés à la dernière instance. S'ils le sont, les données peuvent être évolutives et pourront être présentes dans les instances à venir. C'est à ce niveau là, que VisuGraph aide à la prédiction.
- Les données situées dans le cœur de la figure, à savoir la cible la plus petite. Les données temporelles sont spécifiques à une majorité de périodes étudiées. Leur positionnement symbolise leur proximité similaire aux différents repères. Ces sommets peuvent être qualifiés comme persistants, du fait qu'ils sont présents pour toutes les périodes. Ils peuvent laisser à penser qu'ils seront toujours présents dans les instances suivantes.

## 4 Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une variante des algorithmes de force de placements dirigés par des forces. L'originalité de notre proposition repose sur la prise en compte la dimension temporelle, permettant ainsi de situer les sommets d'un graphe selon leurs caractéristiques temporelles. Les résultats obtenus dégagent une facilité de lecture des caractéristiques temporelles, simplifiant le travail du décideur sur des données évolutives. Suite à l'application de ces forces, une typologie significative apparaît et les sommets les plus proches d'un seul repère sont caractérisés par la présence unique pour cette période (cas des auteurs apparaissant ponctuellement). Ceux situés entre plusieurs repères sont spécifiques aux périodes vers lesquelles ils sont le plus proche. Ainsi, les auteurs centraux sont les pionniers du domaine étudié, c'est-à-dire présents pour l'ensemble des périodes.

L'application de cet algorithme permet d'observer des regroupements de données selon des caractéristiques temporelles communes, permettant ainsi une certaine classification temporelle.

Ainsi, cette proposition améliore la représentation par :

- la réduction des ressources cognitives mobilisées par l'utilisateur pour traiter et analyser les informations temporelles (interaction élevée avec l'utilisateur, perception menée en parallèle, facilité d'accès à une grande quantité d'information...);
- la simplification de la recherche d'information (beaucoup de données dans un petit espace, regroupement de données par exemple par critères);
- l'augmentation des possibilités de détection de structures évolutives (changements entre les relations entre données, regroupements significatifs, positions stratégiques, centralité, ...);
- l'inférence à l'aide de la perception visuelle (certains problèmes paraissent plus simple ou même évidents à l'aide d'une représentation visuelle, ...);
- la surveillance des événements (changements de structures, apparition ou mouvement dans les motifs, regroupements, ...);

Cet algorithme reste limité d'un point de vue de la planarité, puisque la caractéristique temporelle est fortement favorisée au détriment des liens entre les sommets. Il reste impossible d'obtenir un graphe parfait dont les croisements d'arête seraient minimales, tout en ayant une position caractérisant exactement les appartenances aux différentes périodes.

L'utilisateur détient alors la possibilité de favoriser :

- soit le placement selon les alliances, cas des algorithmes FDP classiques, en mettant à nulle la valeur du slider temporel,
- soit il décide de favoriser le placement temporel en augmentant la valeur du slider. Il peut, dans ce cas, choisir un juste milieu, par dosage, entre positionnement par alliance et par caractéristique temporelle.

Ainsi, la visualisation permet à l'utilisateur de faire des découvertes, proposer des explications ou prendre des décisions. Ces actions peuvent se faire aussi bien sur des motifs (clusters, tendances, émergences, anomalies) ou sur des ensembles d'éléments ou encore sur des éléments isolés.

## 5 Bibliographie

- [1] **AT&T LABS-RESEARCH.**, *Graphviz: Open Source Graph Drawing Software*, <http://www.research.att.com/sw/tools/graphviz/>, 2003.
- [2] **BATAGELJ V., MRVAR A.**, *PAJEK: Program for Broad Network Analysis*. *Connections*, pages 47-57, 1998.
- [3] **BERTIN J.** *La Graphique et le Traitement Graphique de l'information*. Flammarion, 1977.
- [4] **BORGATTI S.P.**, *NetDraw Network Visualization Software*, 2002.

- [5] **DAVIDSON R., HAREL D.**, *Drawing Graphs Nicely Using Simulated Annealing*. ACM Transactions On Graphics, 15, pages 301–331, 1996.
- [6] **EADES P.**, *A Heuristic for Graph Drawing*, Congressus Numerantium, vol. 42, pages 149-160, 1984.
- [7] **EADES P., LAY W., MISUE K., SUGIYAMA K.**, *Mental Preserving the map of a diagram*. Proceedings of Compugraphics 91, pages 24-33, 1991.
- [8] **EADES P., LIN X.**, *Spring algorithms and symmetry*, Theoretical Computer Science. v.240 n.2, pages 379-405, 2000.
- [9] **FRICK A., SANDER G., WANG K.**, *Simulating Graphs ace physical systems*. Dr. Dobb' S Jornal, pages 58-64, 1999.
- [10] **FRUCHTERMAN TMJ., REINGOLD EM.**, *Graph drawing by force\_directed placement*. Software – Practice and experience, 21, pages 1129-1164, 1991.
- [11] **GROVES L., MICHALEWICZ Z., ELIA P., JANIKOW C.**, *Genetic algorithms for drawing directed graphs*. Proceedings of the International Fifth Symposium one Methodologies off Intelligent Systems, Knoxville, 25-27 October, pages 268-276, 1990.
- [12] **HACHUL S., JÜNGER MR.**, *Experimental an Comparison off Fast Algorithms for General Drawing Broad Graphs*. Proceedings of the 13th Symposium on Graph Drawing (GD' 05), pages 235-250, 2005.
- [13] **HAREL D., KOREN Y.**, *A Fast Multi-Scale Algorithm for Drawing Broad Graphs*. Graph Algorithms and Applications, vol. 6, No 3, pages 179-202, 2002.
- [14] **HIMSOLT MR.**, *Comparing and Evaluating Layout Algorithms within GraphEd*. Newspaper of Visual Languages and Computing, 1995.
- [15] **KAMADA T., KAWAI S.**, *An algorithm for General Drawing Undirected Graphs*. Information Processing Letters, 31, pages 7-15, 1989.
- [16] **KOREN Y., CARMEL L., HAREL D.**, *Drawing Huge Graphs by Algebraic Multigrid Optimization*. Multiscale Modeling and Simulation, vol. 1, No 4, pages 645-673, 2003.
- [17] **KRACKHARDT D., BLYTHE J., MCGRATH C.**, *KrackPlot 3.0: Year Improved Network Drawing Program*. Connections 17, pages 53-55, 1994.
- [18] **KUNTZ P.**, *Découverte de règles d'association et de structures dans des réseaux de relations par des approches non supervisées automatiques et interactives*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes, 2003.
- [19] **LOUBIER E., DOUSSET B.**, *Temporal and relational data representation by graph morphing*. Safety and Reliability for managing Risk (ESREL 2008), Hammamet, 14/02/2008-16/02/2008, février 2008.
- [20] **LOUBIER E., BAHOUN W., DOUSSET B.**, *La prise en compte de la dimension temporelle dans la visualisation de données par morphing de graphe*. Colloque Veille Stratégique Scientifique et Technologique (VSST 2007), Marrakech, 21/10/2007-25/10/2007, IRIT, (support électronique), octobre 2007.
- [21] **MYERS D.G.**, *Psychology* (6th edition). Worth Publishing, 2000.
- [22] **TUFTE E.**, *The visual display of quantitative information*. Graphic Press. Cheshire, page 198, Connecticut, 1983.
- [23] **TUTTE W.J.**, *How to Draw a graph*. Proceedings. London Maths, Plowshare, Series 3,13, pages 743-768, 1963.
- [24] **WALSHAW C.**, *A Multilevel Algorithm for Force-Directed Graph-Drawing*. J. Graph Algorithms Appl. 7, pages 253-285, 2003.