

# 3D : de nouvelles perspectives en fouille exploratoire avec la stéréoscopie

Nicolas Greffard\*, Fabien Picarougne\*  
Pascale Kuntz\*,

\*LINA-COD, Polytech'Nantes Rue Christian Pauc, BP50609 - 44306 Nantes cedex 3  
prenom.nom@univ-nantes.fr  
<https://sites.google.com/site/sitelinacod/>

**Résumé.** Si la 3D est un sujet de débat dans la communauté, les expériences sur lesquelles s'appuient les discussions concernent le plus souvent des restitutions visuelles basées sur une projection classique en perspective linéaire. L'objectif de cette communication est de renouveler le cadre expérimental en étudiant l'impact de l'ajout de la disparité binoculaire. Nous nous focalisons ici sur une tâche importante en analyse de réseaux : l'identification de communautés. Et nous comparons la 3D monoscopique et la 3D stéréoscopique à la fois pour la performance de résolution de la tâche et pour le comportement exploratoire à travers l'analyse du mouvement du pointeur de la souris et de la dynamique des modifications de points de vue sur les graphes. Nos résultats expérimentaux mettent en évidence des performances significativement meilleures pour la 3D stéréoscopique et des différences comportementales dans l'exploration avec un centrage plus important sur des zones restreintes en stéréoscopie.

## 1 Introduction

L'accessibilité de nouvelles cartes graphiques performantes et de langages de programmation adaptés a conduit au début de la décennie précédente à l'essor de nouvelles propositions de restitutions visuelles de données en 3D. En visualisation de graphes notamment, les travaux pionniers de Kolmogorov et Barzdin (1967) menés à la fin des années 60 sur le tracé sur des grilles orthogonales tri-dimensionnelles, ont connu un vif regain d'intérêt (eg. : Eades et al. (1995)). Des travaux théoriques ont reconsidéré la caractérisation des critères esthétiques dans le cas 3D, et de nombreux prototypes ont été développés (e.g. GEM-3D : BruSS et Frick (1996) , 3D CUBE : Patrignani et Vargiu (1997)). Cependant, après une phase d'intérêt, cette voie de recherche a été violemment critiquée (e.g. conférence invitée de Eades à GD'10<sup>1</sup>), et au-delà même du cas des graphes, le recours à la 3D est resté un sujet de débat (e.g. Cockburn et McKenzie (2001)) souvent polémique. Il semble que les expérimentations, qui ne sont finalement pas si nombreuses à avoir été menées dans des conditions expérimentales rigoureuses, montrent que, bien qu'elle séduise plus les utilisateurs que la 2D, la 3D conduise à des performances plus faibles ou non significativement meilleurs pour des tâches variées (Wickens

---

1. <http://www.graphdrawing.org/gd2010/invited.html>

### 3D stéréo: de nouvelles perspectives en fouille exploratoire

et al. (1994), Tavanti et Lind (2001), Cockburn (2004)). Cependant, tous les travaux cités ci-dessus reposent sur des représentations tri-dimensionnelles basées sur la perspective classique de Brunelleschi (appelée parfois 2.5D et 3D monoscopique dans la suite pour éviter toute ambiguïté). Les représentations récentes plus immersives qui intègrent des disparités binoculaires offrent une nouvelle expérience de la 3D qui, à notre avis, devrait renouveler significativement le débat.

En effet, à la suite des travaux initiaux de Ware et Franck (1996), des recherches récentes ont testées l'apport de la stéréoscopie pour l'exploration visuelle de graphes (Ware et Mitchell (2008), Alper et al. (2011), Chen et al. (2012); Greffard et al. (2011)) et certains résultats semblent prometteurs. Plus précisément, les travaux cités -hormis la dernière référence- ont expérimenté l'apport de la 3D stéréoscopique pour des tâches de bas niveaux (e.g. recherche de plus courts chemins de taille restreinte, identification de nœuds surlignés et de relations simples), et les résultats suggèrent que, pour ces tâches, la 3D stéréoscopique conduit à de meilleures performances que la 2D sur des graphes de plus grande taille et à de meilleures performances que la 3D monoscopique lorsque la stéréoscopie est ajoutée à un affichage 2D (les nœuds sélectionnés sont affichés sur un plan plus proche de l'utilisateur). Dans Greffard et al. (2011), nous avons analysé une tâche de plus haut niveau : la détection de communautés. Nos expériences pour des graphes de complexité variée ont semblé montrer un apport de la stéréoscopie pour des graphes complexes.

Dans cette communication, nous nous focalisons sur la comparaison entre la 3D stéréoscopique et la 3D monoscopique. La comparaison entre la 3D stéréoscopique et la 2D pose des questions méthodologiques qui sont actuellement ouvertes à notre connaissance -nous y revenons dans la discussion-. Nous pensons donc qu'avant de passer à une telle comparaison dont le rejet peut être aisé à cause de biais expérimentaux sur lesquels la communauté scientifique n'a pas encore statué, il est important de repositionner le débat sur la 3D en l'axant sur la stéréoscopie après avoir prouvé expérimentalement que les deux "visions de la 3D" conduisaient à des résultats significativement différents tant en performance de résolution de tâche qu'en comportement dans l'exploration des graphes. Nous reprenons ici la tâche de détection de communautés dans un tracé de type nœud-lien qui est une tâche très importante en analyse de réseaux sociaux notamment. Nous considérons uniquement une famille de graphes de complexités suffisamment difficiles pour cette tâche - avec des chevauchements- mais qui conservent une structure en communautés, et nous avons volontairement restreint les mécanismes de perception de la profondeur ("depth cues") mis en jeu pour limiter les biais. Notre protocole est construit de telle sorte que le seul mécanisme différent entre les deux conditions expérimentales testées (3D monoscopique et 3D stéréoscopique) soit la disparité binoculaire.

Nos expérimentations ont porté à la fois sur la comparaison des performances pour la tâche dans les deux conditions et sur la comparaison des comportements d'interactions via l'étude des mouvements du périphérique et des zones perçues par les utilisateurs sur les tracés. Les expériences menées sur 18 participants avec plus de 250 tracés au total confirment un gain significatif de performance en 3D stéréoscopique, et mettent en évidence, ce qui est à notre connaissance nouveau, des différences comportementales dans la "manipulation" des tracés de graphes.

## 2 Protocole Expérimental

Dans cette section, nous détaillons le protocole expérimental avec lequel nous avons effectué les comparaisons entre les deux conditions (3D monoscopique et 3D stéréoscopique).

### 2.1 Tracé et mouvement

Les mécanismes de perception mis en œuvre dans les deux conditions sont identiques (table 1) ; la seule différence étant l'introduction de la disparité binoculaire pour la projection stéréoscopique. Les tracés des graphes sont calculés par un algorithme classique de Fruchterman-Reingold (Fruchterman et Reingold (1991)) qui a été choisi pour deux raisons majeures : il produit un tracé mettant les communautés en évidence sans pre- ni post- processing et il est directement applicable aux deux conditions évitant ainsi un biais éventuel dans la comparaison. Les tracés sont affichés en temps réel. La restitution 3D monoscopique est calculée via une projection en perspective linéaire classique (utilisation d'une bibliothèque graphique commune). Pour la 3D stéréoscopique, la même projection est utilisée pour les deux yeux avec un léger décalage horizontal afin d'imiter la séparation entre les yeux humains. La synchronisation entre l'affichage et chaque œil s'effectue par le biais de lunettes à obturation cadencées à 120Hz. Les participants peuvent interagir avec les graphes selon une technique de rotation autour du barycentre du graphe ("arcball") (Shoemake (1992)) qui permet la rotation du point de vue autour du graphe avec une souris sans fil classique. Cette technique garantit que le graphe reste dans le champ de vision du participant, contrairement aux techniques d'exploration libre. De plus, certaines études suggèrent que les mouvements de rotation sur un objet transmettent un meilleur ressenti de la profondeur que les mouvements de translations (Corinilleau-Pérès et Droulez (1994)).

Mécanisme de Perception	Implémentations
Disparité binoculaire	Deux vues parallèles séparées horizontalement + lunettes stéréoscopiques actives
Mouvements	Rotation du graphe
Tailles relatives*	Projection en perspective linéaire (OpenGL)
Occlusion	Restitution 3D et tracé de Fruchterman permettant les occlusions
Ombres/lumières*	Modèle de Gouraud avec une source de lumière située au-dessus du point de vue

TAB. 1 – *Implémentation des différents mécanismes de perception. La seule différence entre les deux conditions expérimentales provient de l'addition de la disparité binoculaire pour la condition stéréoscopique. (\*) Un algorithme d'anticrénelage (16×) améliore la qualité de ces mécanismes.*

### 2.2 Appareillage

L'outil de visualisation fonctionne avec un Processeur Intel Core 2 Duo (3.00Ghz) E8400 avec 4GB de RAM et une carte graphique NVidia Quadro FX3800. Tous les tracés sont affi-

3D stéréo: de nouvelles perspectives en fouille exploratoire

chés en nuances de blancs sur un fond noir. Ils sont projetés sur un mur blanc via un projecteur 3D ACER H5360 ( $2.30 \times 1.30m$ ) avec une résolution de  $1280 \times 720$  pixels (angle de vue de  $0.05^\circ$  pour un pixel au centre de l'écran). Nous utilisons de la stéréoscopie active avec le système 3D Vision de Nvidia. Les lunettes sont portées pendant toute la durée de l'expérience afin de maintenir un niveau constant de luminosité. Les réponses sont entrées avec une tablette tactile : différents boutons-chiffres sont proposés (entre 1 et 15, et "Je ne sais pas").

### 2.3 Base de Données de Graphes

La comparaison est faite sur une classe de graphes pseudo-aléatoires comportant une structuration non triviale en communautés. Ils sont obtenus avec un modèle de génération classique  $G(k; nv; p_{int}; p_{ext})$  qui dépend de 4 paramètres (c.f. : Condon et Karp (2001)) : le nombre  $k$  de communautés *a priori*, le nombre  $nv$  de nœuds par communautés, la probabilité  $p_{int}$  (resp.  $p_{ext}$ ) d'avoir un lien entre deux nœuds d'une même communauté (resp. différentes communautés). Nous avons engendré les tracés de 135 graphes correspondant à toutes les combinaisons des paramètres suivants :  $k \in [4, \dots, 12]$ ,  $nv = 30$ ,  $p_{int} = \{0.6, 0.7, 0.8\}$  et  $p_{ext} \in [0.04, 0.05, \dots, 0.08]$ . Ces paramètres engendrent une classe de graphes avec une forte probabilité de structuration en communautés qui ne sont pas directement apparentes. Le paramètre  $nv$  est gardé constant pour s'assurer que la difficulté de la tâche ne dépende que du ratio de complexité  $p_{ext}/p_{int}$  (facteur de chevauchement) et du nombre de communautés  $k$ . Les 135 tracés sont aléatoirement répartis en 9 séquences distinctes  $s_i$ ,  $i = [1..9]$  de 15 tracés.

### 2.4 Procédure Expérimentale

Une séquence de tracés a été affectée à chaque participant, et chaque séquence a été vue par deux participants selon un ordre aléatoire des tracés. Ainsi,  $9 \times 2 = 18$  participants ont pris part à l'expérience et  $135 \times 2 = 270$  tracés ont été présentés. Afin d'éviter un biais lié à l'ordre des conditions, pour chaque séquence, le premier participant commençait par une visualisation de la séquence en 3D stéréoscopique, puis en 3D monoscopique avec une inversion pour le deuxième participant concerné par la même séquence. Pour limiter les phénomènes d'apprentissage, une condition 2D non prise en compte a été introduite entre les deux conditions.

Avant le début de l'expérience, les participants ont été questionnés sur leur degré de familiarité avec l'environnement (graphes, visualisation et 3D). Une fiche explicative était également distribuée pour expliquer le processus expérimental, puis une démonstration rapide était effectuée sur des graphes simples pour présenter les différentes conditions de visualisation, et une petite session d'entraînement sur trois graphes permettait une familiarisation avec le système. A l'issue de cette présentation, il a été demandé aux participants d'estimer le nombre de communautés contenues dans chacun des graphes le plus rapidement possible (avec la possibilité de répondre "Je ne sais pas"). A la fin de chaque condition, une indication identifiant la condition à venir ou la fin de l'expérience était inscrite à l'écran. Le temps moyen de réalisation de la tâche était de 15 minutes (28mn max).

### 2.5 Participants

Agés de 20 à 44 ans tous les participants (3 femmes et 15 hommes) utilisaient la souris avec la main droite et étaient des étudiants ou chercheurs en informatique. Quatre participants

n'avaient jamais été confrontés à du contenu stéréoscopique et deux n'étaient pas familiers avec les logiciels 3D (ex : jeux vidéos).

### 3 Qualité de la Détection de Communautés

Le but de cette expérience est de déterminer s'il existe des différences de performances entre la 3D stéréoscopique et la 3D monoscopique pour la tâche de détection de communautés.

Pour chaque tracé, l'erreur de détection est la différence  $E_k = |k_p - k_{ans}|$  entre le nombre *a priori* de communautés  $k_p$  et la réponse du participant  $k_{ans}$ . L'erreur moyenne sur l'ensemble des tracés pour la 3D monoscopique (resp. 3D stéréoscopique) est de  $E_k M = 2.5$  (resp.  $E_k S = 1.8$ ). Un test sur les rangs de Wilcoxon montre que la condition monoscopique est associée à une erreur plus importante de manière significative ( $W(269) = 2456$ ,  $z_{value} = 4.16$ ,  $p_{value} < 0.0001$ ).

Cependant, nous n'observons aucune différence significative pour les temps de réponse : le temps de réponse moyen pour la condition monoscopique (resp. stéréoscopique) est de  $T_M = 17sec$  (resp.  $T_S = 17.3sec$ ) ( $W(269) = -3098$ , avec  $z_{value} = -1.21$ , et  $p_{value} = 0.22$ ). Ces résultats suggèrent que l'addition de la disparité binoculaire à la restitution 3D apporte un bénéfice significatif à la détection de communautés ; et ce, sans compromis particulier en terme de temps de réponse.

### 4 Analyse des mouvements du périphérique

L'observation d'enregistrements vidéo des expériences nous a conduit à faire l'hypothèse selon laquelle l'introduction de la disparité stéréoscopique entraîne un changement de comportement dans l'exploration des graphes pour la tâche de détection de communautés. Pour tenter de caractériser ces différences nous avons décomposé notre analyse en deux phases : (1) l'analyse des enregistrements des mouvements du pointeur de la souris utilisée pour les rotations des tracés, puis (2) l'analyse des zones perçues sur les tracés pendant l'exploration. Pour ces études, nous nous sommes restreints aux tracés ayant nécessité un temps d'exploration supérieur à 3 secondes (207 tracés au total).

Dans cette section, nous présentons l'étude des mouvements du pointeur de la souris. Notons que, bien que ce ne soit pas perceptible par l'utilisateur durant l'expérience, les rotations appliquées aux tracés de graphes visualisés sont directement déduites de sa position : un mouvement horizontal de 10 pixels se traduit par une rotation de 1 degré du point de vue de l'utilisateur autour du tracé. Les paramètres logiciels et matériels de la souris sont restés constants pendant toute la durée de l'expérience.

#### 4.1 Indicateurs de mouvements

Pour caractériser la dynamique du pointeur de la souris nous avons adapté différents indicateurs classiques (voir l'annexe pour les formules détaillées). Trois indicateurs portent sur les mouvements du pointeur :

- La distance totale  $d$  (en pixels) parcourue par le pointeur est égale à la somme des changements de positions ;

### 3D stéréo: de nouvelles perspectives en fouille exploratoire

- Le “ratio d’alternance”  $Ra$  mesure les changements de directions selon l’axe horizontal et l’axe vertical de l’écran. Il est une combinaison des indicateurs MDC (Movement Direction Change) et ODC (Orthogonal Direction Change) introduits par ?, et est défini par le ratio entre le nombre de changements de direction du pointeur et le nombre de changements de position de ce dernier. Un changement de direction est ici évalué par une fonction de l’angle formé par la droite passant par la position du pointeur et le centre de l’écran et la droite horizontale passant par le centre de l’écran. Le ratio d’alternance permet de déterminer si le participant effectue de longs mouvements dans une même direction ( $Ra \rightarrow 0$ ) ou bien si il alterne des petits mouvements dans des directions différentes ( $Ra \rightarrow 1$ ).
- La courbure locale  $k$ , définie par ?, permet d’exprimer la tendance du mouvement entre une trajectoire linéaire et une trajectoire circulaire.

Quatre indicateurs permettent de caractériser l’influence des pauses dans la dynamique :

- Le nombre de pauses  $p$ ; une pause étant ici définie comme un intervalle de temps pendant lequel il n’y a pas ou peu de changements de position du pointeur.
- Le ratio temps pause / temps total  $Rp$ , défini par la proportion du temps passé en pause par rapport au temps total d’interaction.
- La durée moyenne d’une pause  $Dp$  (en secondes).
- La période moyenne entre deux pauses  $Pp$  (en secondes).

## 4.2 Résultats

Dans une démarche exploratoire, sans modèle préalable des comportements, nous avons cherché s’il était possible de discriminer les deux conditions expérimentales à partir des indicateurs de mouvements. Chaque tracé visualisé dans chaque condition est donc défini par l’ensemble des indicateurs  $\{d, Ra, p, Rp, Dp, Pp, k\}$  préalablement normalisés et est associé à une condition expérimentale  $Y_i = \{-1, 1\}$  (resp. 3D monoscopique et 3D stéréoscopique). On a ainsi en entrée de l’analyse 207 tracés  $\times 2$  conditions = 414 enregistrements. La catégorisation est effectuée par un algorithme de machine à vecteurs de support (SVM) classique avec en entrée une base d’apprentissage de 70% des enregistrements. Dix tests ont été effectués avec plusieurs noyaux d’apprentissage. Et les meilleurs résultats ont été obtenus avec un taux moyen de catégorisation correct de 70% ( $\sigma = 2.5$ ) avec un noyau quadratique.

Une analyse plus approfondie nous a permis d’identifier l’impact discriminant des indicateurs. Le tableau 2 donne les valeurs moyennes obtenues pour les indicateurs dans les deux conditions. Les changements de direction selon les axes horizontal et vertical de l’écran sont significativement plus fréquents en 3D stéréoscopique qu’en 3D monoscopique ( $p_{value} < 0.01$  pour un test de rangs de Wilcoxon pour l’indicateur  $Ra$ ), et les pauses sont significativement plus fréquentes et plus longues en 3D stéréoscopique qu’en 3D monoscopique ( $p_{value} < 0.01$  pour  $Rp$  et  $Pp$ ). La distance totale  $d$  parcourue par le pointeur est plus importante en 3D monoscopique qu’en 3D stéréoscopique mais la différence n’est pas significative ( $p_{value} = 0.07$ ).

Cette étude confirme qu’il existe vraisemblablement des différences de comportements dépendants de la condition de restitution visuelle. Cependant, les indicateurs de mouvements du périphérique ne permettent pas de comprendre l’impact sur la tâche. Nous avons donc cherché à caractériser les zones perçues sur les tracés au cours de l’exploration.

Condition	$d$	$Ra$	$k$	$p$	$Rp$	$Dp$	$Pp$
Stéréo	7032px	0.39	0.14	4.8	0.14	1.6sec	10.25sec
Mono	7385px	0.32	0.13	4.6	0.11	1.4sec	13.37sec

TAB. 2 – Valeurs moyennes des indicateurs caractérisant les mouvements du pointeur de la souris pour les deux conditions.

## 5 Analyse des points de vue

Pour chaque tracé sous chaque condition, nous représentons les temps passés sur les zones perçues par une carte de chaleur. Cette représentation a nécessité une triangulation préalable de l’enveloppe du tracé. Plus précisément, nous avons calculé la triangulation de la sphère englobante de rayon minimum de chaque tracé ; chaque triangulation comporte 8000 triangles de tailles égales, ce qui est un bon compromis entre le temps de calcul de la triangulation et la précision requise. Puis, pour chaque point de vue pris par un participant sur un tracé, nous en avons déduit l’ensemble des triangles “visibles” qui appartiennent au cône défini par la position du point de vue et les tangentes à la sphère passant par ce point. La valeur  $x_i$  associée à chaque triangle visible est incrémentée par le temps passé sur le point de vue. Ces valeurs de temps sont représentées sur une carte de chaleur (Fig. 1) : les zones rouges (resp. bleues) correspondent aux zones du tracé qui ont été plus souvent (resp. moins souvent) dans le champ de vision du participant.

### 5.1 Résultats

Pour comparer les comportements utilisateurs à une échelle macroscopique, nous avons mesuré l’entropie de Shannon associée à chaque carte de chaleur :  $H = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log p(x_i)$  avec  $n$  le nombre de valeurs de temps  $x_i$  distinctes et  $p(x_i)$  les fréquences observées. Les valeurs élevées de l’entropie correspondent à une distribution uniforme de ces valeurs. L’entropie moyenne sur les 207 tracés retenus est respectivement de  $H_M = 5.12$  pour la 3D monoscopique et de  $H_S = 4.67$  pour la 3D stéréoscopique. Un test de rangs de Wilcoxon montre que la 3D monoscopique est associée à des valeurs plus élevées de l’entropie de manière significative ( $W(206) = 14939$ ,  $z_{value} = 8.66$ ,  $p_{value} < 0.0001$ ).

Ces résultats confirment l’existence d’une différence comportementale dans les deux conditions pour la réalisation de la tâche. L’exploration du tracé semble concentrée sur des régions plus restreintes en 3D stéréoscopique avec une zone importante non perçue. Au contraire, en 3D monoscopique, les participants explorent l’intégralité du tracé affiché à l’exception de petites zones “d’angles morts”. La Figure 1 illustre ces différences. L’histogramme de la distribution des valeurs de temps pour la 3D monoscopique suggère une tendance vers une distribution uniforme ; ce qui correspond à la coloration quasi-homogène de la carte de chaleur (à l’exception d’une petite zone ignorée en bleu foncé). *A contrario*, on distingue sur l’histogramme associé à la 3D stéréoscopique un nombre plus grand de petites valeurs ainsi qu’un pic de valeurs élevées. Sur la carte de chaleur, ces valeurs sont associées à une large zone bleue et à

3D stéréo: de nouvelles perspectives en fouille exploratoire

une petite zone rouge sur laquelle le participant a concentré son attention. Ces comportements complètent les observations décrites dans la section 4.2. La présence de pauses plus grandes en 3D stéréoscopique coïncide avec l'existence de zones sur lesquelles un participant concentre son attention. Les changements de direction, plus fréquents en 3D stéréoscopique et associés à des mouvements produisant des points de vue proches, vont également dans ce sens.

## 5.2 Discussion

Deux explications pourraient partiellement expliquer ces différences. La première est liée à la perception de la profondeur. La 3D stéréoscopique permet aux participants de mieux distinguer les parties cachées (à l'arrière plan) du graphe permettant ainsi une identification "directe" des communautés, alors qu'en 3D monoscopique des mouvements pour les placer au premier plan sont nécessaires. La seconde explication est liée à la mémorisation spatiale en présence de symétries. L'algorithme de tracé choisi est connu pour favoriser les symétries (Eades et Lin (1999)); différentes parties du tracé peuvent être ainsi visuellement similaires. Par conséquent, lorsqu'une communauté a été identifiée, il est nécessaire de conserver en mémoire sa position tout en bougeant le tracé pour découvrir les autres communautés. Ce processus mobilise fortement la mémoire spatiale, qui d'après certains auteurs (McIntire et al. (2012), Bennett et al. (2010)), bénéficie largement de la stéréoscopie.

## 6 Conclusion

Deux conclusions principales peuvent être tirées de cette étude comparative pour une tâche de haut niveau (détection de communautés dans des graphes) en fouille visuelle. Les résultats expérimentaux montrent que les performances de résolution de la tâche sont supérieures en 3D stéréoscopique, sans cependant de différence significative en temps de réponse. De plus, l'analyse des interactions à deux niveaux d'observation (celui du périphérique et celui des restitutions visuelles) met en évidence des comportements différents. En particulier, il semble que sous la condition stéréoscopique les participants se concentrent sur des zones restreintes des tracés avec des pauses significatives alors qu'ils les explorent de manière plus uniforme sous la condition monoscopique.

Au-delà des travaux à venir requis pour conforter ces hypothèses sur d'autres tâches, nous pensons que ces résultats devraient conduire à une nouvelle réflexion sur la "3D" en fouille visuelle qui intégrerait les apports de la stéréoscopie de plus en plus accessible. Cette réflexion devrait permettre de faire progresser les débats sur la construction de protocoles expérimentaux permettant de comparer la 2D et la 3D en minimisant les biais. Pour le problème spécifique traité dans cet article, le problème reste à notre connaissance largement ouvert. Il est dû en particulier à la difficulté de transposition en 3D stéréoscopique de certaines restitutions visuelles bi-dimensionnelles efficaces pour la détection de communautés. De plus, en fouille exploratoire, il est essentiel de prendre en compte les interactions. Dans cet article, nous nous sommes restreints à un mouvement basique (rotation avec une souris classique). Les premières expériences complémentaires que nous avons menées avec d'autres effecteurs plus adaptés à l'immersion (ex : kinect, souris 3D) semblent prometteuses mais l'analyse rigoureuse de leur impact, en particulier dans une perspective de comparaison avec les environnements 2D interactifs, n'en est qu'à ses débuts.

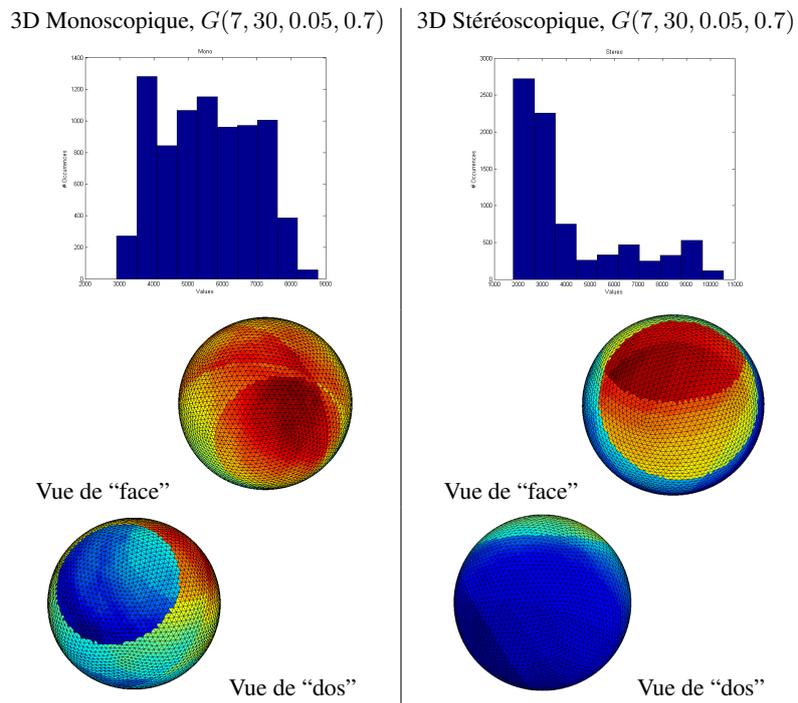


FIG. 1 – Exemple de deux vues complémentaires de carte de chaleur pour les conditions monoscopique (gauche) et stéréoscopique (droite), ainsi que les distributions associées (abscisses : valeurs de temps, ordonnée : effectif). La distribution observée en monoscopie est plus uniforme qu'en stéréoscopie. En stéréoscopie le participant concentre son attention sur une zone plus restreinte en ignorant quasiment une zone.

## Références

- Alper, B., T. Höllerer, J. Kuchera-Morin, et A. Forbes (2011). Stereoscopic highlighting : 2d graph visualization on stereo displays. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 17(12), 2325–2333.
- Bennett, A., M. Coxon, et K. Mania (2010). The effect of stereo and context on memory and awareness states in immersive virtual environments. In *Proc. of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, APGV '10, New York, NY, USA, pp. 135–140. ACM.
- BruSS, I. et A. Frick (1996). Fast interactive 3-d graph visualization. In *Proc. Graph Drawing (GD'95)*, Volume 1027 LNCS, pp. 99–110.
- Chen, J., H. Cai, A. P. Auchus, et D. H. Laidlaw (2012). Effects of stereo and screen size on the legibility of three-dimensional streamtube visualization. In *VisWeek 2012*.
- Cockburn, A. (2004). Revisiting 2d vs 3d implications on spatial memory. In *Proceedings of the fifth conference on Australasian user interface - Volume 28*, AUIC '04, Darlinghurst, Australia, Australia, pp. 25–31. Australian Computer Society, Inc.
- Cockburn, A. et B. McKenzie (2001). 3d or not 3d ? : evaluating the effect of the third dimension in a document management system. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '01, New York, NY, USA, pp. 434–441. ACM.
- Condon, A. et M. Karp (2001). Algorithms for graph partitioning on the planted partition model. *Rand. Struc. and Alg.* 18, 116–140.
- Corinilleau-Pérès, V. et J. Droulez (1994). The visual perception of three-dimensional shape from self-motion and object-motion. In *Vision Res.*, Volume 34, pp. 2331–2336.
- Eades, P. et X. Lin (1999). Spring algorithms and symmetry. *Theoretical Computer Science* 240, 379–405.
- Eades, P., C. Stirk, et S. Whitesides (1995). The techniques of komolgorov and bardzin for three dimensional orthogonal graph drawings.
- Fruchterman, T. M. J. et E. M. Reingold (1991). Graph drawing by force-directed placement. *Softw. Pract. Exper.* 21(11), 1129–1164.  
Anglais
- Greffard, N., F. Picarougne, et P. Kuntz (2011). Visual Community Detection : An Evaluation of 2D, 3D Perspective and 3D Stereoscopic Displays. In M. van Kreveld et B. Speckmann (Eds.), *Proceedings of the 19th International Symposium on Graph Drawing*, LNCS 7034, Pays-Bas, pp. pp. 215–225. Springer.
- Kolmogorov, A. et Y. Barzdin (1967). About realization of sets in 3-dimensional space, problems cybernet.
- McIntire, J. P., P. R. Havig, et E. E. Geiselman (2012). What is 3d good for ? a review of human performance on stereoscopic 3d displays. In *Proc. SPIE 8383, Head- and Helmet-Mounted Displays XVII ; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI*.
- Patrignani, M. et F. Vargiu (1997). 3dcube : A tool for three dimensional graph drawing. In G. DiBattista (Ed.), *Graph Drawing*, Volume 1353 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 284–290. Springer Berlin / Heidelberg.

- Shoemaker, K. (1992). Arcball : a user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse. In *Proceedings of the conference on Graphics interface '92*, San Francisco, CA, USA, pp. 151–156. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Tavanti, M. et M. Lind (2001). 2d vs 3d, implications on spatial memory. In *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2001 (INFOVIS'01)*, INFOVIS '01, Washington, DC, USA, pp. 139–. IEEE Computer Society.
- Ware, C. et G. Franck (1996). Evaluating stereo and motion cues for visualizing information nets in three dimensions. In *ACM Transactions on Graphics*, Volume 15, pp. 121–139.
- Ware, C. et P. Mitchell (2008). Visualizing graphs in three dimensions. In *ACM Transactions on Applied Perception*, Volume 5, pp. 2–15.
- Wickens, C., C. LIANG, T. Prevett, et O. Olmos (1994). Egocentric and exocentric displays for terminal area navigation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting*, Volume 1, pp. 16–20.

## 7 Annexe : Définition des indicateurs utilisés pour caractériser les mouvements du pointeur de la souris

Au début de la visualisation d'un tracé, le pointeur est situé à l'origine du système de coordonnées de l'espace d'affichage : au centre de l'écran en  $(0, 0)$ . Lorsque le participant bouge la souris à un instant  $t$ , notre système enregistre  $t$  en ms, le déplacement vertical  $x$  en pixels et le déplacement horizontal  $y$  en pixels. Nous considérons  $i = 0..n$  comme l'index des  $n$  enregistrements effectués pour un tracé.

La somme des mouvements est définie par :  $d = \sum_{i=0}^n \sqrt{x_i + y_i}$

Le ratio d'alternance est défini par :  $Ra = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n-1}$  avec

$$A_{i>1} = \begin{cases} 1 & \text{si } \cos(x_i, y_i) \neq \cos(x_{i-1}, y_{i-1}) \\ 1 & \text{si } \sin(x_i, y_i) \neq \sin(x_{i-1}, y_{i-1}) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La courbure locale est définie par :  $k = \frac{\sum_{i=2}^n K_i}{n}$  avec

$$K_i = \frac{|x'_i y''_i - x''_i y'_i|}{(x'^2_i y'^2_i)^{\frac{3}{2}}}$$

Pour l'étude des pauses, nous ne considérons plus l'index  $i$  des enregistrements, mais  $j = 0..t_n$ , avec  $t_n$  le temps auquel le dernier enregistrement a été effectué. Si il existe un enregistrement au temps  $j$  nous considérons  $M_j = (x_i, y_i)$  tel que  $t_i = j$  sinon nous considérons  $M_j = (0, 0)$ . Nous calculons ensuite le produit de convolution de  $M$  avec une gaussienne de taille  $m$  :

$$C_j = \sum_{g=1}^m G_g M_{j-g+1}$$

3D stéréo: de nouvelles perspectives en fouille exploratoire

avec  $G \approx \mathcal{N}(0, 1)$

L'instant  $j$  est considéré comme une pause si  $P_j = 1$  avec :

$$P_j = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_j^{j+\theta} |C_j| \leq \delta \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Nos expérimentations nous ont conduit à choisir  $m = 50$  et  $\delta = 2$  et  $\theta = 100$ . Cependant, les résultats restent robustes au voisinage de ces valeurs. Le nombre de pauses  $p$  est donc défini comme le nombre de sous-séquences distinctes de  $P$  où  $P = 1$ .

Le ratio temps pause/temps total est défini par :  $Rp = \frac{\sum_{j=0}^{t_n} P_j}{t_n}$

La durée moyenne d'une pause est définie par :  $Dp = \frac{\sum_{j=0}^{t_n} P_j}{p}$

La période moyenne entre deux pauses est définie par :  $Pp = \frac{\sum_{j=0}^{t_n} |P_j - 1|}{p - 1}$

## Summary

Most of the experimentations studying 3D are based on a classical linear perspective rendering. The purpose of this communication is to update the 3D experimental framework by studying the impact of binocular disparity. We focus on an important task in social network analysis: the identification of communities. We compare monoscopic 3D and stereoscopic 3D in terms of task efficiency and behavior through the analysis of the mouse cursor motion and the dynamic of the viewpoints adopted by the participants. Our results show that performances are significantly better under the stereoscopic 3D condition and that behavioral differences exist.