

Compression de la connectivité en dimension quelconque

Sylvain Prat¹

Patrick Gioia¹

Yves Bertrand²

Daniel Meneveau²

¹ France Telecom R&D

4 rue du Clos Courtel

35510 CESSON-SEVIGNE

sylvain.prat@rd.francetelecom.com

patrick.gioia@rd.francetelecom.com

² SIC, FRE n°2731 – SP2MI, Téléport 2

Bvd Marie et Pierre Curie – BP 30179

86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL

yves.bertrand@univ-poitiers.fr

daniel@sic.univ-poitiers.fr

Résumé

Cet article présente une méthode de compression générique et sans perte de la connectivité de modèles géométriques en dimension quelconque, avec des cellules arbitraires, orientables ou non, avec ou sans bords. Reposant sur une structure topologique appelée carte généralisée, notre algorithme effectue un parcours de proche en proche de ses éléments en décrivant leurs connections par des symboles. Ces symboles sont ensuite compressés par des techniques classiques de compression de données. Cette méthode a été appliquée avec succès à de nombreux types de modèles géométriques, ce qui prouve l'efficacité et la généralité de la technique proposée.

Mots clefs

compression, connectivité, structure topologique, cartes généralisées.

1 Introduction

Les modèles géométriques 3D issus de scanners laser deviennent de plus en plus difficiles à stocker sur disque. De plus, on observe une demande croissante pour des services de navigation dans des scènes 3D via des réseaux mais la bande passante disponible est encore bien faible par rapport à la quantité de données 3D à transmettre pour une qualité correcte. La compression de modèles géométriques est donc devenue un axe de recherche majeur.

Parmi les différentes méthodes de compression de modèles géométriques, les approches basées *connectivité* préservent les relations d'incidence entre les sommets, arêtes, faces, etc. Ceci est fondamental dans de nombreux domaines applicatifs tels que la CAO ou la géologie par exemple. Dans ces méthodes, un parcours du modèle est effectué afin de décrire les informations d'incidence entre sommets, arêtes, faces, etc. ; la géométrie est ensuite prédite à l'aide du voisinage déjà codé lors du parcours puis les résidus sont compressés.

De nombreuses méthodes de compression de la connectivité ont été proposées pour des maillages triangulaires, surfaciques, tétraédriques ou encore hexaédriques [1, 2, 3, 4, 5]. Néanmoins, il n'existe pas à notre connaissance de mé-

thode de compression pour des maillages volumiques quelconques, et la généralisation des algorithmes existants est difficile car les structures topologiques utilisées sont très spécifiques aux types de maillages traités.

Dans cet article, nous proposons un procédé de compression sans perte de la connectivité de modèles géométriques indépendamment de leur dimension ou du type de cellules qui les composent. Il s'inspire des approches basées connectivité et utilise une structure topologique générique appelée carte généralisée. Il permet ainsi de compresser des modèles quelque soit leur topologie et notamment les maillages volumiques irréguliers rencontrés en géologie (constitués de polyèdres irréguliers), les maillages surfaciques non-orientables (bouteille de Klein, ruban de Moëbius), les modèles volumiques de villes et bâtiments, etc.

La partie suivante de cet article présente un bref état de l'art des différentes méthodes de compression de la connectivité. Nous décrivons ensuite la structure G-carte. Notre nouvelle méthode de compression et son principe de fonctionnement sont ensuite détaillés. Nous donnons enfin les résultats obtenus avant de conclure.

2 Etat de l'art

2.1 Terminologie

Une *subdivision* d'espace (ou maillage) est une décomposition de l'espace en *cellules* (sommets, arêtes, faces, volumes...). Une subdivision est représentée par un *modèle topologique* qui contient deux types d'information : (i) la *connectivité* qui décrit les relations d'incidence et d'adjacence entre les cellules et (ii) la *géométrie* qui décrit la forme, l'apparence de l'objet, comme les positions des sommets, les coordonnées de texture, les couleurs, etc. Dans la suite, le terme *dimension* ne s'applique qu'à la connectivité : par exemple le maillage qui apparaît sur la figure 4(a) est bi-dimensionnel puisque c'est une surface, bien que les positions de ses sommets soient plongées dans un espace Euclidien tri-dimensionnel.

2.2 Compression de maillages

La compression de maillages 3D est un domaine de recherche très actif, ce qui a mené à de nombreux travaux

dont les plus pertinents peuvent être trouvés dans [1] pour le cas surfacique. Néanmoins, on peut distinguer deux grands types d'approches :

- les techniques basées connectivité procèdent en deux étapes : (i) la connectivité du maillage est compressée (sans perte) en effectuant un parcours de proche en proche des éléments du maillages (par exemple les triangles) ; (ii) l'information de connectivité est utilisée efficacement pour prédire et compresser (avec pertes) la géométrie (par exemple la position des sommets) à partir des éléments précédemment visités lors du parcours ;
- les techniques multi-résolutions adoptent une approche progressive : un maillage de base et ses raffinements successifs sont codés de manière compacte dans le fichier (ondelettes, approche spectrale). Avant la compression, un remaillage régulier ou semi-régulier est effectué pour assurer de meilleurs taux de compression.

Dans de nombreuses applications telles que la CAO ou la géologie, la moindre perte au niveau connectivité est inacceptable. C'est pourquoi nous nous concentrons exclusivement sur la première approche. Les principes de compression basée *connectivité* pour des maillages surfaciques, tétraédriques [2, 3, 4] ou hexaédriques [5] sont les suivants :

- un parcours de proche en proche des éléments du maillage est effectué. En fonction du type de maillage, ces éléments peuvent être des triangles, des polygones, des tétraèdres ou des hexaèdres ;
- lors de ce parcours, des symboles décrivant les connexions entre ces éléments sont enregistrés puis compressés à l'aide de techniques classiques de compression de données (sans perte). Ils permettent la reconstruction de la connectivité du maillage original au niveau du décodeur. Ces symboles sont soit des étiquettes identifiant les différentes configurations d'incidence entre l'élément courant et les éléments précédemment traités, soit les valences/degrés des sommets et faces dans le cas surfacique ou des arêtes dans le cas hexaédrique ;
- pendant ce même parcours, chaque nouveau sommet rencontré est encodé : il est quantifié (perte d'information), puis prédit en utilisant les informations du voisinage déjà traité et finalement compressé par codage entropique.

3 Définitions

Une carte généralisée (ou G-carte) [6] est un modèle topologique permettant de représenter des variétés (manifold) orientables ou non, avec ou sans bords, en dimension quelconque. Elle est constituée d'un seul type d'élément de base appelé brin et de relations d'incidence –connectivité– entre ces éléments. Dans cette représentation, les cellules (sommets, arêtes, faces...) sont représentées par des ensembles de brins appelés *orbites*.

Une carte généralisée de dimension N (ou N -G-carte) est définie par un $(N + 2)$ -uplet $G = (B, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_N)$ où B est l'ensemble des brins et les α_i sont $N + 1$ relations entre les brins. Ces relations vérifient les propriétés suivantes :

1. $\forall i, 0 \leq i \leq N, \alpha_i$ est une involution *simple*, c'est-à-dire $\alpha_i^2(d) = d$;
2. $\forall i, \forall j, 0 \leq i < i + 2 \leq j \leq N, \alpha_i \cdot \alpha_j(d)$ est aussi une involution, dite *composée*.

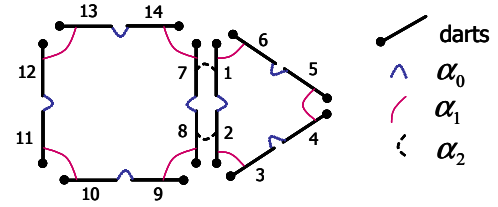


FIG. 1 – Une 2-G-carte représentant un triangle connecté à un carré : les brins apparaissent en noir et les involutions en couleur.

b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\alpha_0(b)$	2	1	4	3	6	5	8	7	10	9	12	11	14	13
$\alpha_1(b)$	6	3	2	5	4	1	14	9	8	11	10	13	12	7
$\alpha_2(b)$	7	8	3	4	5	6	1	2	9	10	11	12	13	14

TAB. 1 – Les involutions : la première ligne indique les numéros de brins et les lignes suivantes les images de ces brins pour les différentes involutions.

Une *orbite* notée $\langle \alpha_{i_1}, \alpha_{i_2}, \dots, \alpha_{i_n} \rangle(b)$ définit l'ensemble des brins obtenus par n'importe quelle composition des α_{i_k} involutions simples (groupe de permutation) à partir du brin b . Les i -cellules (0-cellule = sommet, 1-cellule = arête, 2-cellule = face, ...) sont formées par des orbites particulières comprenant toutes les involutions excepté α_i .

4 Principe général

Notre algorithme suit une stratégie similaire aux méthodes précédemment introduites, en effectuant un parcours de proche en proche du maillage et en construisant des historiques de symboles décrivant les relations d'incidence entre les éléments visités. Les historiques sont ensuite compressés via des méthodes classiques de compression de données, un codeur par dictionnaire (variante de LZW [8]) dans notre cas. Néanmoins, l'originalité de notre méthode est sa généralité. En effet, notre algorithme peut traiter n'importe quel maillage manifold indépendamment de sa dimension et des cellules qui le composent.

A l'opposé des autres méthodes, la géométrie associée au maillage est traitée de façon indépendante de la connectivité. Cela permet le traitement de n'importe quel type d'attribut et pas uniquement des attributs "sommet". Par exemple, on peut ajouter des couleurs aux faces, des textures aux volumes... En ce qui concerne les positions des sommets, nous les compressons de la même manière que dans d'autres méthodes, par quantification, prédiction puis compression des résidus.

Notre algorithme procède de la façon suivante :

- un parcours de proche en proche du maillage est effectué afin de décrire la connectivité des brins ;

- pour un brin donné, chaque involution est décrite par un symbole en fonction de sa configuration de connection ;
- l'ensemble des symboles forme des représentations intermédiaires appelées historiques ;
- les historiques sont compressés ;
- pour chaque type d'attribut géométrique, un parcours spécifique est effectué afin de traiter chacun des attributs de ce type en utilisant les techniques de l'état de l'art.

5 InvoCoder

La phase de compression consiste à générer des historiques de parcours du maillage. L'information disponible dans ces historiques est suffisante pour reconstruire la connectivité initiale du maillage au niveau du décodeur. Ces historiques sont compressés afin d'obtenir la version binaire finale de la connectivité du maillage. Le lecteur intéressé trouvera de plus amples informations dans [9].

5.1 Génération des historiques

Les historiques capturent toute l'information de connectivité du modèle. Ils décrivent les relations d'incidence entre les brins de la carte généralisée représentant le maillage et sont constitués durant un parcours spécifique du modèle.

Parcours. Soit G_N une carte généralisée de dimension N . Pendant le parcours, les brins rencontrés en attente de traitement sont stockés dans $N + 1$ files notées L_i . La file L_0 contient les brins en attente de traitement sur α_0 , L_1 ceux en attente de traitement sur α_1 , etc.

A l'initialisation de l'algorithme, un brin arbitraire du modèle est choisi comme point de départ du parcours et inséré dans L_0 . Tant que les files ne sont pas vides, un brin est choisi dans la file d'indice le plus faible, i.e. d'abord dans L_0 , dans L_1 si L_0 est vide, etc. Un traitement est effectué sur ce brin, consistant à encoder l'information d'incidence de ce brin pour l'involution α_i correspondante. Une fois ce traitement effectué, le brin est enlevé de la file L_i et ajouté dans L_{i+1} (si $i < N$), et ainsi de suite. Lorsqu'un brin est passé dans toutes les files, toute l'information ayant été donnée pour ce brin, il disparaît du processus d'encodage.

Historiques. Chaque traitement de brin effectué lors du parcours consiste à enregistrer un symbole dans un historique, qui décrit une partie de l'information de connectivité de ce brin. Nous associons un historique H_i à chacune des files L_i , dans lequel nous stockons les informations de connectivité pour l'involution α_i . L'information présente dans ces historiques doit permettre de reconstruire le modèle initial au niveau du décodeur.

Les symboles inscrits dans les historiques sont déterminés de la manière suivante : soit d' l'image du brin d (en cours de traitement) pour l'involution α_i (i.e. $d' = \alpha_i(d)$), quatre cas sont possibles :

- si $d = d'$, d est un brin incident à un bord, le symbole B est donc émis ;
- si d' n'a pas été précédemment rencontré, le symbole N est émis et le nouveau brin est ajouté dans la file L_0 afin qu'il soit traité à son tour ;

- si d' a déjà été rencontré, le symbole W est émis, associé à l'index de d' . Cet index correspond au numéro de ce brin selon l'ordre de parcours ;
- si l'information de connectivité est redondante par rapport aux brins précédemment traités (voir ci-dessous), aucun symbole n'est inscrit (noté '-' dans les exemples). La figure 2 illustre un exemple de codage d'un maillage constitué de deux triangles. De gauche à droite apparaissent le numéro du brin en cours de traitement, l'indice de la liste dans laquelle il a été choisi et le symbole résultant de l'encodage. Ces symboles apparaissent ensuite dans les historiques H_i au bas de la figure. Un brin initial numéroté 0 est d'abord choisi et inséré dans L_0 . Son image par α_0 est décrite, ce qui résulte en un premier symbole N. Un nouveau brin numéroté 1 est découvert durant ce traitement. Le brin 0 est ensuite déplacé dans la liste L_1 . Il n'est pas nécessaire de décrire l'image du brin 1 par α_0 qui est déjà connue ('-'), ce brin est alors déplacé dans L_1 . Le brin 0 est maintenant choisi dans L_1 , son image par α_1 donne un symbole N et le brin 2 est découvert, etc. Arrivé au brin 3 par L_1 , le brin image par α_1 du brin 3 ayant déjà été rencontré, un symbole W est émis, associé au numéro du brin correspondant (brin 5). Le processus d'encodage continue de la même façon jusqu'à ce que tous les brins aient été complètement traités.

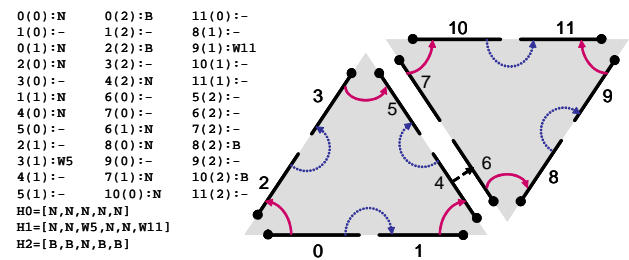


FIG. 2 – Un exemple en 2 dimensions : chaque ligne représente une itération, le numéro du brin courant apparaît à gauche suivi de la dimension en cours de traitement pour ce brin, ainsi que le symbole correspondant.

Suppression des redondances. Sur la figure 2, de nombreuses redondances apparaissent. Elles sont la conséquence des propriétés 1 et 2 des involutions dans les cartes généralisées. comme le montre la figure 3, pour la première propriété (cas 1), il n'est pas nécessaire de préciser que le brin 1 est associé au brin 0 par α_i si l'on a décrit précédemment que 0 était associé à 1 par α_i . De même pour la seconde propriété, l'information de bord ou de couture n'a pas besoin d'être dupliquée (cas 2 et 3).

5.2 Décodage des historiques

Le décodage est symétrique à la phase de codage. Les symboles issus des historiques permettent de reconstituer la connectivité initiale du modèle. L'algorithme de décodage effectue un parcours identique, en construisant les brins au fur et à mesure du parcours et en utilisant les symboles

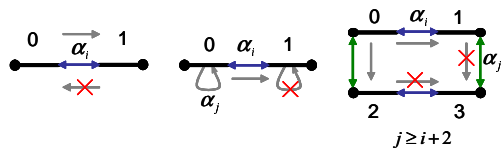


FIG. 3 – Trois types de redondances : les flèches barrées correspondent à l’information supprimée pour éviter les redondances.

pour différencier les différents cas de reconstruction. Par exemple, lors d’un symbole N, la construction des brins est effectuée par copie de l’orbite $\langle \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{i-2} \rangle$ et par coupure de cette orbite à l’orbite mère par α_i .

5.3 Compression de l’historique

Le mécanisme de compression est réalisé en deux étapes :

- prédiction des indices pour les symboles W ;
- compression des symboles et des indices.

Prédiction des indices. Pour chaque symbole W, un indice lui est associé afin d’identifier le brin à coudre. Nous avons constaté empiriquement que le nombre de symboles W n’est absolument pas négligeable : il représente environ 50% des symboles dans certains historiques. De plus, la plage de valeurs des indices possibles étant très grande, ils sont difficilement compressibles.

Nous avons donc mis en place un système de prédiction des indices basé sur le voisinage déjà codé/décodé. L’idée consiste à effectuer un parcours local afin de trouver un brin dont l’involution α_i n’a pas encore été décrite. A partir du brin initial, nous traversons alternativement les involutions α_i et α_{i-1} et le parcours s’arrête sur le premier brin dont l’involution α_i n’a pas été décrite. L’indice associé au symbole W devient alors la différence (delta) entre le numéro réel du brin à coudre et le numéro du brin prédit lors de ce parcours.

Représentation compressée des symboles. Pour compresser les historiques, nous avons décidé d’utiliser un compresseur par dictionnaire de type LZW [8]. Ce type de méthode fonctionne par constitution d’un dictionnaire de mots à partir des symboles au fur et à mesure de la compression : les motifs fréquemment rencontrés dans les séquences de symboles se voient attribuer un code court qui remplacera le motif lors de ses prochaines occurrences. Le choix de ce type de méthode est motivé par l’observation de longues séquences répétitives de symboles dans les subdivisions testées. D’autre part, nous avons remarqué que les fréquences des symboles N et W0 sont relativement semblables sur certaines involutions ce qui suggère qu’un codage entropique ne serait pas très efficace.

Avant la compression proprement dite, nous établissons un codage en octets de nos symboles et de l’indice associé au symbole W : le nombre d’octets du code est variable en fonction de cet indice. Dans la plupart des cas, un seul octet suffit : ses 2 bits de poids faible servent à indiquer le

symbole rencontré et les 6 bits restant de l’octet servent à indiquer l’indice associé au code W. Nous avons choisi d’attribuer la valeur 0 pour B et 1 pour N. Si les 6 bits restants suffisent à représenter intégralement l’indice, le symbole W est codé par la valeur 2, sinon, il prend la valeur 3 indiquant que des octets supplémentaires sont utilisés pour représenter le reste de l’indice. Les 6 bits restant de l’octet permettent de stocker une partie de l’indice (ses 6 bits de poids faible). Pour chacun des octets suivants, le bit de poids fort indique la présence d’octets supplémentaires pour définir le reste de l’indice et les 7 autres bits représentent une nouvelle partie de l’indice.

Une fois ce codage effectué, nous compressons les représentations obtenues grâce à la librairie Zlib¹ pour produire un fichier binaire. Les résultats obtenus par la prédiction et la compression sont donnés dans la section 6.

5.4 Codage et décodage de la géométrie

Les attributs associés à un maillage peuvent être des positions de sommets, des couleurs, textures, courbures d’arêtes, etc. L’encodeur stocke une valeur pour chaque attribut qui est lue par le décodeur pour donner une forme au maillage décodé. Par conséquent, les processus de codage et décodage de la géométrie doivent être synchronisés, c’est-à-dire que les attributs doivent être visités dans le même ordre dans les deux cas.

Dans notre technique, ceci est très simple puisque la connectivité complète est codée/décodée avant de procéder à la compression de la géométrie. Nous utilisons un parcours distinct pour chaque type d’attribut qui commence à partir du brin initial de la compression de la connectivité. Par exemple, nous effectuons un parcours des sommets pour les coordonnées tridimensionnelles, un parcours des faces pour les textures, etc. Un tampon de données distinct est rempli pour chaque type d’attribut géométrique. Les schémas de codage prédictif décrits dans [1] peuvent être utilisés pour le codage des sommets : les données inscrites dans le tampon des sommets seront alors les résidus après prédiction.

Par souci de simplicité d’implémentation et parce que le codage des plongements n’est pas l’enjeu essentiel de notre technique, nous avons utilisé un quantificateur scalaire uniforme sans aucune prédiction ni compression pour représenter les coordonnées des sommets.

6 Résultats et discussion

Cette section présente les résultats obtenus par notre méthode concernant deux principaux aspects : la qualité de la prédiction des indices et les taux de compression atteints. Plusieurs types de modèles ont été utilisés : un corpus classique de fichiers VRML utilisé pour comparer les diverses méthodes de compression surfacique, des maillages hexaédriques et tétraédriques, des maillages réguliers de $N * N$ carrés collés le long de leurs arêtes et de $N * N * N$ cubes collés le long de leurs faces, des maillages surfaciques non

¹<http://www.gzip.org/zlib/>

orientables (ruban de Moëbius, bouteille de Klein) ainsi que des maillages polyédriques généraux obtenus par des opérations CSG volumiques (co-raffinement).

Les tableaux 2, 3, 4, 5 et la figure 5 présentent les résultats obtenus en terme de compression et de prédiction. D, V, F, T, H et P correspondent respectivement au nombre de brins, sommets, faces, tétraèdres, hexaèdres et polyèdres du maillage. topo et geo sont les tailles compressées de la topologie et de la géométrie. Le nombre de bits par brin, par sommet, par arête, par tétraèdre, par hexaèdre ou par polyèdre sont notés respectivement B_{pD} , B_{pV} , B_{pE} , B_{pT} , B_{pH} , B_{pP} . Lorsque c'est possible, nous utilisons un ratio de compression pour comparer notre méthode aux résultats existants : ceux de [10] pour le cas surfacique, ceux de [4] pour les maillages hexaédriques et ceux de [5] pour les maillages tétraédriques. Nous donnons également le nombre de symboles produits nS et la proportion de mauvaises prédiction BP par rapport au nombre de symboles W. Le temps d'encodage en millisecondes incluant la géométrie noté time a été mesuré sur un AMD Athlon XP 2200+ avec 1 Go de RAM. De plus, nous avons utilisé le paramètre par défaut concernant le taux de compression de la librairie Zlib. Dans tous les cas, les caractéristiques topologiques (nombre de bords, genre, orientabilité, nombre de cellules) des maillages décodés restent identiques à celles des maillages originaux.

Notez qu'aucune mauvaise prédiction n'a été observée pour les cas réguliers (carrés et cubes), et moins de 2% d'erreurs en moyenne dans le cas contraire. Cela est dû principalement à la présence de bord ou des irrégularités topologiques locales. Ce problème est similaire au cas des «split» des approches basées valence.

Pour les taux de compression, notre méthode est légèrement moins performante que les meilleures méthodes actuelles. Un facteur de 2 à 3 est observé pour le cas surfacique, un facteur de 1 à 3 pour les maillages tétraédriques et un facteur de 2 à 8 pour les maillages hexaédriques. Néanmoins, en regard de la généralité qu'elle apporte, notre méthode reste efficace même pour compresser des modèles pour lesquels des méthodes spécialisées ont été développées.

Le principal problème de notre méthode réside essentiellement dans le codage par dictionnaire qui n'est efficace que sur des longues séquences de symboles. Les améliorations possibles pourraient être :

- initialiser le dictionnaire avant l'encodage avec des motifs répétitifs de N, B et W0 ;
- utiliser un modèle statistique pour prédire les symboles ;
- influencer l'ordre du parcours par des heuristiques ;
- utiliser un codeur arithmétique avec une transformation adaptée des symboles.

7 Conclusions

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle méthode de compression de la connectivité de maillages en dimension quelconque et avec des cellules arbitraires. Cette mé-

name	D	V	F	topo	geo	time	BpD	BpV	KAD02 (BpV)	Invo/ KAD02	nS	BP
teapot	9916	1189	1290	742	5379	110	0,599	4,992	1,22	4,09	12396	1,0%
galleon	18932	2373	2384	1377	11015	187	0,582	4,642	2,09	2,22	23677	4,4%
shark	20480	2560	2562	1490	11548	219	0,582	4,656	0,83	5,61	25601	1,4%
beethoven	21308	2655	2812	1903	12172	219	0,714	5,734	2,30	2,49	26777	1,9%
sandal	21716	2636	2953	1626	12114	204	0,599	4,935	2,27	2,17	27334	2,5%
triceratops	22656	2832	2834	1602	12772	250	0,566	4,525	1,28	3,54	28321	1,9%
cupie	24016	2984	3032	1857	13596	234	0,619	4,979	1,78	2,80	30026	3,0%
cow_poly	24660	2904	3263	1565	13096	265	0,508	4,311			30826	1,8%
cessna	30600	3745	3927	2953	17161	328	0,772	6,308	2,57	2,45	38261	4,3%
al	31004	3618	4175	2810	16869	281	0,725	6,213	2,50	2,49	38776	3,5%
tommygun	32340	4171	3980	2516	19862	281	0,622	4,826	2,30	2,10	40464	8,7%
cow	34824	2904	5804	1813	13096	391	0,416	4,994	1,76	2,84	43531	1,2%
moebius	96	24	12	73	136	16	6,083	24,333			133	7,7%
klein	7200	900	900	275	4078	78	0,306	2,444			9001	0,7%

TAB. 2 – Résultats de compression des modèles surfaciques.

name	D	V	T	topo	geo	time	BpD	BpV	BpT	GGS99 (BpV)	Invo/ GGS99	nS	BP
random	301728	2000	12572	11213	9028	3250	0,297	44,852	7,135	15,12	2,97	289362	2,4%
proto	310484	2896	12936	9303	13060	3265	0,240	25,699	5,753	9,55	2,68	298914	1,0%
blunt	4497480	40960	187395	30168	184348	53563	0,054	5,892	1,288	6,00	0,98	4316849	0,0%
heart	5950176	50906	247924	168705	229133	86125	0,227	26,512	5,444			5721135	0,9%

TAB. 3 – Résultats de compression des modèles tétraédriques.

name	D	V	H	topo	geo	time	BpD	BpV	BpH	IA03 (BpH)	Invo/ IA03	nS	BP
bump2	57072	1665	1189	1043	7521	609	0,146	5,011	7,018	2,1	3,34	59903	0,08%
fru	209280	5124	4360	2206	23086	2344	0,084	3,444	4,048	0,98	4,13	218726	0,00%
hanger	8208	398	171	311	1819	78	0,303	6,251	14,550	5,3	2,75	8764	0,55%
hutch	392256	8790	8172	2740	39583	4406	0,056	2,494	2,682	0,31	8,65	409192	0,01%
mdg-1b	178080	4510	3710	2160	20323	1922	0,097	3,831	4,658	0,77	6,05	186259	0,02%
shaft	330384	9218	6883	5147	41509	3672	0,125	4,467	5,982	1,7	3,52	346362	0,05%
test	114528	3198	2386	1196	14419	1187	0,084	2,992	4,010	0,87	4,61	120040	0,01%
warped	384000	9261	8000	1282	41703	4218	0,027	1,107	1,282	0,18	7,12	401208	0,00%

TAB. 4 – Résultats de compression des modèles hexaédriques.

name	D	V	E	P	topo	geo	time	BpD	BpV	BpE	BpP	nS	BP
geo_result	107324	4746	11210	40	18947	21386	9328	1,412	31,938	13,521	3789,400	127115	11,4%
geo_cut	41636	2314	4834	30	8318	10442	3625	1,598	28,757	13,766	2218,133	49564	14,9%

TAB. 5 – Résultats de compression des modèles polyédriques.

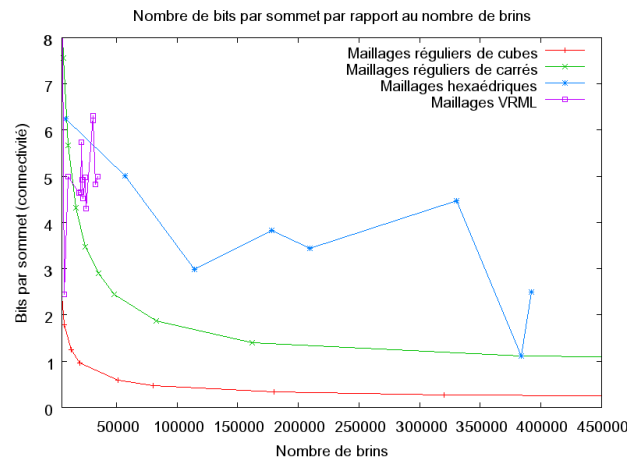


FIG. 5 – Nombre de bits par sommet en fonction du nombre de brins : les maillages réguliers forment des courbes lisses et sont plus fortement compressés que le cas général surfacique ou volumique.

thode s'appuie sur une représentation appelée carte généralisée afin de produire des historiques lors d'un parcours en proche en proche des brins de la structure. Les historiques

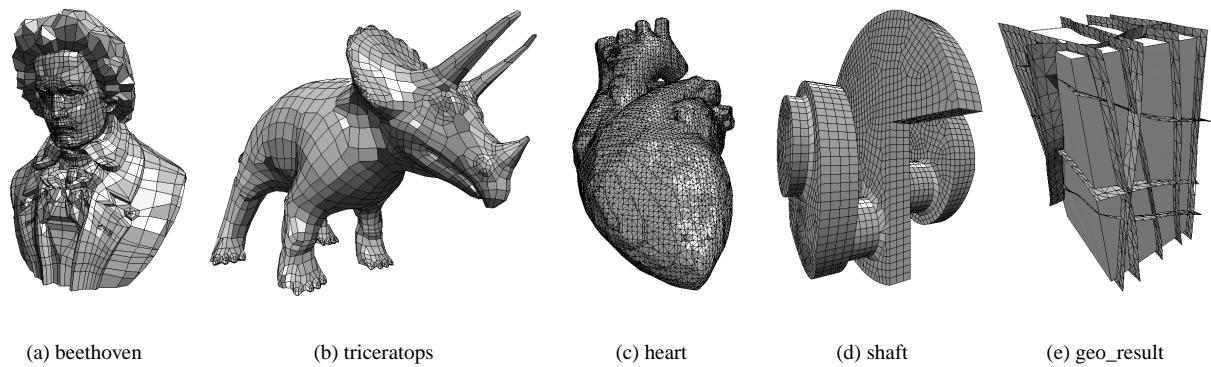


FIG. 4 – Plusieurs modèles utilisés pour constituer les résultats. (a) et (b) sont des maillages surfaciques, (c) et (d) sont respectivement des maillages tétraédriques et hexaédriques et (e) est un maillage polyédrique général.

sont ensuite compressés à l'aide d'un codage par dictionnaire pour former la représentation compressée finale de la connectivité du modèle. Les attributs géométriques associés au modèle sont traités de façon indépendante à l'aide de techniques classiques comme la quantification, prédiction et compression classique des résidus.

Le principal avantage de notre méthode est sa généralité. Grâce à notre technique, la compression de modèles volumiques irréguliers est possible, ce qui est particulièrement utile pour des applications en géologie ou pour la représentation (volumique) d'environnement urbains avec sol.

Dans le futur, nous souhaitons améliorer le codage de la géométrie en utilisant une quantification vectorielle. Nous projetons également d'utiliser ce travail dans une application de navigation via un réseau dans des environnements urbains : les parties prochainement visibles de la scène sont envoyées du serveur vers le client pendant que ce dernier effectue des calculs de visibilité lors de la navigation en utilisant la topologie de la scène. Dans ce contexte, notre technique permet de réduire à la fois la bande passante et la latence de la transmission des données géométriques.

Remerciements Nous tenons à remercier Alla Sheffer pour les modèles bump2, fru et shaft, Steven Owen pour mdg-1, Scott Mitchell pour hanger et hutch, la NASA pour blunt, Bruno Notrosso pour proto (spx), Yongjie Zhang et Chandrajit Bajaj pour le modèle heart.

Références

- [1] Pierre Alliez et Craig Gotsman. Recent advances in compression of 3D meshes. Dans *Proceedings of the Symposium on Multiresolution in Geometric Modeling*, Cambridge, 2003.
- [2] Andrzej Szymczak et Jarek Rossignac. Grow and fold : compression of tetrahedral meshes. Dans *Proceedings of the fifth ACM symposium on Solid modeling and applications*, pages 54–64, Ann Arbor, Michigan, United States, 1999.
- [3] Chuan-Kai Yang, Tulika Mitra, et Tzi-cker Chiueh. On-the-fly rendering of losslessly compressed irregular volume data. Dans *IEEE Visualization 2000*, pages 101–108, 2000.
- [4] Stefan Gumhold, Stefan Guthe, et Wolfgang Strasser. Tetrahedral mesh compression with the cut-border machine. Dans *Proceedings of the conference on Visualization '99*, pages 51–58, San Francisco, California, United States, 1999. IEEE Computer Society Press.
- [5] Martin Isenburg et Pierre Alliez. Compressing hexahedral volume meshes. Dans *Graphical Models*, volume 65, pages 239–257. Academic Press Professional, Inc., 2003.
- [6] Pascal Lienhardt. N-dimensional generalized combinatorial maps and cellular quasi-manifolds. *International Journal of Computational Geometry and Applications*, 4(3) :275–324, 1994.
- [7] Jarek Rossignac. Edgebreaker : Connectivity compression for triangle meshes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(1) :47–61, 1999.
- [8] T.A. Welch. A technique for high-performance data compression. *IEEE Computer*, pages 8–19, 1984.
- [9] Sylvain Prat, Patrick Gioia, Yves Bertrand, et Daniel Meneveaux. Invocoder : compression de la connectivité de maillages en dimension arbitraire. Rapport technique No 2005-01, Laboratoire SIC, FRE 2731 Université de Poitiers, 2005.
- [10] Andrei Khodakovsky, Pierre Alliez, Mathieu Desbrun, et Peter Schröder. Near-optimal connectivity encoding of 2-manifold polygon meshes. Dans *Graphical Models*, volume 64, pages 147–168. Academic Press Professional, Inc., 2002.