Chapitre 8

Conclusion et perspectives

Au cours de cette thèse, nous avons défini un modèle topologique minimal de représentation d'images segmentées en deux et trois dimensions : la carte topologique. Ce modèle est similaire en dimension deux à deux modèles existants, le graphe topologique des frontières et les cartes discrètes. L'apport de ce travail pour cette dimension est d'avoir introduit une nouvelle notion de niveau de simplification. Ces niveaux permettent de définir simplement et progressivement la carte topologique 2d, et ainsi d'étendre cette définition en dimension supérieure. De plus, ces niveaux facilitent l'étude de ce modèle, en permettant de se concentrer sur chaque niveau de simplification, et sur le passage entre deux niveaux successifs.

Cela nous a permis de mettre en évidence les problèmes de déconnexion pouvant survenir, principalement en dimension trois étant donné que c'est pour cette dimension qu'ils sont les plus délicats à résoudre. Leur résolution est facilitée car un problème particulier survient pour la construction d'un niveau précis, ce qui limite les configurations à étudier. Ces problèmes de déconnexion nous ont amené à étudier précisément les arêtes fictives et le rôle qu'elles jouent dans la définition de la carte topologique. Ce rôle est en effet primordial afin d'obtenir la représentation minimale. L'étude détaillée de l'opération de fusion nous a ensuite permis de valider la définition de la carte topologique, en montrant que la construction des différents niveaux de simplification n'entraînait pas de perte d'informations topologiques.

Nous avons ensuite défini des algorithmes d'extraction de ce modèle. Un premier algorithme simple découle immédiatement de notre définition progressive de la carte topologique. Puis, nous avons défini un algorithme optimal, en une seule passe de l'image et un nombre minimal d'opérations. Cet algorithme reprend le principe d'extraction à base de précodes, déjà utilisé par Christophe Fiorio. Mais les niveaux de simplification nous ont permis de factoriser de nombreux cas différents et de réduire ainsi ce nombre. Pour la dimension trois, nous sommes ainsi passé de 4140 cas différents à 129. Cette factorisation est grandement facilitée par les différents niveaux. En effet, nous étudions seulement pour chaque niveau les cas supplémentaires à traiter par rapport au niveau précédent.

Les travaux menés dans cette thèse peuvent être poursuivis dans différentes directions. Tout d'abord, nous devons étudier plus avant les deux points partiellement traités dans ce travail. L'étude des arêtes fictives et de leur gestion pour l'algorithme optimal d'extraction en dimension trois doit être approfondie afin de prouver que nous obtenons bien la représentation minimale. En effet, la preuve a été donnée pour la définition de la carte topologique, mais il est nécessaire d'effectuer cette preuve pour l'algorithme optimal et les différents précodes. Le deuxième point concerne les arêtes fictives et l'étude de l'évolution des caractéristiques topologiques lors du décalage de ces arêtes. Nous devons prouver que ce décalage préserve le genre des objets représentés et conserve également la connexité de chaque face, fait que nous avons seulement abordé de manière intuitive.

Nous désirons ensuite nous intéresser à la définition de la carte topologique en dimension n. La définition progressive peut s'étendre sans problème particulier. Nous obtenons alors $2n-1$ niveaux de simplification, le niveau n étant la carte des frontières pouvant se plonger uniquement par ses sommets. Il faut ensuite s'intéresser aux problèmes de déconnexion. La technique utilisée en dimension deux et trois peut s'étendre sans problème en dimension quelconque. L'adjonction d'un arbre d'inclusion des régions permet de résoudre la déconnexion en dimension n. Pour les déconnexions des dimensions $n-1$ à deux, il suffit de conserver des éléments fictifs. Le point intéressant à étudier est l'extension du principe de décalage des arêtes fictives. C'est en effet ce principe qui permet l'obtention de la représentation minimale. Il s'agit d'étudier la manière de décaler les éléments fictifs de n'importe quelle dimension, ce qui doit pouvoir s'effectuer de manière similaire au décalage d'arête, mais également de voir les configurations possibles de ces éléments fictifs. Par exemple, en 4d, est-il possible d'avoir une arête fictive à l'intérieur d'une face fictive ? Comme pour la dimension trois, la gestion de ces éléments fictifs est primordiale et nécessite une étude approfondie.

Nous proposons également quelques perspectives autour des algorithmes d'extraction. Un premier point porte sur l'étude de l'ordre des fusions pour l'algorithme d'extraction naïf. En effet, nous avons vu que nous devions tester à nouveau l'ensemble des arêtes de la carte après une fusion de faces, afin de ne pas oublier des fusions. Il serait intéressant de déterminer un ordre pour ces fusions de faces permettant de s'affranchir de ces tests redondants, mais également des tests de déconnexion. Il faut pour cela trouver un ordre sur les fusions de faces conservant chaque face connexe, et commençant par les fusions aux extrémités de la carte. En effet, une fusion de faces le long d'une arête incidente à un sommet de degré un ne peut pas entraîner de déconnexion. De plus, cette fusion peut entraîner la création d'un nouveau sommet de degré un, et la prochaine fusion à effectuer pourrait alors être le long de l'arête lui étant incidente. La définition d'un tel ordre entraînerait la diminution de la complexité de l'algorithme naïf. Il deviendrait linéaire au lieu d'être quadratique.

Pour ce qui concerne l'algorithme optimal, il serait intéressant d'obtenir les formules combinatoires permettant de calculer le nombre de précodes variétés en dimension n, mais également les formules permettant de calculer le nombre de précodes supplémentaires à traiter pour chaque niveau de simplification. Nous avons défini la formule correspondant au niveau 1, qui est simplement 2^n, ainsi que celles des niveaux 2 et n. Mais il reste à déterminer les nombreuses autres formules. De plus, nous devons nous intéresser aux possibilités de factorisation des précodes similaires. Nous avons en effet introduit la notion de précodes isomorphes par rotation qui nous a permis de réduire le nombre de cas à étudier, mais il existe peut-être d'autres possibilités.

Nous avons également plusieurs projets qui consistent à poursuivre les travaux présentés au chapitre 7. Nous devons définir différentes opérations de modification de la carte topologique 3d, afin de mettre à la disposition d'utilisateurs potentiels un panel d'outils leur permettant de travailler avec ce modèle. Nous allons également nous intéresser à la manière de développer une branche de Moka basée sur les cartes topologiques. Ces deux points sont liés, étant donné que pour définir un modeleur basé sur la carte topologique, nous avons besoin de différentes opérations de modification. Les résultats de ces travaux pourront ensuite s'intégrer à un logiciel de segmentation 3d, comme par exemple le projet de détermination du volume tumoral cérébral, afin de permettre des opérations interactives autorisant un expert à corriger éventuellement le résultat de la segmentation.

Nous allons également poursuivre nos travaux afin d'utiliser la carte topologique, en deux et trois dimensions, dans des algorithmes de segmentation où pour faire du raffinement de segmentation. Nous voulons étudier comment utiliser les informations topologiques fournies par notre modèle afin de définir des critères de segmentation. Nous envisageons également d'autres utilisations de la carte topologique, par exemple lors d'une phase de pré-segmentation pour distinguer les zones texturées ou lors d'une phase de post-segmentation pour supprimer les petites régions que nous pouvons considérer comme du bruit.

Un autre point de recherche qui nous intéresse particulièrement, mais que nous n'avons pas du tout abordé pour le moment, est la reconnaissance des plans discrets afin de représenter les surfaces de plongement. En effet, le plongement utilisé actuellement est composé de 2-G-cartes représentant uniquement des faces parallèles aux plans orthotropes. La polyédrisation de ces surfaces entraînerait la diminution de l'espace mémoire nécessaire à leurs représentations, mais permettrait également d'utiliser des algorithmes de géométrie discrète de visualisation, de lissage. Dans la même voie de recherche, nous allons collaborer au développement d'un modeleur discret. Il doit avoir des fonctionnalités similaires à celles proposées par Moka, mais doit pouvoir utiliser des plongements discrets. Il est basé sur une évolution du noyau générique de 3-G-carte permettant de représenter les non variétés. Ce projet ressemblant à Moka sous certains aspects est très proche de notre travail de recherche et des préoccupations de cette thèse, étant donné que nous représentons des images, donc des assemblages de cubes en dimension trois.

Un autre thème de recherche que nous allons très prochainement aborder concerne les pyramides combinatoires. En effet, les travaux autour de ces pyramides sont très proches de notre travail, et il est intéressant d'en étudier les similarités et les différences. Nous devons pour cela étudier les opérations de contraction et suppression d'arêtes en regard de l'opération de fusion. Sous certaines conditions, ces opérations sont en effet équivalentes. De plus, les travaux actuels portent pour le moment sur la dimension deux, et nous pourrions apporter la possibilité de passer en dimension supérieure.