

LA TOPOLOGIE DANS LE MONDE SIG

Par L. Coudercy (CERTU)

La notion de topologie a été, dès l'origine des premiers outils logiciels commerciaux (Arcinfo, par exemple), un sujet de débat et d'étude pour le monde de la géomatique.

Ainsi, dès le début des années 80, les Américains avaient entrepris de définir une structure de données géographiques vecteur topologique.

Plus récemment, un des tout premiers ouvrages français sur les SIG (Systèmes d'information géographique, des concepts aux réalisations ; H. Pornon, 1990), consacre un chapitre de 10 pages à la topologie.

Enfin, des modèles de structuration topologique ont été formalisés dans la norme française EDIGéO (1992), puis dans la norme européenne ENV 12160 (1998).

Cependant, on trouve sur le marché des SIG des outils logiciels qui ne sont pas «topologiques». C'est par exemple le cas d'un des leaders parmi les SIG pour PC, à savoir Mapinfo : cette caractéristique ne l'empêche pas de permettre des analyses spatiales.

Qu'en est-il alors réellement de la « topologie » et plus précisément que signifie ce terme dans le monde de la géomatique ?

Pour explorer ce(s) concept(s) nous examinerons successivement la topologie au sens mathématique du terme, puis la formalisation informatique de la topologie, telle qu'on la trouve dans les logiciels et les normes, puis la notion de « cohérence topologique ». Enfin, nous essayerons de dégager les avantages et inconvénients de la topologie dans les logiciels et dans les données géographiques.

La topologie, au sens mathématique du terme

La topologie est d'abord une branche particulière des mathématiques. Loin de nous l'idée de faire un cours de topologie (ce qui rappellerait de mauvais souvenirs scolaires aux personnes passées par les classes préparatoires).

Nous nous contenterons de rappeler une définition plus parlante de la topologie : la topologie concerne les relations entre objets dans le plan (l'espace), telles qu'elles soient conservées par homéomorphisme (déformation sans déchirement) du dit plan.

Font donc ainsi partie intégrante des relations topologiques la connectivité entre deux objets, la superposition de ces objets... Ne font pas partie des relations topologiques les relations géométriques faisant intervenir des distances, des angles... qui sont évidemment modifiées par déformation de l'espace.



L'Europe, dans le système de projection en vigueur en Irlande



L'Europe, vue en Longitude/latitude (Nad 83)

Les exemples de couples de cartes ci-dessus sont identiques du point de vue topologique : le changement de système de projection ne change pas les relations topologiques entre les départements ou les Etats, tant qu'il n'y a pas de déchirure liée au système de projection employé. Ceci, s'il en était besoin, montre la pertinence de la notion de topologie en information géographique.

A l'inverse, la généralisation peut modifier les relations topologiques, par agrégations, suppressions d'objets trop petits...

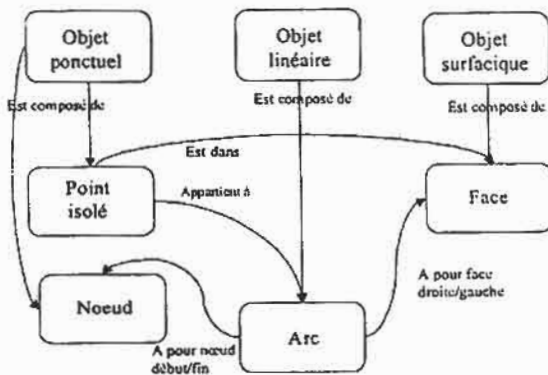
La topologie, implémentée dans les logiciels SIG
La topologie mathématique et la théorie des graphes ont été utilisées pour structurer les données géographiques, dès les premiers logiciels de type

SIG. Il s'agissait à l'époque de :

- « - faciliter et accélérer la saisie des données, notamment celles de type surfacique...
- éviter la redondance d'informations graphiques...
- rendre possible l'exploitation des données cartographiques à des fins d'analyse » in Système d'information géographique, ed Hermes, H. Pornon, 1990.

Ceci s'est traduit par la définition de classes de primitives graphiques : les points, les arcs et les faces, principalement. Ces trois primitives sont reliées par des relations. Dans ce type de schéma, une face est composée de lignes, elles-mêmes comportant un nœud à chaque extrémité. Selon que ces relations sont plus ou moins contraignantes (un point peut être isolé, sur un arc ou non ; deux lignes doivent se croiser sur un nœud, ou non...), les outils logiciels se sont vu décerner le label « topologique ».

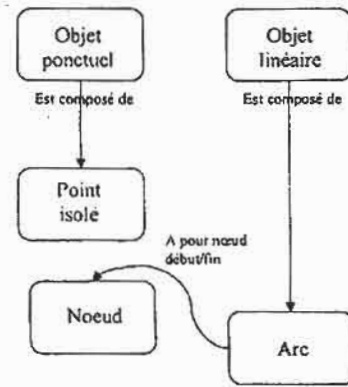
Ainsi, la norme EDIGÉO (1992) propose trois modèles conceptuels pour la topologie. Ces trois modèles sont déclinés à partir du modèle conceptuel général ci-dessus, par modification des cardinalités dans les relations :



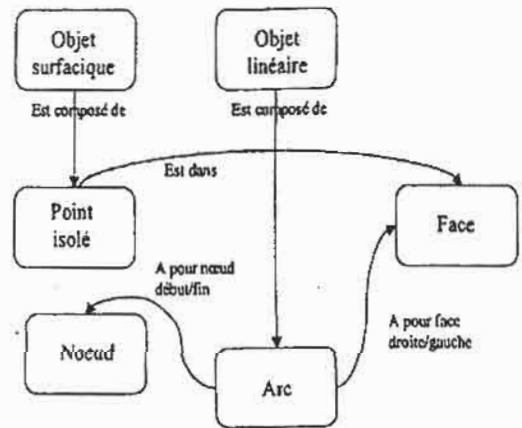
- Le modèle « vecteur topologique », tel qu'en un point de l'espace, on ne peut avoir qu'une - face ou un arc, les nœuds isolés pouvant être positionnés n'importe où.
- Le modèle « réseau », qui n'impose rien sur les faces et les arcs. Il permet de décrire un graphe de réseau non planaire. Là encore, les nœuds isolés peuvent se superposer à tout autre type d'objet.
- Le modèle « spaghetti », correspondant à ce qui est couramment considéré comme non topologique : en un même point de l'espace, on peut trouver à la fois une ou des faces, une ou des lignes, un ou des points, et aucune relation entre ces primitives n'est obligatoire.

Dans les faits, chaque éditeur de logiciel a défini une organisation de ses fichiers de primitives et de relations, qui aboutit à une « topologie » spécifique. Ces structurations sont souvent non documentées et l'on doit les déduire des contraintes propres aux outils logiciels qui les manipulent.

Ainsi, Arcinfo sur station, l'un des plus connus des SIG dits « topologiques », présente-t-il une structuration assez particulière de ses primitives :



- Soit l'on travaille sur une couche de type arcs et points, auquel cas on a une topologie de réseau planaire, interdisant qu'en un même point de l'espace on trouve deux arcs distincts. Ce type de couche autorise la présence de nœuds isolés, non situés sur les arcs.
- Soit on travaille sur une couche d'objets surfaciques, auquel cas on dispose d'une topologie planaire classique : en un même endroit on ne peut avoir plusieurs faces ou plusieurs arcs, ou une face et un arc. Il existe un groupe d'arcs particulier correspondant au bord de la zone de travail, ce qui aboutit à créer une ou des faces complétant entièrement l'espace de travail. Par contre, ce type de couche interdit les nœuds isolés, tout nœud de ce type se trouvant de fait dans une face, est alors considéré comme un centroïde de face.

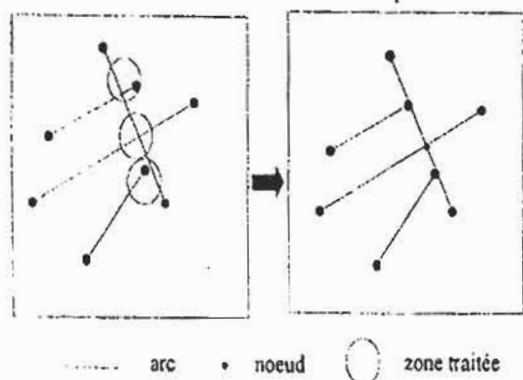


L'intérêt de cette structuration, et donc ce qui l'a rendue si présente dans les logiciels, vient de ce quelle permet :

- d'économiser de la place mémoire : si deux objets partagent un même tronçon, celui-ci n'est mémorisé qu'une fois ;
- de faciliter les traitements spatiaux : les relations topologiques étant pré-traduites dans des tables relationnelles, les traitements qui font appel aux relations topologiques s'en trouvent facilités.

Ainsi, lors de la constitution d'une couche d'information, réaliser l'opération de création de la topologie aboutit à la création des tables des relations topologiques prises en compte dans le modèle informatique de l'outil. Cette opération s'accompagne couramment d'une légère modification de la géométrie, afin d'éliminer les bouts pendants, et de fusionner des nœuds proches.

Il s'agit là d'une façon, par cette aide à la saisie, de forcer la topologie en épurant les objets à l'intérieur de zones de tolérance.

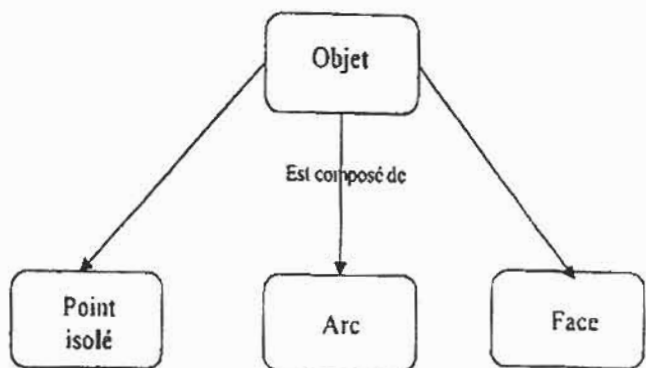


Exemple de correction automatique, pour mise en topologie

Les logiciels les plus couramment utilisés n'offrent pas tous le même niveau de structuration topologique :

- Arcinfo, le leader mondial sur station, et un des premiers logiciels, offre une structure topologique classique (on a vu précédemment que la réalité est un peu différente).
- Arcview, toujours de chez ESRI, et qui au fil du temps est devenu un SIG à part entière, n'offre pas la topologie.
- Mapinfo, le leader mondial sur PC n'est pas topologique.
- Star, découlant d'un produit de DAO, propose deux niveaux de structuration, topologique et non topologique.
- Apic, plus récent, a pris le parti de ne proposer aucune structuration topologique, chaque utilisateur définissant celle qui lui paraît la plus judicieuse.

Ainsi, Mapinfo repose sur la structuration non topologique suivante. Ce logiciel a la particularité d'accepter, pour une même classe d'objets (par exemple les bâtiments), qu'un objet puisse être une face, et qu'un autre puisse être un point.



Or, malgré toutes ces différences de structuration « topologique » des données, tous ces outils permettent, à des degrés divers, de saisir des données, de les stocker et gérer, de réaliser des analyses spatiales, de réaliser des éditions cartographiques. Pour aboutir à ces résultats, les éditeurs logiciels ont développé ces fonctionnalités selon deux approches : soit ils réalisent un traitement global lors de la mise en topologie, ce qui revient à rechercher et stocker a priori les relations topologiques; soit ils réalisent des traitements à la demande, lors des requêtes de l'utilisateur.

Par ces quelques exemples, on voit bien que le choix entre un SIG ou un autre ne peut plus être tranché facilement en faveur de celui qui possède la structuration topologique la plus complète.

En effet, tous ces logiciels permettent de réaliser des requêtes spatiales, des traitements importants (au regard des machines concernées), et le gain en taille mémoire, qui pouvait être un critère important quand les ordinateurs de bureau ne disposaient que de quelques dizaines de Mo, perd beaucoup de son intérêt quand le moindre micro est livré avec plusieurs Go.

La topologie dans le monde des objets géographiques

En fait, le monde ne répond pas toujours parfaitement au modèle topologique planaire

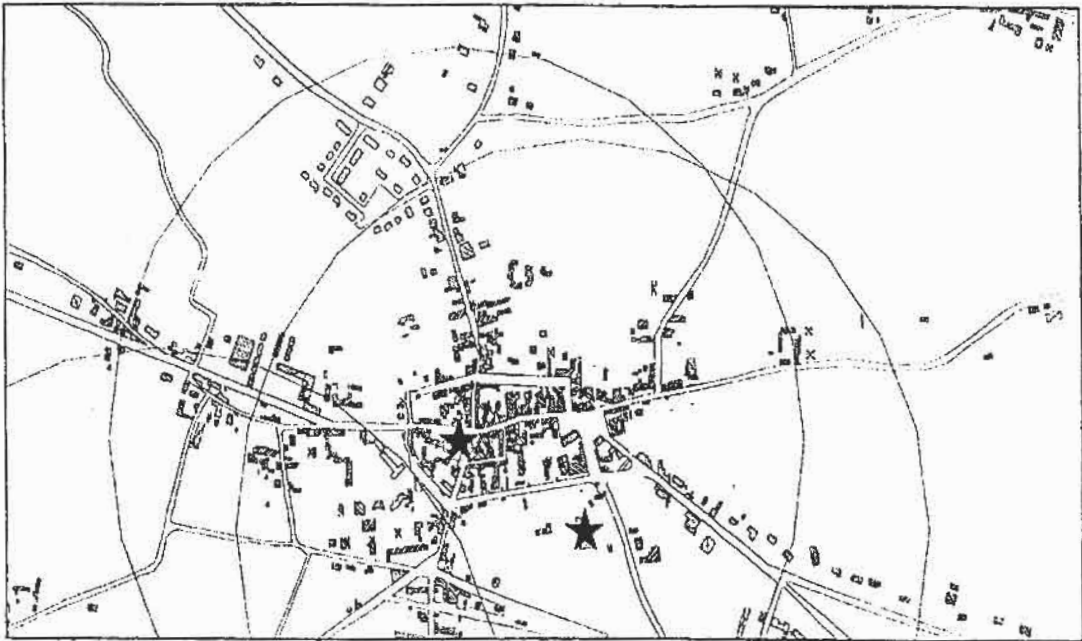
Ainsi les servitudes d'utilité publique autour des monuments historiques classés, correspondant à une aire de 500 mètres de rayon autour de ce bâtiment, ne sont pas conformes au principe qui veut qu'en un point du territoire il n'y ait au plus qu'un objet surfacique. Ceci n'empêche pas d'utiliser pour les modéliser des SIG à structuration topologique. Mais l'on aboutit alors à l'inverse du but recherché par les programmeurs : il faut en effet créer de nouveaux objets dès qu'il y a intersection, et manipuler des objets complexes (une servitude peut alors être représentée par plusieurs polygones, alors qu'il s'agit dans la réalité d'une seule surface, et chaque petite partie élémentaire peut concerner plusieurs servitudes).

A l'inverse, les modèles de topologie classique ne prennent en compte que les relations des primitives dans une couche donnée, alors qu'il peut exister des relations topologiques entre données de couches différentes, sans d'ailleurs que ceci concerne obligatoirement toutes les instances des classes d'objets. Ainsi, les points d'intersection entre le réseau routier et le réseau ferré (qui sont soit des ponts, soit des passages à niveau), entretiennent des relations de voisinage particulières entre ces deux réseaux, sans pour autant faire partie de la même couche.

structuration non topologique est parfaitement adapté.

A l'inverse, les aires des communes ne doivent pas se superposer (un même endroit ne peut appartenir au même moment à plusieurs communes), et tout point du territoire national appartient à une commune : on est là dans le cas d'une tessellation parfaite, et le modèle topologique planaire est parfaitement adapté.

On peut aussi trouver des exemples de couverture totale du territoire, avec recouvrements entre objets (les aires d'utilisation des langues, les aires de



exemple de trois servitudes se chevauchant

En fait les objets géographiques entretiennent entre eux des relations que nous appellerons « de cohérence topologique»: celles-ci peuvent se traduire par les réponses à donner aux questions suivantes :

- En un point du territoire, peut-il y avoir plusieurs objets d'une même classe d'objets présents ? Si la réponse est oui, on a un modèle de cohérence non planaire, qu'il soit surfacique ou linéaire.
- En tout point du territoire, doit-il y avoir au moins un objet de telle classe d'objets? Si la réponse est oui, on se trouve face à une couverture complète du territoire (cette relation n'est pas envisageable pour des objets linéaires).

Ces mêmes questions peuvent être posées entre plusieurs couches, aboutissant à des notions de cohérence topologique inter-couches ou inter-classes.

Ainsi, les servitudes d'utilité publique autour des monuments historiques peuvent se superposer, mais ne couvrent pas tout le territoire. Le modèle de

portée de systèmes radio...), et des cas sans superposition ni recouvrement (les lacs, les aires urbaines...).

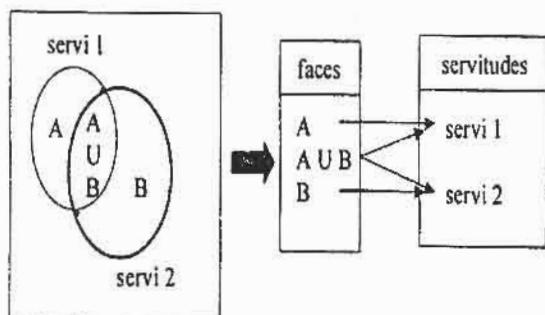
Le respect de ces règles de cohérence topologique au moment de la saisie des objets géographiques est important : de là, découle la validité du modèle des objets saisis, et donc la possibilité de traitements ultérieurs.

Avantages- inconvénients de la structuration topologique

Les fonctionnalités des outils topologiques sont souvent très utiles au moment de la saisie d'objets géographiques, surtout si ceux-ci répondent à des règles de cohérence topologique strictes interdisant la superposition d'objets. L'outil gère alors les corrections géométriques mineures, qui permettent de supprimer les micro-polygones découlant d'imprécision dans la saisie. Cependant, on trouve des utilitaires gérant une saisie en cohérence

topologique avec des logiciels non topologiques : par exemple, l'utilitaire « Topologie » pour Mapinfo. On obtient alors, si on le souhaite, une saisie garantie en cohérence topologique, mais gérée au niveau de la structure interne du logiciel comme une donnée non topologique.

La topologie planaire, appliquée à des objets qui de fait acceptent des superpositions, complique inutilement leur gestion. Ainsi, pour reprendre le cas des servitudes, avec un outil topologique, l'outil va manipuler des faces correspondant à l'intersection de plusieurs servitudes, qui donc seront en relation sémantique avec plusieurs tables de servitudes, et une servitude sera un objet complexe, regroupant plusieurs faces (contiguës !), pointant toutes sur la même servitude.



Exemple de données compliquées par une topologie non adaptée

Avec un outil non topologique, chaque servitude sera un objet unique, et l'outil gèrera le fait qu'à un endroit donné on puisse avoir plusieurs objets.

De même, une structuration topologique planaire stricte peut gêner la gestion de polygones ne formant pas une tessellation, c'est à dire ne couvrant pas tout le territoire concerné. C'est ainsi qu'Arcinfo génère, autour des zones d'occupation des sols, une zone « vide », complémentaire des zones affectées par rapport à la zone de travail. Ceci en soit ne poserait pas de problème si les outils de type SIG ne présentaient pas des limites quand au nombre de segments pouvant composer un objet géographique. Ce type de zone, complémentaire peut très rapidement atteindre ou dépasser la taille limite du logiciel, et sera exportée comme une information vers d'autres logiciels, sans possibilité de l'éliminer. Le développement d'outils non topologiques a montré que la structuration topologique n'est pas indispensable pour l'analyse spatiale. En fait, un outil topologique préparera des tables de relations a priori, et viendra y puiser lors d'une analyse spatiale. A l'inverse, un outil non topologique réalisera l'analyse topologique nécessaire lors de la requête, et uniquement sur les objets concernés. Les premiers privilégient un pré-

traitement de l'information, a priori, les seconds préfèrent traiter le strict nécessaire.

L'intérêt de la topologie en matière de sémiologie cartographique ne semble pas évident. Cependant, elle est utile pour des symbolisations de limites entre zones (des communes par exemple) : la structuration topologique permet d'affecter un symbole à une primitive d'arc, en tenant compte des faces bordant cette limite, en même temps que l'on affecte une trame ou une couleur aux faces.

L'exportation de la topologie reste assez problématique. On l'a vu, les normes d'exportation (EDI- Géo ou la norme européenne) permettent d'exporter la topologie, et d'indiquer quel type de topologie est exporté. Or chaque logiciel dispose de sa propre structuration topologique, qui n'est jamais parfaitement identique à celle des normes, ni d'un logiciel à l'autre. On est donc souvent amené à faire des échanges de lots selon une topologie normée entre logiciels dont la structuration topologique est très éloignée. On imagine l'intérêt qu'il peut y avoir à transmettre la topologie planaire à un outil qui ne connaît que le spaghetti, ou réciproquement : de fait aucune information topologique ne sera réellement transmise.

Pis que cela, certains logiciels détruisent la cohérence topologique qu'ils ont créée, lors de la mise en format d'export propriétaire: c'est le cas d'Arcinfo, qui, lorsqu'il exporte en format E00, arrondit les coordonnées X et Y de manière différente pour chaque objet !

On le voit l'exportation de la topologie ne va pas de soit. Or, pour certaines applications, certaines relations topologiques correspondent à des relations fonctionnelles : c'est le cas par exemple pour les réseaux routiers ou hydrauliques. Il est donc indispensable, dans ces cas là de doubler les tables relationnelles découlant de la structuration topologique, par des tables de relations fonctionnelles classiques, gérées par l'utilisateur. En effet seules ces dernières pourront être récupérées lors d'un échange, et elles seules pourront être facilement utilisables dans des algorithmes spécifiques au métier concerné. C'est ainsi que les nœuds de début et fin de tronçons du réseau routier de la Bdcarto sont présents sous forme d'attributs, en plus d'être pris en compte au niveau de la structuration topologique du logiciel Arcinfo, utilisé pour gérer cette base à l'IGN.

Conclusion

Au niveau de la production de données, il est indispensable de spécifier les cohérences topologiques du monde réel à modéliser (internes à la classe d'objets mais aussi parfois entre classe d'objets). Il faut parfois envisager de traiter à part certaines relations topologiques jouant un rôle fonctionnel, afin de pouvoir les récupérer quel que soit l'outil SIG utilisé.

Il faut ensuite se donner les moyens de produire les données en respectant ces cohérences. Les outils topologiques ou certains utilitaires adaptés aux outils non topologiques, aident à créer ainsi des cohérences topologiques de type planaire, qui sont les plus contraignantes.

Cependant, le monde réel ne répondant pas toujours au modèle topologique planaire, les outils logiciels proposant des solutions topologiques et non topologiques présentent la meilleure solution pour une modélisation la plus simple et la plus proche de la réalité à décrire.

A noter enfin que le monde de la recherche travaille sur une modélisation topologique adaptée à la manipulation d'objets en 3 dimensions, preuve si l'en est que la topologie, même si elle n'est pas indispensable pour nombre d'usages courants, reste un modèle conceptuellement riche et productif,

Bibliographie :

- **Système d'information géographique**, ed Hermes, H. Pornon, '1990.
- **Norme EDIGéO**, AFNOR, '1992.

- **Les bases de données en géomatique**, ed Hermes, R. Laurini, F. Milleret-Raffort, 1993.

- **Présentation d'un modèle 3D et analogie avec un modèle 2D** ; in revue internationale de géomatique, vol 8 n° 4, décembre '1998 ; A. de la Losa , B, Cervelle.