CARTOGRAPHIE TRIDIMENSIONNELLE POUR LES SCIENCES DE LA TERRE

Par G. COURRIOUX, A. GUILLEN, X. RENAUD, Ph. REPUSSEAU
BRGM - Avenue de Concyr BP 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2

Phone : (33) 38 64 38 69, Fax : (33) 38 64 33 61, Mail : a.guillen@brgm.fr

RÉSUMÉ

Une méthodologie globale de modélisation des objets géologiques est proposée et illustrée à travers un scénario basé sur une démarche habituelle des géologues : recherche des données existantes, acquisition de données nouvelles, conception de coupes géologiques.
Le logiciel qui implémente ce scénario est développé dans l'environnement CASCADE et constitue une base qui devrait progressivement intégrer les besoins spécifiques des Sciences de la Terre pour aboutir à un outil de «Cartographie 3D».

1. Introduction

Les objets géologiques sont des entités tridimensionnelles complexes sur lesquelles l'information est partielle, indirecte, souvent difficilement formalisable, hétérogène en type et distribuée irrégulièrement dans l'espace. Un objet géologique réel peut être simplement conceptualisé par un ensemble de formations (volumes) séparés par des interfaces (surfaces) et entrecoupées par des failles (surfaces). Les interfaces délimitent des formations distinctes, les failles sont des zones de discontinuité qui ne séparent pas nécessairement des formations.
La problématique géologique consiste d'une façon générale à reconstituer un modèle de l'objet géologique en partant de données partielles. Ceci passe traditionnellement par l'élaboration de coupes verticales en 2 dimensions, ou de cartes, qui permettent une représentation mentale de l'objet.

On appelle modèle géologique une représentation où tout point de l'espace peut être renseigné par un attribut.

Les progrès récents dans le monde de la C.A.O. ont amené les géologues à tenter de construire des représentations du sous-sol à l'aide d'outils de modélisation géométrique surfacique [6, 1, 3, 7, 9, 8], ou des outils de modélisation topologique [5, 4]. Ces travaux ne répondent qu'en partie aux problèmes suivants :

- Comment dans un nombre important de données de provenances diverses, (aux structures hétérogènes) identifier, sélectionner et gérer les données, qui relèvent de la formation ou de l'interface que l'on veut modéliser ?
- Comment gérer les informations topologiques et géologiques au sein d'un modeleur géométrique ?
- Comment intégrer des méthodes de construction propres aux objets géologiques ?

2. Objectif

Il s'agit de développer une méthodologie ainsi que le logiciel associé, permettant à un géologue d'accéder facilement aux données nécessaires à son problème, de les visualiser, de les identifier, de les éditer dans un espace de dimension adéquat puis de les renseigner. Ceci doit conduire à se focaliser davantage sur les problèmes d'interprétation des données, sur la définition des relations entre données et modèle, sur la définition des relations entre composantes d'un modèle (définition de la topologie). Cette démarche a pour but de mettre l'effort sur les opérations «géologiques» et de limiter les problèmes qui relèvent purement de la CAO. Plus on sera à même d'introduire et d'enrichir des relations entre les données et le modèle, plus on sera à même de décrire et prendre en compte des contraintes topologiques ou géologiques. La construction géométrique du modèle sera ainsi facilitée voire automatisable dans certains cas.

Le logiciel visé est un démonstrateur qui implémente la méthode définie par les géologues pour procéder à la modélisation géologique (construction géométrique et définition des objets géologiques) d'une partie du sous-sol.

3. Modèle de données

La première étape a été de constituer un modèle de données qui tenant compte de la diversité des données actuellement disponibles ainsi que de la structure du modèle géologique auquel on désire aboutir. Les principales composantes en sont : le MNT, les données de la carte géologique, les données de sondage, les observations ponctuelles, les coupes, le modèle géologique qui est composé d'interfaces de formations et de failles. Pour la géométrie de l'objet géologique, il est choisi le mode Boundary Representation (géométrie déterminée par l'ensemble des frontières).

4. Ensemble des fonctions essentielles du système

Le système doit permettre de :

- définir les caractéristiques du modèle (zone géographique, auteur, objectifs, provenance des données brutes utilisées, système de coordonnées...) ;
- acquérir et interroger des bases de données ou des fichiers correspondant à la zone géographique : extraire le modèle numérique de terrain, les informations de la carte géologique (formations, contours, failles, observations ponctuelles, données structurales), les sondages, les coupes existantes.
- visualiser les données sur des coupes, sur le MNT (Modèle Numérique de Terrain), sur des sondages, ou dans des blocs-diagrammes. Les paramètres de visualisation comme la couleur, la texture ou la transparence, doivent pouvoir être définis en fonction des attributs des données, ou de leurs relations au modèle comme l'appartenance à telle ou telle formation.
- définir les objets que l'on veut modéliser (failles, interfaces, formations), leurs relations topologiques et leurs relations géologiques. Exemple de relation topologique : l'interface I limite les formations A et B. Exemples de relations géologiques : âges relatifs des formations, relations de concordance ou discordance, relations d'intrusion.
- renseigner les données par rapport aux objets que l'on veut modéliser : relations d'appartenance, de non appartenance, de frontière. Exemple : les formations gneiss leptynique, leptynites, amphibolites de la carte géologique appartiennent au Groupe Leptyno Amphibolitique en cours de modélisation. L'intervalle «gneiss» du sondage appartient au groupe leptyno amphibolitique, l'extrémité supérieure est sur la limite de la formation.
- éditer des coupes : dans une surface donnée, le géologue construit une interprétation partielle des objets. La coupe est un support de création de la géométrie.
- créer la géométrie synthétique des failles, interfaces, formations en s'appuyant sur l'ensembles des données, des relations, et d'algorithmes de construction géométrique.
- analyser la cohérence du modèle, (cohérence avec les données brutes, cohérence des déplacements le long des failles, contrôler les caractéristiques géométriques, respect de relations topologiques, de superposition, ou d'épaisseur, ...);
- stocker le modèle dans un système d'information afin de permettre toute exploitation du modèle.

5. Scénario type de modélisation

- La première étape consiste à extraire les données correspondant à une zone donnée, puis de construire et visualiser la carte géologique projetée sur le MNT (fig. 1), et enfin à déterminer, renseigner les objets (failles, formations ou interfaces) que l'on souhaite modéliser par rapport aux informations de la carte géologique.
- La seconde étape consiste à extraire, construire et visualiser les sondages correspondant à la zone à déterminer et renseigner les formations par rapport aux informations contenues dans le sondage (fig. 2). Dans une démarche plus complète il faut également extraire, construire et visualiser les données ponctuelles (observations lithologiques et données d'orientation).

  On peut alors construire des coupes représentées par des portions de plan en tenant compte de l'ensemble des informations visualisées.
- La troisième étape consiste, sur une coupe sélectionnée, à dessiner les failles et les interfaces en s'appuyant sur les informations connues (fig. 3) :
  - l'intersection avec le MNT;
  - l'intersection avec les objets précédemment déterminés sur la carte géologique, sur les sondages et sur d'autres coupes;
  - l'interpolation des données d'orientation voisines;
  - les observations ponctuelles.
- La dernière étape sur laquelle nous travaillons actuellement consiste à construire la géométrie synthétique des objets correspondant aux subdivisions de l'espace générées par les failles et les interfaces. Le résultat représente la carte géologique 3D dans laquelle chaque formation peut être individualisée.

6. Discussion

La bibliothèque d'objets de base nécessaire à l'élaboration du démonstrateur est écrite en utilisant l'environnemen tde développement CASCADE (MatraDataVision) [2]. Le modèle de données est également traduit en termes de classes C++.

Les trois premières étapes du scénario sont développées ou en voie de finalisation. Les travaux en cours

devraient permettre d'avoir d'ici fin 1995 les outils suivants:

- Reconstruction automatique de coupes;
- Reconstruction volumique à partir d'une série de coupes quelconques dans l'espace (non planes et non parallèles) .

Une étape ultérieure consistera à construire directement le modèle 3D sans avoir besoin de compléter les coupes.

Des méthodes de construction incluant des contraintes ou règles géologiques sont également en cours de développement.

7. Conclusion

Dans l'état actuel, le scénario illustré correspond à une démarche habituelle des géologues. Les outils proposés doivent permettre de faciliter l'accès aux données et leur interprétation. Ils permettent également la construction de modèles plus fiables dans la mesure ou chaque coupe est élaborée en vérifiant la cohérence avec l'ensemble des données voisines.

Le résultat essentiel de ce travail est la *mise en place d'une méthodologie* de modélisation des objets géologiques. Des algorithmes de construction prenant en compte des contraintes géologiques plus spécifiques devraient enrichir progressivement le système tout en conservant le scénario présenté. Des applications propres à chaque domaine des Sciences de la Terre pourront également s'y greffer, sachant que la composante commune à tous ces domaines est la carte géologique 3D.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Auerbach, S., and Schaeben, H., 1990. Computer-aided geometric design of geologic surfaces and bodies. Mathematical Geology, Vol. 22, n° 8, pp. 957-987.

[2] Courrioux, G., Guillen, A., Renaud, X., Repusseau, Ph., 1995. A new approach for three-dimensionnal cartography using object-oriented technology to combine GIS and CAD, in supra.

[3] Fisher, T.R., and Wales, R.Q., 1990. Three-dimensional geologic modeling using non-uniform rational b-splines (NURBS). Freiburger goewiss. Beitr. Band 2, pp. 27-29.

[4] Halbwachs, Y., Courrioux, G., Renaud, X., Repusseau Ph., 1995. Topological and geometric characterization of fault networks using 3-dimensional generalized maps. submitted to Math. Geol.

[5] Lamboglia, K., 1993. Modélisation géométrique à base d'objets non-manifold : Thèse, Université de Nancy I, France, 140 p.

[6] Mallet, J.L., 1989. Discrete smooth interpolation: ACM Transactions on Graphics, v.8, no. 2, p. 121-144.

[7] Pflug; R., Klein, H., Ramshorn, CH., and Genter, M., 1990. Modeling and visualizing geologic structures. Freiburger goewiss. Beitr. Band 2. p.76

[8] Renard, Ph., and Courrioux, G., 1994. Three-dimensional geometric modeling of a faulted domain : the Soultz horst example (Alsace, France) : Computers and Geosciences Vol. 20, No 9, pp. 1379-1390.

[9] Siehl, A., Rüber, O., Valdivia-Manchego, M., Klaff., J., 1992. Geologocical maps derived from interactive spatial modeling. Geol. Jb. pp. 273-289.

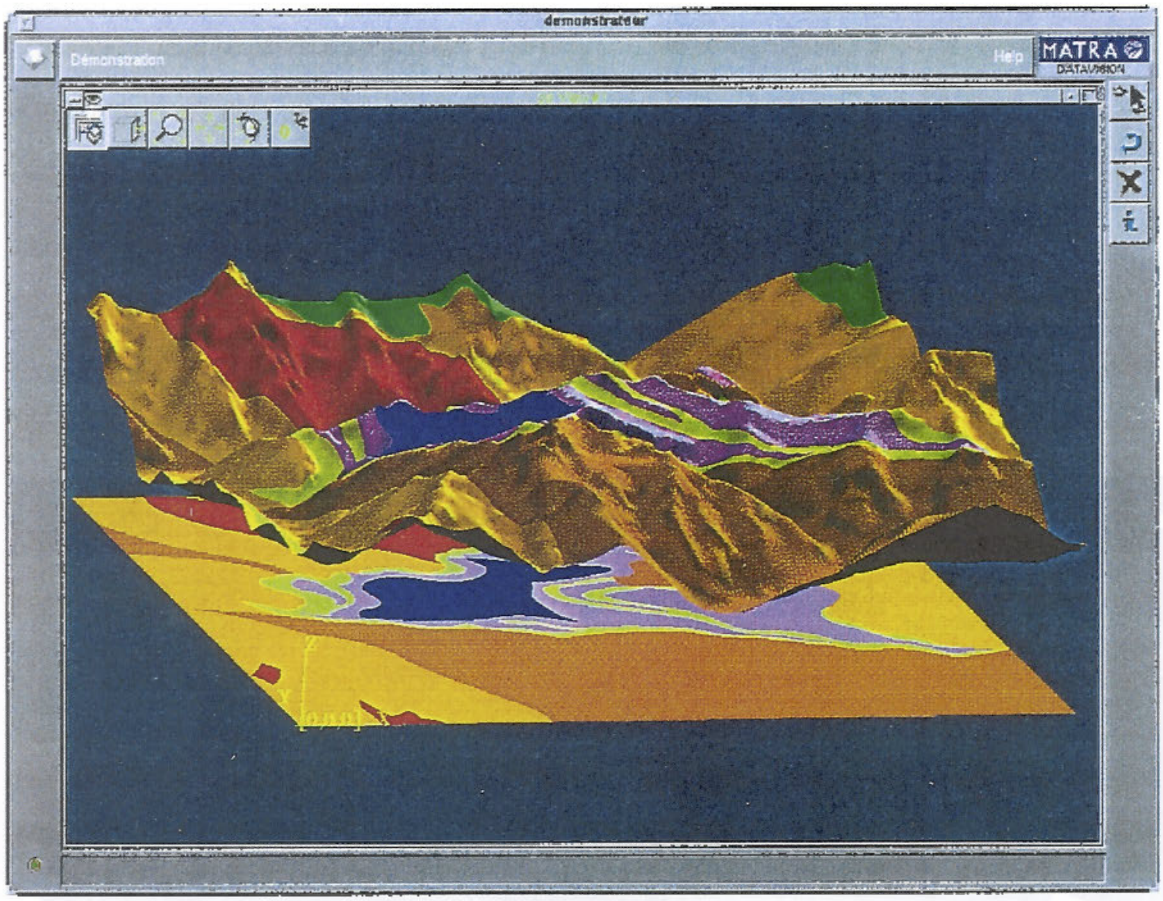

Figure 1

Formations géologiques projetées sur le MNT. Chaque formation est une surface individualisée.

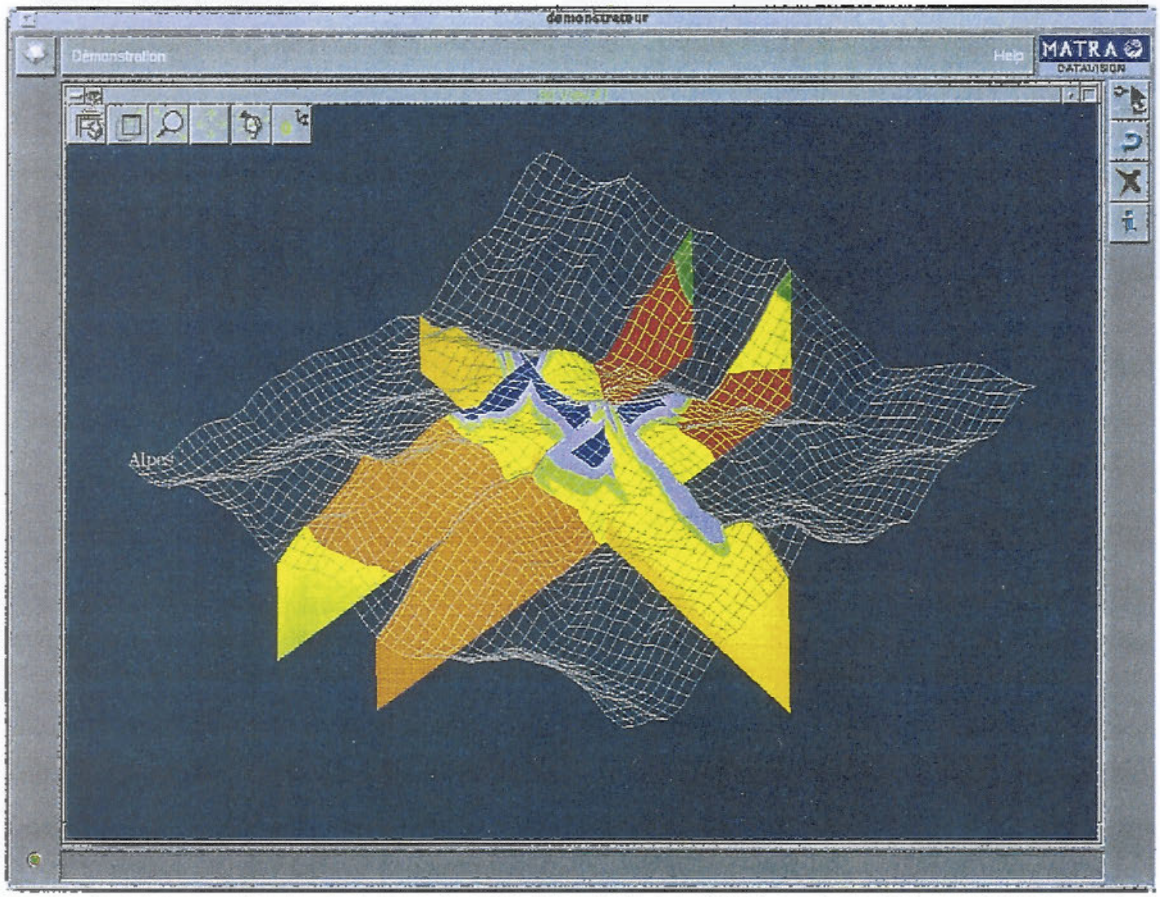

Figure 2

Choix de plans de coupe.

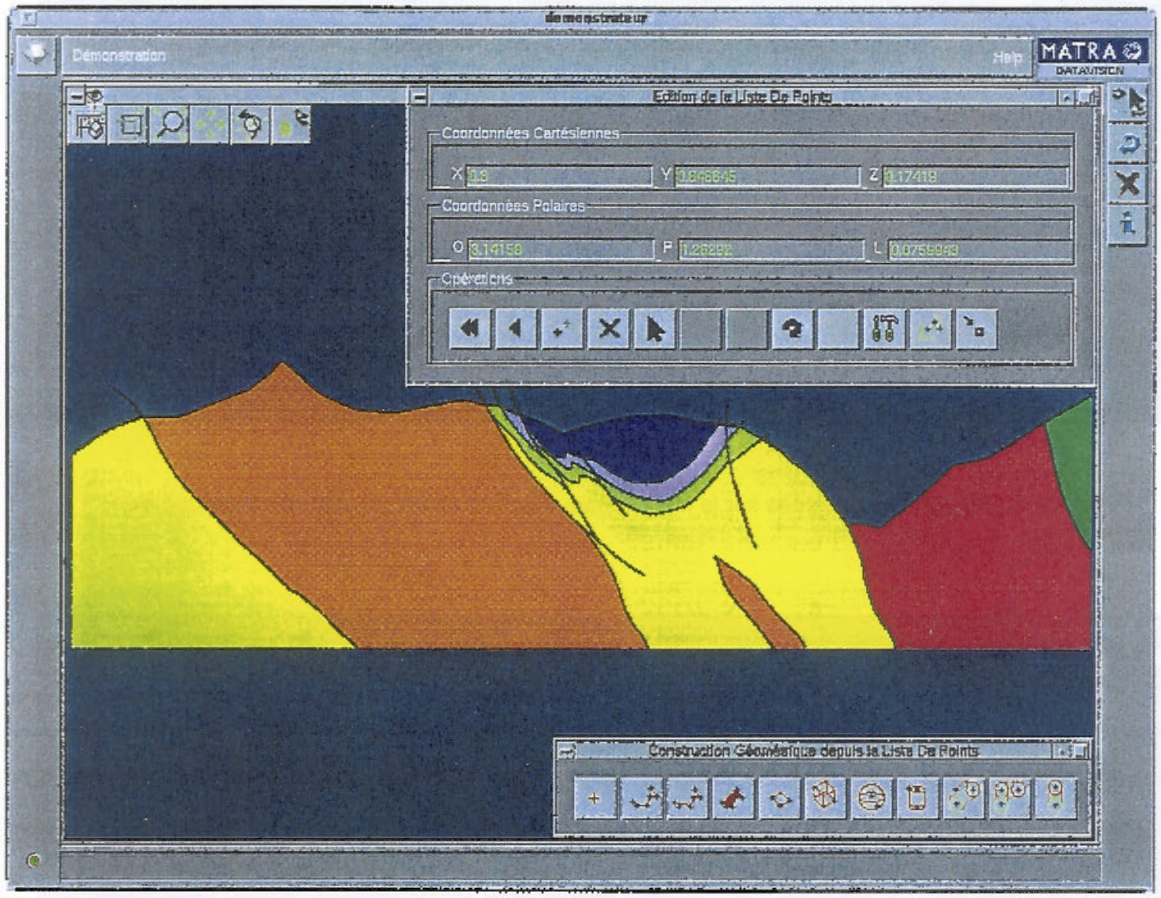

Figure 3

Représentation de l'éditeur de coupe du démonstrateur illustrant les données projetées.