

TROIS EXEMPLES D'ADAPTATION D'UN MODÈLE GÉNÉRIQUE DE DÉFORMATION EN GÉNÉRALISATION CARTOGRAPHIQUE

par Julien Gaffuri

Institut géographique national – laboratoire COGIT – Université Paris-Est
73 avenue de Paris – 94165 Saint-Mandé Cedex
Courriel : Julien.Gaffuri@ign.fr

De nombreux modèles de généralisation de données géographiques ont contribué à améliorer l'automatisation de ce processus particulièrement complexe. Ce papier s'intéresse au modèle à base d'agents GAEL, qui fournit un moyen générique d'effectuer des déformations continues d'objets. Le principe de ce modèle de déformation est de rendre les objets déformables en les décomposant en petits objets contraints (segments, triangles, etc.), la déformation étant obtenue en équilibrant ces contraintes. En fonction du choix de ces contraintes, un objet peut se déformer de différentes façons. Cet article illustre comment le modèle peut être adapté à trois opérations de généralisation : l'équarrissage de bâtiment, le déplacement de courbes de niveau et le déplacement de bâtiment. Nous discuterons ensuite les notions de généricité et de facilité d'adaptation des modèles de généralisation, et proposerons des points méthodologiques pour améliorer ces caractéristiques importantes des modèles de généralisation.

Introduction

La généralisation est l'opération de simplification effectuée sur des données géographiques lorsque leur échelle de représentation diminue. Le traitement de cette opération est un problème particulièrement important pour les producteurs de données. De nombreux travaux de recherche ont été menés pour automatiser le processus à partir de données vectorielles. Une partie de ces travaux traite de la conception de modèles de généralisation. Un modèle de généralisation fournit un cadre général pouvant être adapté à différents processus de généralisation. Idéalement, les modèles de généralisation doivent être génériques afin d'être adaptés à un ensemble le plus large possible de problèmes de généralisation. Ces problèmes dépendent des données initiales (nature des objets, niveau de détail, etc.) et de l'état attendu des données cible, en fonction des besoins de l'utilisateur des données généralisées (niveau de simplification, échelle de représentation, etc.). Dans la plupart des modèles de généralisation, les besoins sont traduits sous forme de contraintes (Beard 1991) qui décrivent l'état souhaité des données après généralisation. Ces contraintes sont usuellement utilisées pour guider le processus de généralisation, ce processus ayant pour but de les satisfaire 'au mieux'. Parmi les modèles de généralisation existants, nous pouvons faire une distinction entre deux approches.

Certains modèles considèrent le processus de généralisation comme un processus discret local : les données en entrée sont transformées à l'aide de plusieurs opérations discrètes appliquées localement sur les données. Ware et Jones (1998) proposent, par exemple, d'utiliser le recuit simulé pour contrôler le déclenchement de transformations discrètes sur les données. Ruas et Duchêne (2007) utilisent des techniques à base d'agents pour résoudre des conflits locaux. D'autres modèles de généralisation considèrent plutôt le processus de généralisation comme un processus continu global : les données en entrée sont transformées en utilisant une unique opération globale de déformation des données. Par exemple, Sester (2000) et Harrie (2001) proposent un modèle utilisant un ajustement par moindres carrés pour calculer une déformation des données. D'autres travaux utilisent la méthode des éléments finis (Højholt 2000 ; Bader 2001).

Dans cet article, nous nous intéressons au modèle de généralisation GAEL proposé par Gaffuri (2008). Ce modèle de généralisation utilise des techniques issues des systèmes multi-agents pour déclencher des déformations de champs pendant le processus de généralisation des objets discrets de Ruas et Duchêne (2007). Parmi d'autres fonctionnalités, le modèle GAEL fournit un moyen générique d'obtenir des déformations d'objets pendant le pro-

cessus de généralisation. Cet article s'intéresse à la généralité et au degré d'adaptabilité de ce modèle. Nous présentons trois applications pour des opérations de généralisation spécifiques afin de donner un aperçu de la généralité du modèle et de la façon de l'adapter. Enfin, nous proposons une discussion sur la généralité et l'adaptabilité des modèles de généralisation.

Le modèle GAEL

Le modèle GAEL (Généralisation à base d'Agents Élastiques) a été conçu, entre autres, pour déformer des objets en généralisation cartographique (Gaffuri 2008). Les figures 1a, 1b et 1c donnent un exemple d'une telle opération. La figure 1a représente un objet dans son état initial. Après symbolisation (fig. 1b), nous supposons que deux conflits cartographiques apparaissent : l'objet intersecte un autre objet gris au dessus de lui, et une partie de l'objet est illisible car trop fine. Le résultat de la déformation représenté en figure 1c permet de résoudre ces conflits : l'objet a été déformé afin d'éviter l'intersection et d'élargir la partie trop fine. Nous présentons les trois principes du modèle GAEL qui permettent d'obtenir un tel résultat :

1 Décomposition de l'objet (fig. 1d) : l'objet à déformer est décomposé en petites parties (points, segments, triangles, angles, etc.), appelées *objets submicro*. Un objet submicro est un petit nombre de points, dont la position relative peut être contrainte.

2 Utilisation de contraintes : un objet submicro porte des contraintes sur certaines de ses caractéristiques. Par exemple, la longueur d'un segment, l'aire d'un triangle, la position d'un point, etc., peuvent être contraintes. Chaque contrainte est caractérisée par une valeur d'importance, qui traduit l'importance relative de satisfaire cette contrainte. Une contrainte submicro est dite *de préservation* lorsqu'elle contraint son objet submicro à ne pas changer ; elle est dite *de changement* lorsqu'elle contraint son objet submicro à changer. Ces contraintes sont affectées aux objets submicro en fonction de l'objectif de l'opération de déformation. Par exemple, pour notre problème, nous choisissons de contraindre les deux points intersection de l'objet à s'écarter de l'objet gris (les autres sont contraints à garder leur position initiale) et les deux triangles de la partie trop fine à grossir (les autres triangles sont contraints à garder leur aire). Dans l'état initial (fig. 1e), les contraintes de préservation sont parfaitement satisfaites alors que celles de changement sont violées. La déformation est obtenue en déplaçant les points pour équilibrer ces contraintes.

3 Déplacement des points : afin d'obtenir un équilibre entre contraintes de préservation et de changement, les points de l'objet sont déplacés progressivement. Chaque point est modélisé comme un agent : il essaie de se déplacer de façon autonome jusqu'à l'obtention d'une position d'équilibre entre ses contraintes. Les contraintes d'un point sont celles des objets submicro auxquels il appartient. Cette position d'équilibre est celle qui homogénéise les violations des contraintes submicro (fig. 1f). Cet équilibre est pondéré par les valeurs d'importance des contraintes (pour plus de détail, cf. Gaffuri 2008)). Le résultat des déplacements des points est une déformation de l'objet qui permet de résoudre les conflits (fig. 1c).

Le modèle GAEL s'appuie sur le modèle de données de la figure 2. Les objets ont la capacité de devenir déformables à travers l'opération *déformer()*. Cette méthode déclenche la décomposition de l'objet en objets submicro contraints, puis le déplacement des points. La déformation obtenue dépend des objets submicro considérés et de leurs contraintes : différentes déformations peuvent être réalisées. Plusieurs contraintes ont été développées : longueur et orientation de segment, aire de triangle, orientation de pente de triangle, distance minimale entre point et segment, etc. La conception orientée objet du modèle permet de réutiliser facilement ces objets submicro et leurs contraintes dans de nombreux cas d'application. Aussi, de nouveaux types d'objets submicro et de contraintes, pour des besoins spécifiques, peuvent être ajoutés. La façon de choisir et concevoir les contraintes submicro pour un but donné est détaillée dans (Gaffuri 2008).

Le modèle de déformation présenté précédemment est utilisé pour déclencher des déformations de champs (Gaffuri et al. 2008). Il permet d'assurer une cohérence entre champs (relief, occupation du sol, etc.) et objets géographiques (bâtiments, routes, cours d'eau, etc.) pendant le processus de généralisation des objets géographiques. Dans les parties suivantes, trois autres exemples illustrent la façon dont ce modèle peut être réutilisé et adapté pour d'autres opérations de déformation en généralisation cartographique. Pour chacun des cas, nous présentons l'opération de généralisation considérée, puis les contraintes submicro utilisées pour l'automatiser.

Première application : équarrissage de bâtiment

Les bâtiments et beaucoup d'autres objets géographiques construits par l'homme ont souvent des angles droits. Une opération de simplification bien

connue en généralisation est l'opération d'équarrissage de bâtiment. Cette opération consiste en une transformation des angles presque droits en angles parfaitement droits (fig. 3a, 3b et 3c) en pivotant légèrement les murs du bâtiment. Airault (1996) propose un algorithme pour automatiser cette opération. Nous présentons comment le modèle GAEL peut être utilisé simplement pour effectuer cette opération. Le principe de l'opération est de rendre chaque bâtiment déformable, et de contraindre certaines de ses orientations de segments afin de les inciter à pivoter et de rendre les angles presque droits parfaitement droits.

Chaque bâtiment devient déformable en décomposant son contour en une chaîne de segments (fig. 3d). Les longueurs des segments sont contraintes à être préservées. Les orientations des segments sont contraintes également, mais pas toujours, à être préservées : les segments sont contraints à pivoter autour de leur centre jusqu'à une certaine orientation but. Cette orientation but est calculée en utilisant la mesure d'orientation moyenne des murs proposée par Duchêne et al. (2003). Cette mesure donne une valeur représentative de l'orientation moyenne majoritaire des murs du bâtiment, dans l'intervalle $[0, \pi/2]$. Cette orientation peut être représentée par une croix sur chaque bâtiment (fig. 4). La valeur d'orientation des murs de chaque bâtiment est utilisée pour contraindre les orientations des segments : les segments dont l'orientation modulo $\pi/2$ est proche (plus ou moins un seuil de 15°) de cette valeur sont contraints à pivoter vers cette orientation. Les autres segments sont contraints à garder leur orientation initiale (fig. 3e).

Dans l'état initial, lorsque des angles ne sont pas parfaitement droits, les contraintes d'orientation de segment ne sont pas satisfaites (fig. 3e). Après activation, les points se sont déplacés afin d'obtenir de légères rotations des murs et réaliser leur orientation but (fig. 3f). En conséquence, de nombreux angles presque droits ont été rendus parfaitement droits (fig. 3c). La figure 5 donne quelques résultats de cette opération sur des bâtiments issus de la BDTopo de l'IGN.

Deuxième application : déplacement de courbe de niveau

Lorsque le relief est représenté sous forme de courbes de niveau, les symboles de ces courbes peuvent s'intersecter (fig. 6a et 6b). Ce conflit cartographique apparaît dans les zones de forte pente, en particulier lorsque la valeur d'équidistance des courbes est trop faible. Pour résoudre ce conflit, une opération consiste en une légère déformation des

courbes de niveau afin de rendre l'écart entre deux courbes de niveau successives suffisamment grand, tout en préservant la forme générale du relief (Imhof 1982) comme représenté figure 6c. Dans cette partie, nous présentons l'utilisation du modèle GAEL pour automatiser cette opération.

Le relief est tout d'abord décomposé en une triangulation de Delaunay contrainte par les segments des courbes de niveau (fig. 6d). Les contraintes submicro utilisées sont les suivantes : des contraintes de préservation de longueur et d'orientation sont instanciées sur les segments de courbes de niveau, des contraintes de préservation d'aire sur les triangles, et des contraintes de préservation de position sur les points. Toutes ces contraintes sont des contraintes de préservation. Afin de contraindre les conflits de superposition à être résolus, nous utilisons une nouvelle contrainte submicro présentée en figure 7 : cette contrainte porte sur un triangle ; son effet est d'inciter la distance entre un point d'une courbe de niveau et un segment d'une autre courbe de niveau à être suffisamment éloignés l'un de l'autre. La distance cible entre eux est la largeur du symbole de courbe de niveau (environ 0.15mm).

Dans l'état initial, les contraintes de changement des triangles sont violées dans les zones pentues où apparaissent les conflits cartographiques (fig. 6e). Après activation des points, certains points se sont déplacés, les contraintes ont été homogénéisées dans les zones pentues (fig. 6f), et les conflits résolus (fig. 6c). Un résultat obtenu sur des données de la BDAlti de l'IGN est présenté en figure 8. Précisons que cette opération n'est pas toujours adaptée pour résoudre ce genre de conflit, en particulier lorsque le terrain est vraiment trop pentu. Dans ces cas, un changement d'équidistance des courbes ou la suppression de parties de courbes de niveau comme proposé par Mackaness et Steven (2006) est plus pertinent.

Troisième application : déplacement de bâtiment

La dernière application présentée concerne l'opération de déplacement de bâtiment. L'objectif de cette opération bien connue est de résoudre des conflits de proximité apparaissant dans les îlots urbains en déplaçant leurs bâtiments. Les figures 9a, 9b et 9c donnent un exemple d'une telle opération. De nombreux algorithmes ont été proposés pour l'automatisation de cette opération (Ruas 1998 ; Ware et Jones 1998 ; Bader 2001 ; Ai 2003).

Le modèle GAEL peut être appliqué à cette opération. La décomposition utilisée est une triangulation

de Delaunay des centres des bâtiments et de leur projection sur les routes de l'îlot (fig. 9d), identique à celle proposée par Ruas (1998). Les contraintes de préservation utilisées pour cette application concernent seulement la longueur et l'orientation des segments – les points composant les routes de l'îlot sont fixes (fig. 9e). Afin de résoudre les conflits de proximité éventuels, nous utilisons une nouvelle contrainte submicro de segment, présentée en figure 10 : le segment liant deux objets trop proches (des bâtiments ou des routes) est contraint de s'allonger pour minimiser la surface de 'collision' entre eux (représentée en rouge). Lorsque cette surface est nulle, la contrainte incite à la préservation de la longueur du segment.

Le résultat après déplacement des points donnés en figures 9f et 9c montre que les conflits de proximité ont été résolus. Nous précisons que les bâtiments placés au centre de l'îlot sont déplacés, même s'ils n'interviennent dans aucun conflit : ce déplacement permet une préservation des positions relatives entre bâtiments voisins. La figure 11 donne un autre résultat de cette opération sur des données BDTopo de l'IGN.

Discussion et conclusion

Dans cet article, nous avons présenté trois applications du modèle de généralisation GAEL. Nous avons montré comment une réutilisation de composants existants (les contraintes submicro) permet de traiter de nouveaux problèmes de généralisation. Nous avons présenté comment la conception de deux nouvelles contraintes submicro (une de triangle pour l'opération de déplacement de courbe de niveau, une autre de segment pour l'opération de déplacement de bâtiment) permet d'élargir le champ d'application du modèle. Ce travail permet d'illustrer deux caractéristiques importantes des modèles de généralisation :

La généralité : en tant que modèle, un modèle de généralisation doit être applicable à un ensemble le plus large possible d'instances de problème. Dans le cas de la généralisation, l'ensemble des problèmes dépend du type de données à traiter et des besoins de l'utilisateur des données généralisées. Sachant qu'il n'est pas possible de lister exhaustivement et précisément toutes les applications possibles, le niveau de généralité d'un modèle de généralisation est impossible à mesurer. Usuellement, la conception d'un modèle de généralisation est motivée par un problème spécifique à résoudre. Le modèle conçu est supposé adaptable à un ensemble, plus ou moins grand, de cas présentant les mêmes caractéris-

tiques : des modèles de généralisation peuvent être mieux adaptés à certains types de données (objets surfaciques, réseaux, petits objets, données topographiques ou thématiques, etc.), à certains changements d'échelle (du 1:10k au 1:15k, du 1:10k au 1:250k, etc.), ou à des besoins particuliers (cartes pour malvoyants, cartes de randonnées, etc.). Par exemple, Bader (2001) propose une adaptation de la structure de mécanique des solides des poutres élastiques à la généralisation de réseaux routiers ; ce modèle a été adapté avec succès à la généralisation de bâtiments pour les faibles changements d'échelle, et pourrait certainement être encore adapté à d'autres problèmes de généralisation. Un modèle de généralisation parfaitement générique est certainement impossible à concevoir. Un tel modèle aurait certainement à faire face à un « effet couteau suisse », un effet qui fait référence à la possibilité de faire beaucoup de choses, mais de façon peu performante, comme c'est le cas d'un couteau suisse. Nous pensons que le niveau de généralité des modèles pourrait être amélioré, non pas en cherchant à concevoir des modèles toujours plus complexes, mais plutôt en combinant les forces de modèles déjà existants (Duchêne et Gaffuri 2008 ; Touya 2008).

La facilité d'adaptation : cet article présente des exemples d'adaptation d'un modèle de généralisation existant. La facilité d'adaptation d'un modèle de généralisation est une caractéristique importante : si un modèle est trop fermé et difficile à adapter pour de nouvelles applications, sa généralité est inutile. Nous pensons qu'une conception orientée objet (voire orientée agent) des modèles aide à améliorer leur degré d'adaptabilité. Comme il a été présenté dans cet article, la conception du modèle GAEL sous la forme d'un ensemble de composants indépendants permet de disposer d'une bibliothèque de composants réutilisables. Certaines contraintes submicro ont, par exemple, été directement réutilisées pour les trois applications présentées. Comme il a été proposé dans la présentation du modèle de généralisation du projet AGENT (Ruas 1999), nous pensons que les grands types de composants les plus utiles sont les algorithmes, les méthodes d'enrichissement de données, les contraintes et les moteurs d'orchestration. Tous ces composants peuvent être conçus plus ou moins indépendamment les uns des autres. Un utilisateur du modèle de généralisation peut alors les réutiliser simplement à travers une sorte « d'API de généralisation » pour construire son propre processus de généralisation adapté à sa ligne de production de données généralisées. En fonction de ses connaissances du modèle, il peut également concevoir les composants éventuellement manquants pour son besoin, composants qui viennent enrichir la

bibliothèque de composants et peuvent, à leur tour, être utilisés par d'autres.

Généricité et facilité d'adaptation ne sont pas toujours considérées dans les présentations de modèles de généralisation. Des logiciels de généralisation du marché ont été testés et évalués dans le cadre du projet EuroSDR (Burghardt et al. 2007). La généralité a été l'une des caractéristiques évaluées pour ces

logiciels (ils ont été testés sur différents types de données : urbaines, montagneuses et côtières). La facilité d'adaptation a également été évaluée en prenant en compte différents types d'utilisateurs (novice et expert). Nous pensons que ce travail permet de mieux étudier les limites en termes de généralité et de facilité d'adaptation de systèmes de généralisation existants, afin de progresser vers des modèles de généralisation toujours plus efficaces.

Bibliographie

- Airault S.**, 1996, « De la base de données à la carte : une approche globale pour l'équarrissage de bâtiment », *Revue internationale de géomatique*, 6(2-3), p. 203-217.
- Bader M.**, 2001, *Energy minimization methods for feature displacement in map generalisation*. Thèse de doctorat, Université de Zurich, Département de géographie.
- Beard K.**, 1991, "Constraints on rule formation", dans B. Buttenfield et R. McMaster (ed.), *Map generalisation: making rules for knowledge representation*, p. 121-135. Longman Scientific and Technical.
- Burghardt D. et al.**, 2007, "Methodologies for the evaluation of generalised data derived with commercial available generalisation systems", dans *Workshop on Generalisation and Multiple Representation*.
- Duchêne C. et al.**, 2003, "Quantitative and qualitative description of building orientation", dans *Fifth workshop on progress in automated map generalisation*, Paris.
- Duchêne C et Gaffuri J.**, 2008, « Combining Three Multi-agent Based Generalisation Models: AGENT, CartACom and GAEL », dans A. Ruas et C. Gold (ed.), *Headway in Spatial Data Handling*, p. 277-296.
- Gaffuri J. et al.**, 2008, "Object-field relationships modelling in an agent-based generalisation model", dans *ICA workshop on generalisation and multiple representation*, Montpellier.
- Gaffuri J.**, 2008, *Généralisation automatique pour la prise en compte de thèmes champs : le modèle GAEL*. Thèse de doctorat en sciences de l'information géographique, Université Paris-Est.
- Harrie L.**, 2001, *An optimisation of approach to cartographic generalisation*. Thèse de doctorat, Université de Lund, Lund institute of technology, department technology and society.
- Højholt P.**, 2000, "Solving space conflicts in map generalisation: using a finite element method", *Cartography and Geographic Information Science*, 27(1), p. 65-74.
- Imhof E.**, 1982, "Generalisation of contours", dans *Cartographic relief representation*, chap. C, p. 126-139. ESRI Press.
- Mackness W.A. et Steven M.**, 2006, "An Algorithm for Localised Contour Removal over Steep Terrain", *The Cartographic Journal*, 43(2), p.144-156.
- Ruas A.**, 1998, "A method for building displacement in automated map generalisation", *International Journal of Geographical Information Science*, 12(8), p. 789-803.
- Ruas A.**, 1999, *Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie*. Thèse de doctorat en sciences de l'information géographique, Université Paris-Est.
- Ruas A. et Duchêne C.**, 2007), "A prototype generalisation system based on the multi-agent system paradigm", dans W. A. Mackness, A. Ruas, et L. T. Sarjakoski (ed.), *Generalisation of Geographic information: cartographic modelling and applications*, chap. 14, p. 269-284. Elsevier.
- Sester M.**, 2000, "Generalization based on least square adjustment", *International archives of photogrammetry and remote sensing*, 23, part B4, p. 931-938.
- Touya G.**, 2008, "First thoughts for the orchestration of generalisation methods on heterogeneous landscapes", dans *Workshop on generalisation and multiple representation*, Montpellier.
- Ware M.J. et Jones C.B.**, 1998, « Conflict Reduction in Map Generalization Using Iterative Improvement », *Geoinformatica*, 2(4), p. 383-407.

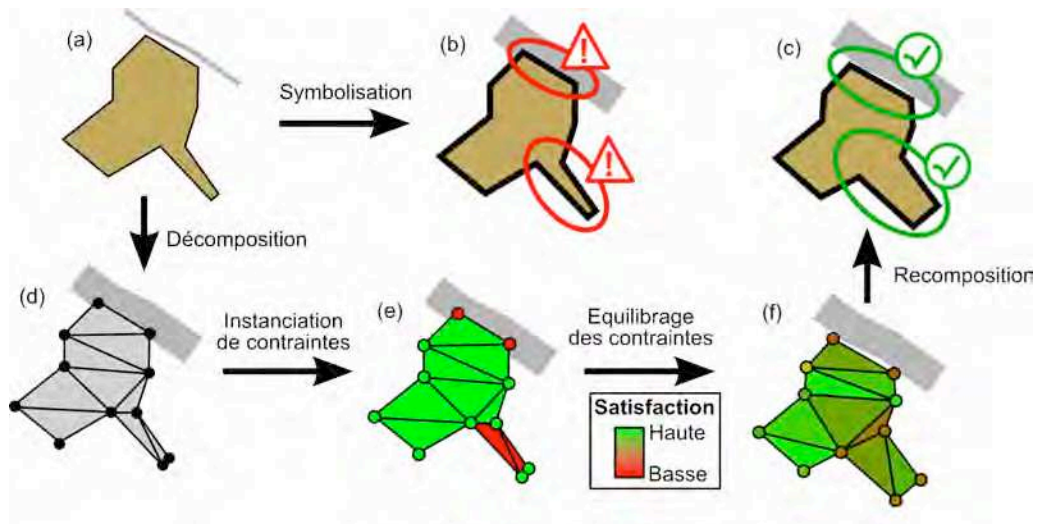


Figure 1 : Déformation dans le modèle GAEL

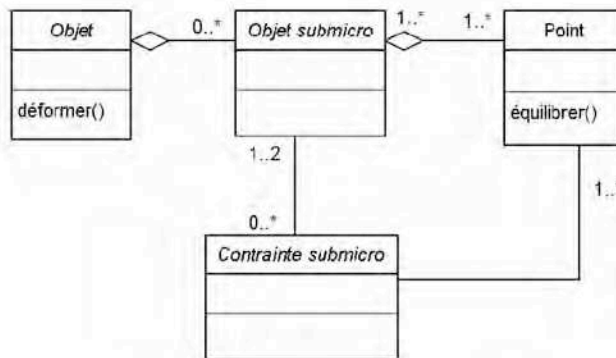


Figure 2 : Le modèle de données UML

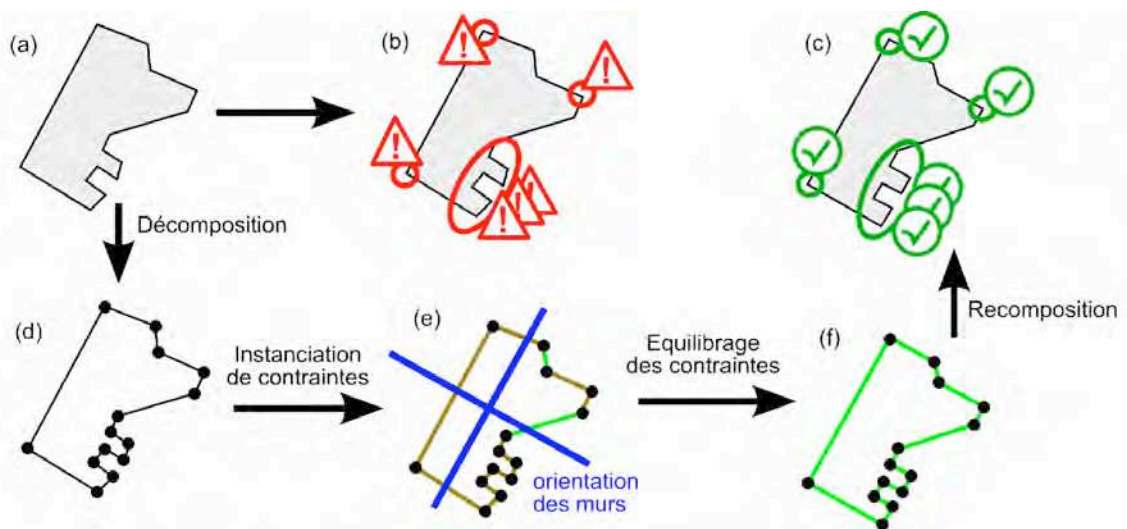


Figure 3 : L'opération d'équarrissage de bâtiment

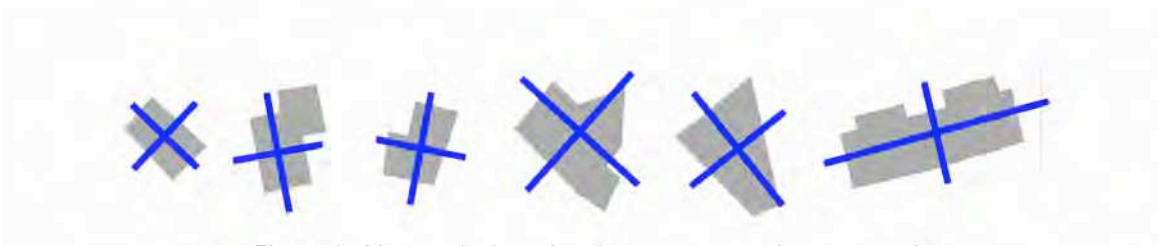


Figure 4 : Mesure d'orientation des murs sur quelques exemples

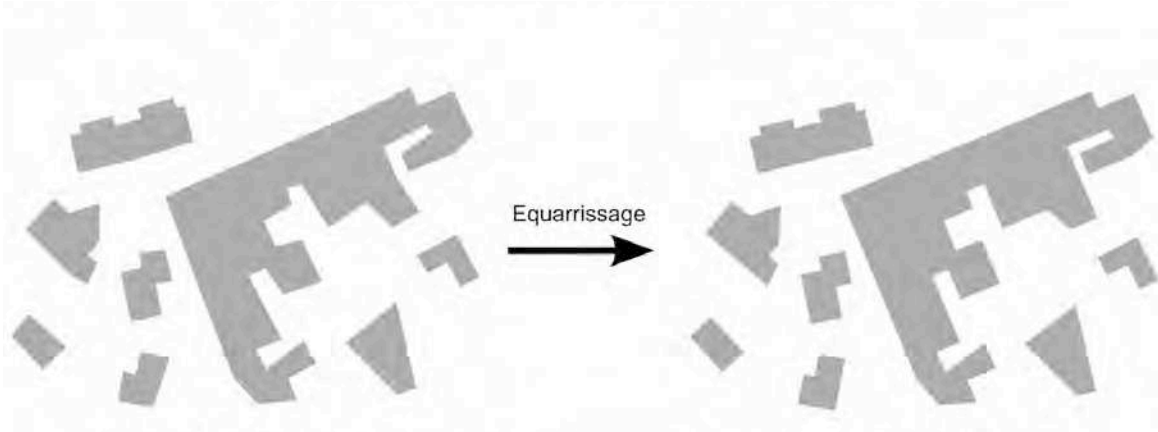


Figure 5 : Résultats de l'opération d'équarrissage sur des bâtiments de la BDTopo

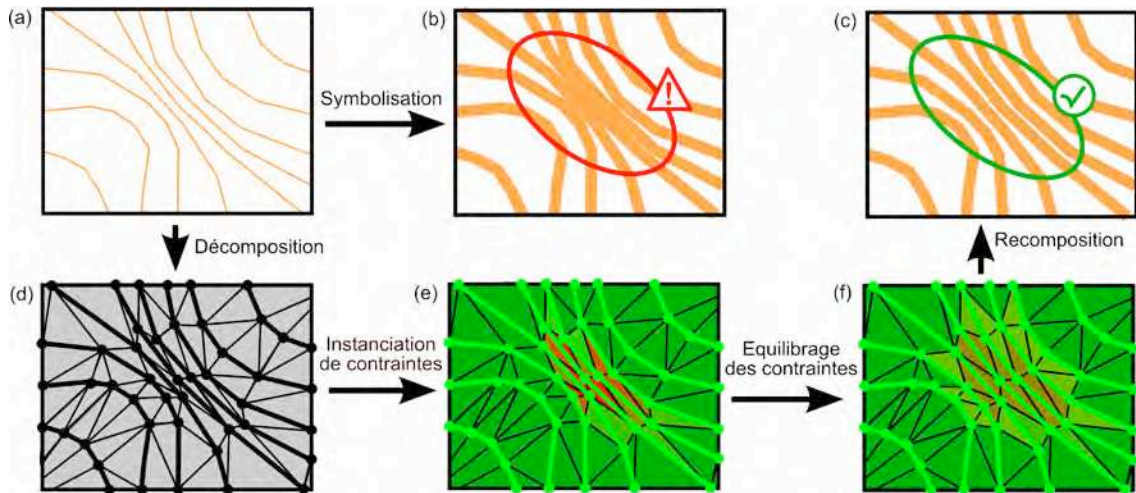


Figure 6 : Opération de déplacement de courbe de niveau



Figure 7 : Contrainte de distance minimale entre point et segment de courbe de niveau

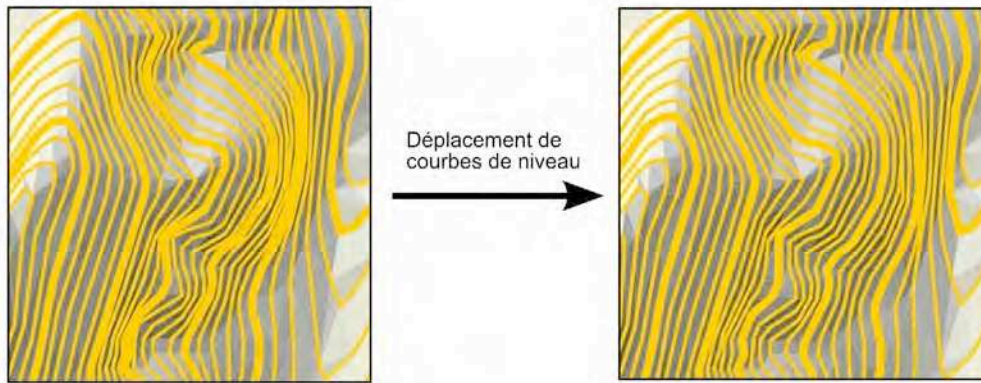


Figure 8 : Résultat de l'opération de déplacement de courbe de niveau sur des données de la BDAIti

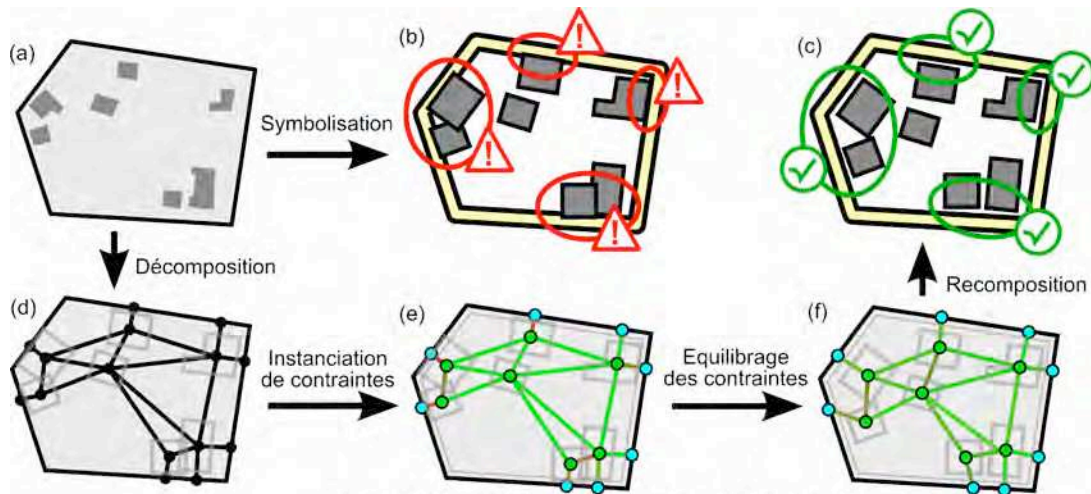


Figure 9 : Opération de déplacement de bâtiment

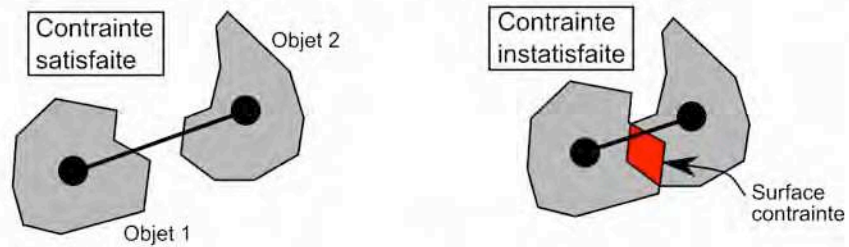


Figure 10 : Contrainte submicro de segment de non intersection



Figure 11 : Résultat de l'opération de déplacement de bâtiments sur des données BDTopo