**Généralisation cartographique des étendues et des cours d’eau du 1:50000 au 1:250000**

**Michel Pothier**

**Mai 2018**

[***https://github.com/MichelPothier/GeneralisationCartographique***](https://github.com/MichelPothier/GeneralisationCartographique)

**Introduction**

**Données spatiales à Ressources Naturelles Canada (RNCAN)**

**Catalogue des données spatiales**

Information pour les données spatiales

|  |
| --- |
| Exemple d’un outil pour afficher l’information contenue dans un catalogue de données spatiales |
|  |

**Découpage cartographique**

|  |  |
| --- | --- |
| Découpage cartographique au 1:50000 | Découpage cartographique au 1:250000 |
|  |  |

**Carte topographique**

|  |  |
| --- | --- |
| Image de la carte topographique au 1:50000 | Image de la carte topographique au 1:250000 |
|  |  |

**Base de données géographique (BDG)**

Données spatiales dans la BDG

|  |  |
| --- | --- |
| Données de la BDG au 1:50000 | Données de la BDG généralisées au 1:250000 |
|  |  |

Statistiques des données spatiales de la BDG

|  |
| --- |
| Statistiques d’éléments et de sommets pour chaque classe d’entité de la BDG |
|  |

Modèle de données spatiales dans la BDG

|  |  |
| --- | --- |
| Modèle de données pour les cours d’eau.  Classe : **nhn\_hnet\_Network\_Linear\_Flow\_1** | Modèle de données pour les étendues d’eau.  Classe : **nhn\_hhyd\_Waterbody\_** |
|  |  |

Échelle de représentation des données spatiales dans la BDG

|  |  |
| --- | --- |
| Échelle de représentation différente entre les provinces. Exemple : On retrouve un cours d’eau (ligne) en Ontario versus une étendue d’eau (surface) au Québec pour le même phénomène. | Échelle de représentation différente entre les provinces. Exemple : On retrouve beaucoup plus d’entités représentées en Colombie Britannique par rapport à l’Alberta. |
|  |  |

**Étendue d’eau**

|  |  |
| --- | --- |
| Étendue d’eau de la BDG au 1:50000 | Étendue d’eau de la BDG généralisé au 1:250000 |
|  |  |

**Cours d’eau**

|  |  |
| --- | --- |
| Cours d’eau de la BDG au 1:50000 | Cours d’eau de la BDG généralisé au 1:250000 |
|  |  |

**Représentation cartographique**

**Entité**

**Classe**

**Élément**

* Code
* Attribut
* Entier
* Réelle
* Texte

**Géométrie**

* Polygone
* Anneau extérieur
* Anneau intérieur
* Polyligne
* Ligne
* Droite
* Sommet
* MultiPoint
* Point

**Contraintes d’intégrité attributive**

|  |
| --- |
| Table des contraintes attributives : BDG\_DBA.CONTRAINTE\_INTEGRITE\_SQL |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple de contraintes attributives pour valider les domaines de valeur |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple de contraintes attributives pour valider les expressions régulières |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple de contraintes attributives pour valider les valeurs contenues dans une autre table |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple d’un rapport d’erreurs pour les contraintes attributives pour tout le contenu de la BDG |
|  |

**Contraintes d’intégrité spatiale**

|  |
| --- |
| Table des contraintes spatiales : BDG\_DBA.CONTRAINTE\_INTEGRITE\_SPATIALE |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple des contraintes d’intégrité spatiale |
|  |

|  |
| --- |
| Exemple d’un rapport d’erreurs pour le découpage SNRC **016D11** suite au travail **RHN\_ANOM2\_BDG** |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| Statistiques pour le nombre d’erreurs par contrainte spatiale | Statistiques pour le nombre d’erreurs par identifiant, par table et par contrainte spatiale |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Statistiques d’erreurs de surabondance des sommets pour les cours d’eau. | Statistiques d’erreurs d’ajustement des données entre les découpages pour les cours d’eau. |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Statistiques d’erreurs de surabondance des sommets pour les étendues d’eau. | Statistiques d’erreurs d’ajustement des données entre les découpages pour les étendues d’eau. |
|  |  |

**Référence spatiale**

La référence spatiale est une information très importante pour les données spatiales puisqu’elle détermine dans quel système de coordonnées les données spatiales sont conservées physiquement dans les bases de données et dans quel système de coordonnées elles sont traitées. Il y a une multitude de références spatiales qui offre chacune leurs avantages et inconvénients. Elles sont regroupées sous deux types, les références spatiales géographiques et les projetées, mais tous possèdent des paramètres communs importants comme la précision et la résolution.

Dans un monde idéal, tous les traitements des données spatiales devraient être réalisés dans le même système de coordonnées que celui dans lequel les données spatiales se retrouvent physiquement dans les bases de données. Pour diverses raisons techniques et autres, ce n’est pas toujours le cas. Par exemple, il est impossible techniquement de conserver les données spatiales du Canada dans une base de données avec la projection UTM (Universelle Transverse Mercator) puisque par définition la projection UTM contient plusieurs projections différentes pour l’ensemble du Canada, soit une pour chaque zone UTM. On ne peut non plus traiter l’ensemble des données du Canada dans une projection UTM en raison de la trop grande imprécision et distorsion. On peut seulement traiter l’ensemble des données du Canada par zone UTM.

Pour avoir une intégration parfaite entre les données spatiales, toutes les classes spatiales doivent posséder les mêmes références spatiales, les mêmes étendues et les mêmes résolutions.

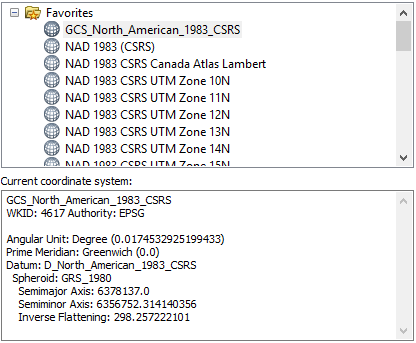
**Précision et résolution de la référence spatiale**

Pour diverses raisons techniques, la précision est une caractéristique importante dans une référence spatiale car elle permet d’indiquer quand une valeur A est la même qu’une valeur B même si physiquement elles sont différentes (Exemples : 0.1234=0.1236 si la précision est 0.001 et 0.1234<>0.1236 si la précision est 0.0001).

Il est facile de confondre la précision de la référence spatiale, la résolution de la référence spatiale et la précision des données spatiales. La résolution spatiale est la capacité physique de conserver une valeur selon l’étendue couverte et le type de valeur (entier, réelle, simple ou double). La précision des données fait référence à la qualité des données. On calcul ou on estime la précision des données spatiales. On peut dire par exemple qu’on estime à 95% du temps qu’une position X, Y est précis à 5 mètres. Par défaut, la précision de la référence spatiale est la même celle de la résolution de la référence spatiale mais elle peut être plus grande.

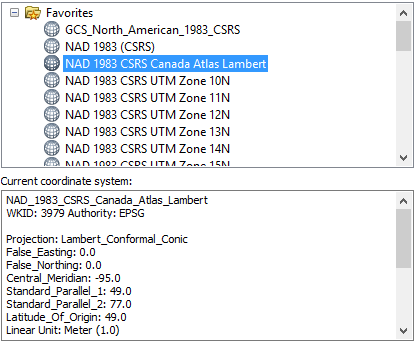
**Référence spatiale géographique**

Les références spatiales géographiques sont les plus fidèles façons de représenter la terre puisqu’elles utilisent des angles dans un monde 3D. La particularité des références spatiales géographiques est que le système de coordonnée est présenté sous la forme latitude, longitude dont l’unité de mesure est en degrés. Dans la BDG, puisque les données spatiales sont découpées selon le SNRC (Système National de Référence Cartographique) au 50K et que toutes les données du Canda y sont présentées, la référence spatiale géographique **4617 : GCS\_North\_American\_1983\_CSRS** est utilisée avec la technologie ESRI. La résolution de cette référence spatiale est 0.0000001 degré.



**Référence spatiale projetée**

Les références spatiales projetées sont les plus fidèles façons de représenter la terre dans un monde 2D. La particularité des références spatiales projetées est que le système de coordonnée est présenté sous la forme X, Y dont l’unité de mesure est surtout le mètre. Certains traitements de données spatiales peuvent être utilisés avec une référence spatiale géographique mais la plupart doivent utilisés une référence spatiale projetée afin de faciliter les calculs. Par exemple, beaucoup de traitements de validation et correction utilisent des distances et tolérances fixes. La référence spatiale projetée **3979 : NAD 1983 CSRS Canada Atlas Lambert** est donc utilisée avec la technologie ESRI dans beaucoup de traitements de validation et correction. La résolution de cette référence spatiale est 0.001 mètre.



**Topologie**

Beaucoup de traitements de validation et de correction des données spatiales nécessite l’utilisation de la topologie car elle permet de connaître les liens existants entre les géométries des classes d’éléments. La connaissance de ces liens est utile afin de voir et questionner l’état des données pour prendre certaines décisions. Elle doit également permettre d’effectuer la correction des imperfections géométriques entre les géométries des éléments en relation selon une tolérance minimale correspondant à la précision des données spatiales désirées. L’insertion et la modification de certains sommets sont donc obligatoires afin de faire correspondre parfaitement les parties de géométries en relation. Une priorité d’insertion et de modification est recommandée mais non obligatoire en raison de sa lourdeur d’utilisation.

Le traitement de topologie est très lourd, prend beaucoup d’espace et doit être performant pour être viable. La topologie peut être créée et conservée physiquement dans une base de données ou peut être recalculée à la volée selon les besoins. Pour diverses raisons techniques, les traitements de validation et de correction utilisent la topologie récréée à la volée selon les besoins sans les priorités entre les classes d’éléments. Une structure de Nœud (Node), Limite (Edge) et Face (Face) est créée comme résultat du traitement de topologie.

La technologie ESRI possède ces fonctionnalités et est très performante mais ne possède pas l’utilisation de priorité et de Face lors de la création de la topologie à la volée (Voir « IMapTopology et ITopologyGraph » dans ArcObject).

**Tolérance minimale des données spatiales (Précision)**

En plus des classes d’éléments et leurs priorités optionnelles comme paramètres d’entrés, la tolérance minimale correspondant à la précision de référence spatiale est demandée comme paramètre d’entrée. Cette valeur est directement liée à ce qui doit être corrigé et considéré comme parfaitement connecté.

|  |
| --- |
| Trois éléments sont présents dans cette vue, 2 cours d’eau (O1 et O3) et une étendue d’eau (O2) |
|  |

**Nœud (Node)**

Le **Node** est une composante de la structure de la topologie résultante. Il contient une géométrie de type point et plusieurs fonctionnalités comme celles pour indiquer à quelles et à combien de **Edge** de géométrie d’éléments il est connecté (Voir « ITopologyNode » dans ArcObject de ESRI).

|  |
| --- |
| Pour les trois éléments présents (2 cours d’eau et 1 étendue d’eau), quatre Nœuds (Nodes) sont présents dans cette vue (N1, N2, N3 et N4) |
|  |

**Limite (Edge)**

Le **Edge** est une composante de la structure de la topologie résultante. Il contient une géométrie de type ligne et plusieurs fonctionnalités comme celles pour indiquer à quels et à combien de **Node** de géométrie d’éléments il est connecté (Voir « ITopologyEdge » dans ArcObject de ESRI).

|  |
| --- |
| Pour les trois éléments présents (2 cours d’eau et 1 étendue d’eau), cinq Limites (Edges) sont présentes dans cette vue (E1, E2, E3, E4 et E5) |
|  |

**Face (Face)**

La **Face** est une composante de la structure de la topologie résultante. Il contient une géométrie de type surface et plusieurs fonctionnalités comme celles pour indiquer à quels et à combien de **Node** et de **Edge** de géométrie d’éléments il est connecté (Non disponible dans la technologie ESRI à la volée).

|  |
| --- |
| Pour les trois éléments présents (2 cours d’eau et 1 étendue d’eau), Trois Faces (Faces) sont présentes dans cette vue (F1, F2 et F3) |
|  |

**Relations spatiales**

Beaucoup de traitements de validation et de correction nécessite aussi l’utilisation des relations spatiales. Les relations spatiales permettent d’indiquer si un état de connexion prédéfini ou non est respecté entre deux géométries ou entre plusieurs géométries. Un nom de relation spatiale est associé à chaque état de connexion **prédéfini**. Un masque à neuf intersections est utilisé pour chaque état de connexion **non défini**.

Le résultat obtenu du traitement de relation spatiale pour deux géométries est un booléen qui indique vrai ou faux. Le résultat obtenu du traitement de relation spatiale pour plusieurs géométries est une structure de liens entre les numéros séquentiels des géométries traitées qui respecte l’état spécifié. Pour être viable, la performance de ce dernier est très importante étant donné la possibilité de traité une très grande quantité de données.

La technologie ESRI possède ces fonctionnalités et est très performante (Voir « IRelationalOperator, IRelationalOperatorNxM et IRelationResult » dans ArcObject).

**Précision des données spatiales**

Puisque les traitements des relations spatiales sont effectués sur des géométries, une référence spatiale commune doit être utilisée. On peut donc changer la valeur de précision de cette référence spatiale afin d’indiquer ce qui est considéré comme connecté même si physiquement, ils ne le sont pas (Voir la précision des références spatiales pour plus d’information).

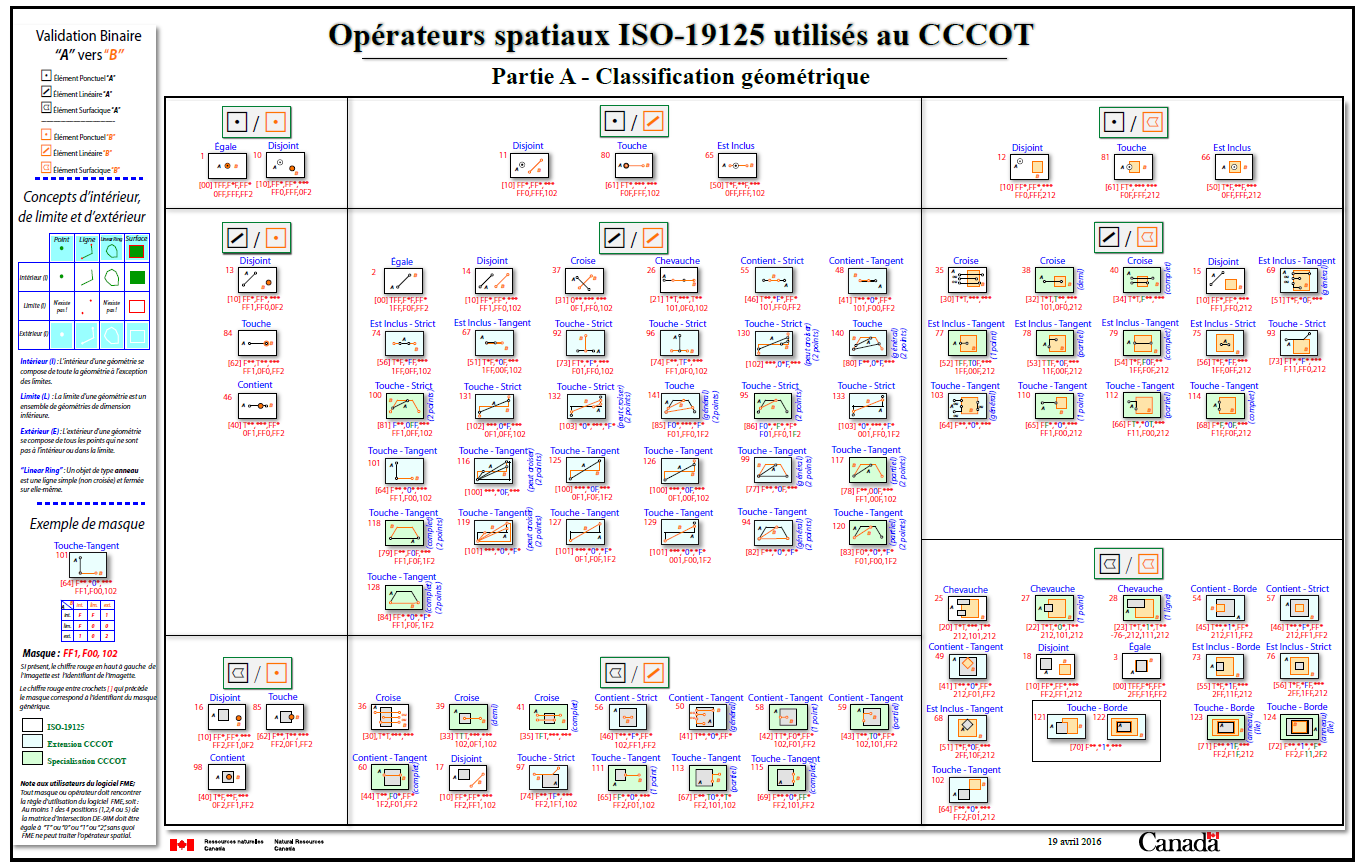
**Relations spatiales prédéfinies**

Des standards internationaux ont été établi pour ces relations spatiales prédéfinies. L’avantage majeure d’utiliser les relations spatiales prédéfinies est normalement leur performance car ils ont été conçus pour traiter leur propre cas.

* **Disjoint (Disjoint)** : Aucune intersection n’est présente.
* **Intersecté (Intersect)** : Au moins une intersection de type point, ligne ou surface est présente.
* **Égale (Equals)** : Les géométries sont identiques.
* **Touche (Touches)** : Il y a au moins une intersection entre les limites des géométries.
* **Contient (Contains)** : La première géométrie contient l’autre.
* **Est inclus (Within)** : La première géométrie est incluse dans l’autre.
* **Croise (Crosses)** : La dimension de la géométrie d’intersection est plus petite.
* **Chevauche (Overlaps)** : La dimension de la géométrie d’intersection est la même.

**Relations spatiales non définies / Masque à neuf intersections (Egenhofer et/ou Clementini)**

Des standards internationaux ont été établis pour ces relations spatiales non définies. On utilise un masque à neuf intersections. On décompose chaque géométrie en 3 sous géométries, soit l’intérieur (I), la limite (L) et l’extérieur (E) de la géométrie. On compare l’état d’intersection entre ces 3 sous géométries pour les 2 géométries à traiter. Le but étant de fournir un masque en entrée et de retourner un booléen vrai ou faux selon le respect ou non de ce masque. Selon la méthode Egenhofer et le système utilisé, le masque peut contenir les valeurs suivantes (0,F:Faux, 1,V,T:Vrai ou \*:Vrai ou Faux). Selon la méthode Clementini, le masque peut contenir les valeurs selon Egenhofer en plus des valeurs de dimension des géométries d’intersections soient (0:Point, 1:Ligne ou 2:Surface). Le document ci-dessous explique les masques à neuf intersections selon Egenhofer et/ou Clementini cependant ce ne sont pas des opérateurs spatiaux mais des relations spatiales. Comme on peut le constater, il y a de la confusion dans l’utilisation des termes. Le désavantage majeur à utiliser ces relations est que c’est beaucoup plus lent d’exécution mais on n’est pas limité à seulement 8 relations.



**Opérateurs spatiaux (Topologique)**

Beaucoup de traitements de validation et de correction nécessite aussi l’utilisation des opérateurs spatiaux. Ces derniers sont surtout utilisés pour corriger les données ou pour construire les géométries correspondantes aux erreurs détectées. Contrairement aux relations spatiales, elles permettent de retourner une géométrie. Un nom d’opérateur spatial est associé à chaque traitement **prédéfini**.

Le résultat obtenu du traitement des opérateurs spatiaux pour deux géométries est une géométrie. La géométrie résultante peut être vide ou correspond à la définition même de l’opérateur spatial prédéfini demandé. Pour être viable, la performance de ce dernier est très importante étant donné la possibilité de traité une très grande quantité de données.

La technologie ESRI possède ces fonctionnalités (Voir « ITopologicalOperator » dans ArcObject).

**Précision des données spatiales**

Tout comme les relations spatiales, les traitements des opérateurs spatiaux sont effectués sur des géométries, une référence spatiale commune doit être utilisée. On peut donc changer la valeur de précision de cette référence spatiale afin d’indiquer ce qui est considéré comme connecté même si physiquement, ils ne le sont pas (Voir la précision des références spatiales pour plus d’information).

**Opérateurs spatiaux prédéfinis (implique deux géométries)**

Ces opérateurs spatiaux impliquent toujours deux géométries. Le résultat de ce traitement est une géométrie qui peut être vide ou correspond au traitement demandé. Les principaux utilisés sont les suivants :

* **Intersection (Intersect)** : Retourne la géométrie d’intersection entre deux géométries A et B.
* **Différence (Difference)** : Retourne la partie de la géométrie A qui n’intersecte pas la géométrie B.
* **DifférenceInverse (InverseDifference)** : Retourne la partie de la géométrie B qui n’intersecte pas la géométrie A.
* **Symétrie (SymmetricDifference)** : Retourne les parties des géométries A et B qui ne s’intersectent pas.
* **Union (Union)** : Retourne l’union des deux géométries A et B.

**Autres opérateurs spatiaux (implique une seule géométrie)**

D’autres opérateurs spatiaux sont utilisés mais elles impliquent seulement une géométrie. Ils sont nécessaires pour certaines occasions spécifiques. Les principaux utilisés sont les suivants :

* **Simplifier (Simplify)** : Permet de corriger une géométrie erronée.
* **Limite (Boundary)** : Permet de retourner la limite d’une géométrie.
* **Tampon (Buffer)** : Permet de retourner un tampon d’une géométrie selon une distance.

**Dimensions minimales**

Il existe plusieurs contrainte d’intégrité spatiale en lien avec différentes valeurs de dimension minimale comme la précision, la distance latérale, la longueur minimale d’une droite ou d’une ligne, la superficie minimale, etc. En fait, les contraintes de dimension minimale servent à valider et à corriger l’intégrité des représentations géométriques des différents phénomènes cartographiques présentent dans nos données. Chaque phénomène cartographique est représenté par un type de géométrie (point, ligne et/ou surface) qui est normalement directement dépendant d’une seule échelle de représentation désirée (Exemple : 1:50000).

Comme dans les données de la BDG, lorsque plusieurs échelles de représentation sont présentes pour un même phénomène et même type de géométrie, on dit qu’ils sont inconsistants, c’est-à-dire qu’il y a un manque de cohérence entre les données. On le voit souvent à la limite des jeux de données et des provinces lorsqu’un même phénomène est représenté d’un coté en ligne et de l’autre en surface ou qu’il y a surabondance d’information d’un jeu de données par rapport à un autre. Autre raison de la pertinence des contraintes de dimension minimale est de valider et corriger les illogismes comme des lacs dont la superficie est impossible ou des rivières dont la longueur est impossible en fonction de la source de captage utilisée.

Le terme généralisation est très général et peut être nébuleux pour certains, car il est utilisé à différents niveaux et dans différents contextes. Par exemple, plusieurs personnes disent qu’ils font de la généralisation lorsqu’un traitement selon Douglass-Peuker est réalisé afin d’éliminer la surabondance de sommets. D’autres personnes vont dire qu’ils ont généralisé les bâtiments lorsqu’ils ont transformé ceux-ci en agglomération. Selon moi, tout ceci n’est pas faut mais j’aurais plutôt tendance à dire que la généralisation est plutôt le résultat de la correction de toutes les contraintes d’intégrité qui nécessitent l’utilisation des dimensions minimales en lien avec des échelles de représentation géométrique. Toujours selon moi, une généralisation a été réalisée lorsque la correction de toutes les contraintes de dimension minimale a été effectuée afin de respecter l’échelle de représentation choisie pour un phénomène et un type de géométrie.

**Précision des données spatiales (Topologie)**

La précision des données spatiales est utilisée pour comparer les sommets entre eux et identifier la connexion entre les éléments (Topologie). Deux sommets d’un même élément ou d’éléments différents dont la distance (précision) est inférieure ou égale à cette dernière sont considérés comme équivalents et sont déplacés selon le centre de ces deux sommets. Après le déplacement, si les deux sommets d’un même élément sont superposés, un seul est conservé. Lorsque deux géométries se retrouvent à l’intérieure de la distance de précision et qu’il y a absence de sommet, des sommets sont insérés dans les géométries afin qu’il y ait une correspondance parfaite. En fait, ce traitement est utilisé pour valider et corriger les erreurs de proximité entre les géométries d’éléments et entre les sommets d’une même géométrie d’un élément. Ce traitement peut être utilisé de façon indépendante ou comme sous traitement d’un autre traitement comme celui de distance latérale minimale entre les sommets.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant :** Plusieurs erreurs de proximité entre les géométries des éléments. | **Après :** Absence d’erreurs de proximité entre les géométries des éléments. |
|  |  |

**Distance latérale minimale entre les sommets (Douglass-Peuker)**

L’algorithme de **Douglas-Peuker** est assez bien connu et est souvent utilisé pour valider et corriger la surabondance de sommets et conserver sensiblement l’allure générale d’une géométrie puisqu’il utilise une distance latérale. Afin de ne pas déconnecter les éléments en relation aux éléments traités, la topologie doit être absolument utilisée lors de ce traitement. En fait, le traitement de filtrage des sommets selon **Douglas-Peuker** doit être effectué sur les **Edges** de la topologie des géométries d’éléments et non sur la géométrie des éléments afin de conserver la connexion entre les géométries des éléments. Ce traitement peut être utilisé de façon indépendante ou comme sous traitement d’un autre traitement comme celui de largeur et longueur de généralisation.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant :** Un polygone contenant 25 sommets et deux connexions. | **Après :** Un polygone contenant 11 sommets et dont les deux connexions sont conservés. |
|  |  |

**Longueur minimale d’une droite**

Ce traitement est assez simple puisque le but est de valider et corriger la surabondance de droites contenue dans les géométries d’éléments. Toutes les droites dont la longueur est inférieure ou égale à cette valeur sont détruites. Cette valeur peut être confondue et jugée inutile par rapport à la valeur de précision et de distance latérale si et seulement si la longueur minimale d’une droite est inférieure ou égale à celle de la précision et de distance latérale. Cependant, la longueur minimale d’une droite devrait toujours être supérieure aux deux autres ce qui fait qu’elles sont donc considérées et complémentaires et nécessaires. Afin de ne pas déconnecter les éléments en relation aux éléments traités, la topologie doit être absolument utilisée lors de ce traitement. En fait, le traitement de filtrage des droites doit être effectué sur les **Edges** de la topologie des géométries d’éléments et non sur la géométrie des éléments afin de conserver la connexion entre les géométries des éléments.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant :** Un polygone contenant 24 droites et trois connexions. | **Après :** Un polygone contenant 15 droites dont les trois connexions sont conservées. |
|  |  |

***Longueur maximale d’une droite (Distance pour densifier)***

*Ce traitement n’est pas considéré comme une contrainte de dimension minimale mais plutôt comme un sous traitement d’un autre traitement de contrainte de dimension minimale. Ce sous traitement est d’ailleurs utilisé dans celui de largeur et longueur de généralisation afin d’améliorer le résultat de ce dernier.*

|  |  |
| --- | --- |
| Avant la densification : 14 sommets | Après la densification : 27 sommets |
|  |  |

**Longueur minimale d’une ligne**

Le but de ce traitement est de valider et corriger la surabondance de lignes contenues dans la classe d’éléments. Il semble assez simple mais en réalité, il est assez complexe car ce ne sont pas toutes les lignes dont la longueur est inférieure à la longueur minimale qui sont détruites. Afin de ne pas déconnecter les éléments en relation aux éléments traités, la topologie doit être absolument utilisée lors de ce traitement. En fait, le traitement de filtrage des lignes doit être effectué sur les **Edges non segmentés (Polyline)** de la topologie des géométries d’éléments et non sur la géométrie des éléments afin de conserver la connexion entre les géométries des éléments. Lorsqu’il y a deux **Edges** adjacents consécutifs, ces **Edges** sont fusionnés pour être traités comme **Edges non segmentés (Polyline)**. Les **Polylignes** connectées à ses deux extrémités ou dont la longueur est supérieure à la longueur minimale ne seront jamais détruites. Les **Polylignes** dont la longueur est inférieure à la longueur minimale et qui sont non connectées seront tous détruites sans exception. Les **Polylignes** dont la longueur est inférieure à la longueur minimale, qui sont connectées seulement à une extrémité, qu’il y a plus d’une **Polyligne** adjacente et dont la longueur est la plus petite des **Polylignes** adjacentes seront détruites. La **Polyligne** adjacente et dont la longueur est la plus grande des **Polylignes** adjacentes ne seront pas détruites mais pourrait l’être dans un traitement itératif suivant si sa longueur est inférieure à la longueur minimale. Ce traitement nécessite une reconstruction itérative de la topologie et un calcul continu pour identifier les **Edges non segmentés (Polyline)**.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant :** 18 lignes, 18 Edges non segmentés (Polyline) | **Après :** 11 lignes, 8 Edges non segmentés (Polyline) |
|  |  |

**Longueur minimale d’une polyligne fermée**

Ce traitement est complémentaire au traitement de longueur minimale des lignes puisqu’il est appliqué seulement pour les lignes qui sont connectées à leurs deux extrémités et dont la fusion avec ses **Edges** adjacents forment une polyligne fermée dont la longueur est inférieure ou égale à la longueur minimale d’une polyligne fermée. Le but est de valider et corriger une certaine densité de lignes contenues dans la classe d’éléments. La complexité de ce traitement se retrouve surtout dans l’identification des polylignes fermées. Afin de ne pas déconnecter les éléments en relation aux éléments traités et permettre l’identification des polylignes fermées, la topologie doit être absolument utilisée lors de ce traitement. Pour chaque polyligne fermée dont la longueur est inférieure ou égale à la longueur minimale d’une polyligne fermée et qui peut être formée d’un seul ou plusieurs **Edges**, le **Edge** le plus long est détruit.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant :** 9 lignes, 9 Edges, 3 polylignes fermées | **Après :** 5 lignes, 5 Edges, 0 polyligne fermée |
|  |  |

**Largeur minimale de généralisation**

Le traitement pour valider et corriger la largeur minimale de généralisation n’est jamais utilisée de façon indépendante. Il est toujours utilisé comme sous traitement du traitement de largeur et longueur de généralisation (Intérieure, extérieure, gauche ou droite). Ce traitement est très complexe à réaliser, à expliquer et à comprendre. Pour cette raison, plusieurs pages et dessins seront nécessaires. Ces explications plus détaillées seront effectuées un peu plus loin dans le document. En résumé, le traitement pour valider et corriger la largeur minimale de généralisation nécessite l’utilisation de plusieurs sous traitements, comme la densification des sommets, la topologie, l’utilisation des relations spatiales et des opérateurs spatiaux, la triangulation de Delaunay. En fait, l’idée générale est de trouver les parties de surface dont la largeur est inférieure ou égale la largeur minimale de généralisation. Le traitement de largeur et longueur de généralisation implique plusieurs autres sous traitements comme la correction des parties de surface identifiées, la superficie minimale, la connexion des points de connexion au squelette, etc.

|  |  |
| --- | --- |
| Dans cet exemple on utilise les droites intérieures des triangles de Delaunay pour identifier les parties de surfaces dont la largeur est inférieure ou égale à la largeur minimale de généralisation (voir en rouge les droites plus foncées). | Dans cet exemple on utilise les droites extérieures des triangles de Delaunay pour identifier les parties de surfaces dont la largeur est inférieure ou égale à la largeur minimale de généralisation (voir en rouge les droites plus foncées). |
|  |  |

**Longueur minimale de généralisation**

Le traitement pour valider et corriger la longueur minimale de généralisation n’est jamais utilisée de façon indépendante. Il est toujours utilisé comme sous traitement du traitement de largeur et longueur de généralisation (Intérieure, extérieure, gauche ou droite). Ce traitement est très complexe à réaliser, à expliquer et à comprendre. Pour cette raison, plusieurs pages et dessins seront nécessaires. Ces explications plus détaillées seront effectuées un peu plus loin dans le document. En résumé, le traitement pour valider et corriger la longueur minimale de généralisation nécessite l’utilisation de plusieurs sous traitements, comme la densification des sommets, la topologie, l’utilisation des relations spatiales et des opérateurs spatiaux, la triangulation de Delaunay, la squelettisation et la largeur de généralisation. En fait, l’idée générale est de trouver les parties de surface dont la largeur est inférieure ou égale la largeur minimale de généralisation et dont la longueur de ces parties est supérieure à la longueur minimale de généralisation. Le traitement de largeur et longueur de généralisation implique plusieurs autres sous traitements comme la correction des parties de surface identifiées, la superficie minimale, la connexion des points de connexion au squelette, etc.

|  |  |
| --- | --- |
| Dans cet exemple on utilise les droites intérieures des triangles de Delaunay pour identifier les parties de surfaces dont la largeur est inférieure ou égale à la largeur minimale de généralisation et dont la longueur est supérieure à la longueur minimale de généralisation (voir en rouge les lignes plus foncées correspondant à des parties du squelette intérieur). | Dans cet exemple on utilise les droites extérieures des triangles de Delaunay pour identifier les parties de surfaces dont la largeur est inférieure ou égale à la largeur minimale de généralisation et dont la longueur est supérieure à la longueur minimale de généralisation (voir en rouge les lignes plus foncées correspondant à des parties du squelette extérieur). |
|  |  |

**Superficie minimale d’un anneau extérieur**

Ce traitement est assez simple en soit puisqu’il consiste à valider et corriger les anneaux extérieurs superflus/en trop pour les éléments de type surface. Un élément de type surface peut contenir un ou plusieurs anneaux extérieurs, Chaque anneau extérieur peut contenir zéro ou plusieurs anneaux intérieurs. Les anneaux extérieurs d’un élément de type surface dont la superficie est inférieure ou égale à la superficie minimale d’un anneau extérieur sont détruits incluant les anneaux intérieurs puisque par définition, la superficie d’un anneau intérieur est toujours inférieure à celle de son anneau extérieur. Ce traitement est utilisé de façon indépendante ou comme sous traitement d’un autre traitement comme c’est le cas pour le traitement de largeur et longueur de généralisation.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant** : 3 anneaux extérieurs, 5 anneaux intérieurs | **Après** : 1 anneau extérieur, 2 anneaux intérieurs |
|  |  |

**Superficie minimale d’un anneau intérieur**

Ce traitement est assez simple en soit puisqu’il consiste à valider et corriger les anneaux intérieurs superflus/en trop pour les éléments de type surface. Un élément de type surface peut contenir un ou plusieurs anneaux extérieurs, Chaque anneau extérieur peut contenir zéro ou plusieurs anneaux intérieurs. Les anneaux intérieurs d’un élément de type surface dont la superficie est inférieure ou égale à la superficie minimale d’un anneau intérieur sont détruits. Dans ce traitement, même si la superficie des anneaux extérieurs sont inférieures à la superficie minimale d’un anneau intérieur, les anneaux extérieurs ne sont jamais détruits. Ce traitement est utilisé de façon indépendante ou comme sous traitement d’un autre traitement comme c’est le cas pour le traitement de largeur et longueur de généralisation.

|  |  |
| --- | --- |
| **Avant** : 3 anneaux extérieurs, 5 anneaux intérieurs | **Après** : 3 anneaux extérieurs, 2 anneaux intérieurs |
|  |  |

**Squelettisation**

Le traitement de squelettisation est un traitement assez complexe et très technique à réaliser. Il demande beaucoup de calcul et doit tenir compte de plusieurs facteurs afin d’obtenir un bon résultat. Il permet d’identifier une ou plusieurs lignes de centre pour l’intérieur d’une ou plusieurs géométries ou pour l’extérieur d’une ou plusieurs géométries avec l’enveloppe de ces dernières.

On utilise ce traitement pour au moins deux raisons connues, soit pour l’identification d’un phénomène cartographique virtuelle correspondant aux lignes de centre de la géométrie de ce dernier (Exemple : Lignes de centre des étendues d’eau) ou soit pour valider ou corriger la généralisation (dimension minimale) des géométries d’éléments d’une échelle de représentation (Exemple: 1/50000) vers une autre plus petite (Exemple: 1/250000).

Puisque ce document fait référence à des cours d’eau et à des étendues d’eau et que ces derniers sont représentés par des géométries de type ligne et surface, les explications du traitement de squelettisation se fera par rapport à ces deux types de géométrie.

La technologie ESRI ne possède pas les fonctionnalités pour créer des squelettes ou pour généraliser des lignes ou des surfaces via les squelettes. Cependant, elle possède l’infrastructure nécessaire à la réalisation de ce traitement. Certains outils (comme le programme Skeletton développé en Java) et techniques (comme celle via le Diagramme de Voronoi) existent déjà pour créer des squelettes mais me semble incomplet et ne donne pas toujours un bon résultat. La technique proposée (via la Triangulation de Delaunay) me semble beaucoup plus solide en terme de résultat. Il est aussi plus complet puisqu’il utilise différents paramètres pour retourner un résultat plus ou moins détaillé selon les besoins des usagers.

**Géométries de type ligne (Polyline) et Surface (Polygon)**

Dans la technologie ESRI, les géométries utilisées pour représenter les éléments de type ligne sont des Polylignes (Polyline) et celles utilisées pour représenter les surfaces sont des Polygones (Polygon). La particularité de ces dernières et quelles peuvent contenir plusieurs lignes et plusieurs surfaces.

Dans ESRI, la Polyligne (Polyline) est utilisée pour représenter les cours d’eau. Une Polyligne (Polyline) peut contenir aucune ou plusieurs Lignes (Path). Une Ligne (Path) peut contenir une ou plusieurs Droites (Segment). Une Droite (Segment) contient deux Sommets (Point). Un Sommet (Point) contient une coordonnée (X et Y), peut contenir une élévation (Z) et peut contenir une Mesure (M).

Dans ESRI, le Polygone (Polygon) est utilisé pour représenter les étendues d’eau. Un Polygone (Polygon) peut contenir aucun ou plusieurs Anneaux extérieurs (Exterior Ring). Un Anneau extérieur (Exterior Ring) peut contenir aucun ou plusieurs Anneaux intérieurs (Interior Ring). Un Anneau extérieur ou intérieur (Ring) est une Ligne (Path) qui est toujours fermée. Un Anneau (Ring) peut contenir trois ou plusieurs Droites (Segment). Une Droite (Segment) contient deux Sommets (Point). Un Sommet (Point) contient une coordonnée (X et Y), peut contenir une élévation (Z) et peut contenir une Mesure (M).

Afin de bien comprendre le traitement de squelettisation, un parallèle sera effectué entre une même géométrie de type Polyligne et une même géométrie de type Polygon. On verra donc ci-dessous les différents sous traitements et facteurs pouvant influencer le résultat de la squelettisation pour chacun des deux types de géométrie.

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant une ligne avec 16 droites (17 sommets) | Polygone contenant un anneau extérieur avec 43 droites (44 sommets) et un anneau intérieur avec 14 droites (15 sommets) |
|  |  |

**Points de connexion avec les éléments en relation**

L’utilisation des points de connexion est un facteur important dans le traitement de squelettisation car le résultat obtenu pourrait être différent pour une même géométrie qui contient ou ne contient pas de points de connexion. Afin de s’assurer que la connexion entre le squelette et les éléments en relation soit respectée, il est obligatoire de fournir les points de connexion en paramètre d’entrée du traitement.

Le traitement de squelettisation utilise la topologie pour extraire les points de connexion avec les éléments en relation. Les classe d’éléments en relation sont donc exigées pour construire cette topologie. Le traitement extrait les géométries des **Nodes** de la topologie et calcul le centre de la géométrie des **Edges** de la topologie pour définir les points de connexion des éléments en relation.

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne avec quatre éléments en relation -  Deux points de connexion | Polygone avec deux éléments en relation -  Deux points de connexion |
|  |  |

**Enveloppe des géométries et densification**

Lorsque le traitement de squelettisation est extérieur, gauche ou droite aux géométries à traiter, une enveloppe de ces dernières et un traitement de densification est exigé. L’enveloppe est calculée à partie des géométries à traiter et une distance d’agrandissement de cette dernière. L’enveloppe est fusionnée aux géométries à traiter et une densification selon une distance minimale est exigée afin d’obtenir un bon résultat.

Pour un traitement de squelettisation intérieur pour les surfaces, l’ajout d’une enveloppe aux géométries à traiter n’est pas réalisé car il est inutile. Seul le traitement de densification est effectué afin d’obtenir un meilleur résultat mais n’est pas obligatoire.

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant une ligne extérieure (49 sommets) et une ligne intérieure (22 sommets) avec densification au 20 mètres et une distance d’agrandissement de 40 mètres pour la ligne de l’enveloppe | Polygone contenant deux anneaux extérieurs (57 sommets et 19 sommets) et un anneau intérieur (65 sommets) avec densification au 20 mètres et une distance d’agrandissement de 40 mètres pour l’anneau de l’enveloppe |
|  |  |

**Triangulation de Delaunay**

Le traitement de triangulation selon Delaunay est très exigeant en terme de calcul. Le calcul de la triangulation ne sera pas expliqué ici puisqu’il est difficile à expliquer et à comprendre mais plusieurs algorithmes et fonctions de ce dernier sont présents sur le Web gratuitement.

|  |  |
| --- | --- |
| Triangles de Delaunay de la Polyligne | Triangles de Delaunay du Polygone |
|  |  |

La fonction utilisée nécessite cependant plusieurs adaptations. Ces adaptations sont les suivantes :

1. Extraire tous les sommets des géométries à traiter.
2. Éliminer la duplication de ces sommets selon une précision.
3. Transformer les triangles résultants en droites pour chaque côté d’un triangle.
4. Fusionner toutes les droites dans une Polyligne.
5. Éliminer les droites dupliquées dans la Polyligne.
6. Éliminer les droites à l’extérieur de l’enveloppe des géométries à traiter.
7. Transformer chaque droite en Polyligne.
8. Ajouter ces Polylignes dans une géométrie globale nommée « GeometryBag ».

|  |  |
| --- | --- |
| GeometryBag contenant les droites des triangles de Delaunay selon l’enveloppe de la Polyligne | GeometryBag contenant les droites des triangles de Delaunay selon l’enveloppe du Polygone |
|  |  |

L’utilisation du Diagramme de Voronoi est une autre technique pour créer des squelettes mais est difficilement applicable pour effectuer la généralisation. Le Diagramme de Voronoi est un dérivé du traitement de la Triangulation de Delaunay.

**Squelettisation à droite d’une Polyligne et à l’intérieur d’un Polygone**

Le traitement de squelettisation pour une Polyligne est semblable à celui d’un Polygone mais un peu plus complexe.

|  |  |
| --- | --- |
| GeometryBag contenant les droites des triangles de Delaunay qui sont à la droite de la Polyligne | GeometryBag des droites des triangles de Delaunay qui sont à l’intérieure du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| GeometryBag contenant les droites significatives des triangles de Delaunay à droite de la Polyligne | GeometryBag contenant les droites significatives des triangles de Delaunay à l’intérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant le squelette primaire à droite de la Polyligne | Polyligne contenant le squelette primaire à l’intérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant le squelette de base à droite de la Polyligne | Polyligne contenant le squelette de base à l’intérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant le squelette de base significatif à droite de la Polyligne | Polyligne contenant le squelette de base significatif à l’intérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant le squelette minimal à droite de la Polyligne selon une longueur minimale de 20 mètres | Polyligne contenant le squelette minimal à l’intérieur du Polygone selon une longueur minimale de 20 mètres |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne contenant le squelette minimal à droite de la Polyligne selon une longueur minimale de 20 mètres et des points de connexion des éléments en relation | Polyligne contenant le squelette minimal à l’intérieur du Polygone selon une longueur minimale de 20 mètres et des points de connexion des éléments en relation |
|  |  |

**Squelettisation à gauche d’une polyligne et à l’extérieure d’un polygone**

|  |  |
| --- | --- |
| Droites des triangles de Delaunay à gauche de la Polyligne | Droites des triangles de Delaunay à l’extérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Droites significatives des triangles de Delaunay à gauche de la Polyligne | Droites significatives des triangles de Delaunay à l’extérieur du Polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette primaire à gauche de la polyligne | Squelette primaire à l’extérieur du polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette de base à gauche de la polyligne | Squelette de base à l’extérieur du polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette de base significatif à gauche de la polyligne | Squelette de base significatif à l’extérieur du polygone |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette minimal à gauche de la polyligne selon une longueur minimale de 20 mètres | Squelette minimal à l’extérieur du polygone selon une longueur minimale de 20 mètres |
|  |  |

**Généralisation d’un polygone**

|  |  |
| --- | --- |
| Avant le filtre des sommets (1.5 mètre), des droites (3 mètres) et des anneaux (1000 mètres) | Après le filtre des sommets (1.5 mètre), des droites (3 mètres) et des anneaux (1000 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Points de connexion utilisés pour la généralisation intérieure | Aucun point de connexion n’est utilisé pour la généralisation extérieure |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Droites intérieures des triangles de Delaunay | Droites extérieures des triangles de Delaunay |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Largeur minimale de généralisation pour les droites intérieures des triangles de Delaunay  (<25 mètres) | Largeur minimale de généralisation pour les droites extérieures des triangles de Delaunay  (<25 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Longueur minimale de généralisation intérieure  (>50 mètres) | Longueur minimale de généralisation extérieure  (>50 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Avant la superficie minimale d’un anneau de la généralisation intérieure (>0 mètres) | Avant la superficie minimale d’un anneau de la généralisation intérieure (>0 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Après la superficie minimale d’un anneau de la généralisation intérieure (>3600 mètres) | Après la superficie minimale d’un anneau de la généralisation extérieure (>3600 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polygone généralisé via la généralisation intérieure | Polygone généralisé via la généralisation extérieure |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette du polygone généralisé via la généralisation intérieure | Squelette du polygone généralisé via la généralisation extérieure |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Remplacement d’une partie de l’étendue d’eau en cours d’eau à partir des lignes d’erreurs de la généralisation intérieure | Lignes d’erreurs de la généralisation extérieure |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Généralisation extérieure sur le résultat de la généralisation intérieure :  **Trois petites modifications effectuées** | Généralisation intérieure sur le résultat de la généralisation extérieure :  **Aucune modification effectuée** |
|  |  |

**Généralisation d’une polyligne**

|  |  |
| --- | --- |
| Avant le filtre des sommets (1.5 mètre), des droites (3 mètres) et des lignes (250 mètres) | Après le filtre des sommets (1.5 mètre), des droites (3 mètres) et des lignes (250 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Points de connexion utilisés pour la généralisation de gauche | Points de connexion utilisés pour la généralisation de droite |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Droites significatives de gauche des triangles de Delaunay | Droites significatives de droite des triangles de Delaunay |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Largeur minimale de généralisation pour les droites de gauche des triangles de Delaunay  (<50 mètres) | Largeur minimale de généralisation pour les droites de droite des triangles de Delaunay  (<50 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Longueur minimale de généralisation de gauche  (>250 mètres) | Longueur minimale de généralisation de droite  (>250 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Avant la longueur minimale d’une ligne de généralisation de gauche (>0 mètres) | Avant la longueur minimale d’une ligne de généralisation de droite (>0 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Après la longueur minimale d’une ligne de généralisation de gauche (>250 mètres) | Après la longueur minimale d’une ligne de généralisation de droite (>250 mètres) |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Polyligne généralisée via la généralisation de gauche | Polyligne généralisée via la généralisation de droite |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Squelette de la polyligne généralisée via la généralisation de gauche | Squelette de la polyligne généralisée via la généralisation de droite |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Lignes d’erreurs de la généralisation de gauche | Lignes d’erreurs de la généralisation de droite |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Généralisation de droite sur le résultat de la généralisation de gauche :  **Deux petites modifications effectuées** | Généralisation de gauche sur le résultat de la généralisation de droite :  **Deux petites modifications effectuées** |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Résultat de la généralisation **gauche-droite** par rapport à l’originale  (50 mètres, 0 mètre et 250 mètres) | Résultat de la généralisation **droite-gauche** par rapport à l’originale  (50 mètres, 0 mètre et 250 mètres) |
|  |  |

**Généralisation d’une polyligne fractionnée**

|  |  |
| --- | --- |
| Fractionnement d’une polyligne | Droites de gauche et de droite des triangles de Delaunay de la polyligne fractionnée |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Lignes d’erreurs de la polyligne fractionnée | Résultat de la généralisation de la polyligne fractionnée (50 mètres, 0 mètre et 250 mètres) |
|  |  |

**Processus de généralisation des étendues et des cours d’eau**

Extraction des données spatiales

Projection des données spatiales

Filtrer les sommets des lignes et des surfaces (Distance latérale minimale entre les sommets)

Filtrer les droites des lignes et des surfaces (Longueur minimale des droites)

Éliminer les squelettes existants des surfaces

Proximité des sommets (Tolérance minimale de proximité)

Éliminer la duplication (Précision des données spatiales)

Ajustement au découpage (EdgeMatch)

Fusion des lignes et des surfaces

Adoucir les lignes et les surfaces

Filtrer les anneaux intérieurs (Superficie minimale des anneaux intérieurs)

Généralisation intérieure/extérieure des surfaces (Largeur et longueur minimale de généralisation/Superficie minimale des anneaux externes et internes)

Filtrer les lignes (Longueur minimale des lignes)

Filtrer les lignes fermées (Longueur minimale des lignes)

Généralisation gauche/droite des lignes (Largeur et longueur minimale de généralisation/Longueur minimale des lignes)

Créer les squelettes des surfaces

Séparer les géométries multiples

Transfert des attributs d’origine

**Conclusion**

**Références**