



**Université de Toulouse**

**MASTER 2 GEOMATIQUE**

« **ScIences Géomatiques en environneMent et Aménagement** » (**SIGMA**)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

**RAPPORT DE STAGE**

**Automatisation de production cartographique**

**Ministère des Armées**



**COLLETTE Romain**

**Maître de stage : Monsieur Fabien**

**Enseignant-référent : Laurent Jégou**

**Septembre 2020**

## **Remerciements**

En premier lieu je remercie l'ensemble de l'équipe du ministère des Armées de m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'Etude dans des conditions d'accueil exemplaires.

En second lieu, je tiens à remercier Laurent Jégou pour avoir encadré ce stage pour le compte de l'université.

Enfin je tiens à remercier tous mes collègues étudiants de la promotion SIGMA 2020 pour avoir fait preuve de cohésion, d'entraide et de bonne humeur tout au long du premier semestre.

## Table des matières

Résumé.....	4
1) Introduction .....	5
2) Conditions d'accueil et organisation du travail.....	6
2.1) Présentation des missions de la structure et des conditions d'accueil .....	6
2.2) Organisation du travail : Diagramme de Gantt .....	7
3) Contexte .....	8
3.1) Cartographie multi-échelles : Principes généraux .....	8
3.2) Les tuiles cartographiques : une pratique courante pour la diffusion de données géographiques.....	9
3.3) De la tuile raster à la tuile vectorielle : quelles innovations ? .....	10
3.4) La spécification de style Mapbox GL.....	13
3.5) Le tuilage vectoriel dans l'environnement ESRI.....	14
3.5.1) Contenus et structure des fichiers de paquetage de tuiles .....	15
3.5.2) Méthode d'indexation.....	19
4) Matériel et méthodes .....	20
4.1) Données utilisées .....	20
4.1.1) Base Navstreets.....	20
4.1.2) Base OpenStreetMap .....	21
4.2) Traitements effectués .....	22
4.2.1) Marche à suivre pour réaliser une tuile vectorielle .....	22
4.2.2) Traitements des données : Navstreets .....	28
4.2.3) Etiquetage .....	36
4.2.2) Affichage des données en fonction du niveau d'échelle .....	38
4.3.1) Le Portail ESRI, un outil de stockage et de partage des données géographiques .....	38
5) Résultats : Une cartographie multi-scalaire à l'échelle du monde .....	43
5.1) Extrait N°1 : Floride, Cuba et Archipel des Bahamas .....	44
5.2) Extrait N°2 : Centre-ville de Miami.....	45
5.3) Extrait N°3 : Lincoln Road Mall.....	46
6) Perspectives .....	47
7) Conclusion .....	48
Bibliographie.....	49

## Résumé

La cartographie, en tant qu'outil d'aide à la décision, est au centre des préoccupations des Armées françaises. En proposant des contenus cartographiques, les systèmes d'information géographique (SIG) sont utiles pour mieux appréhender le contexte géophysique, politique, et social d'un théâtre d'opérations. A l'heure actuelle, les équipes du ministère sont contraintes de proposer des fonds de cartes dont l'échelle est fixe et de répéter le travail de cartographie à chaque fois qu'une nouvelle zone géographique doit faire l'objet d'une analyse.

L'objectif de ce stage est donc de proposer une méthodologie pour mettre au point et diffuser une cartographie multi-scalaire sur l'ensemble du globe, au sein d'un portail interne et accessible à l'ensemble des bureaux du ministère. Pour y parvenir le ministère des Armées a choisi de miser sur la technologie des tuiles vectorielles. En effet cette technologie est déjà employée dans de nombreux outils de cartographie et permet à l'utilisateur une navigation fluide, tout en ayant recours à de faibles volumes de données.

Deux sources de données sont mobilisées pour la réalisation de ce travail : les données OpenStreetMap disponibles en accès libre, et les données Navstreets, une base de données initialement créée pour les applications de navigation routière.

Les résultats de ce travail se composent de deux cartographies multi-échelles d'emprise mondiale. Une documentation visant à éclairer un futur utilisateur qui souhaiterait élaborer sa propre carte multi-scalaire ou compléter l'existante a également été produite. L'ensemble du travail de cartographie et de diffusion repose sur l'utilisation des outils proposés par ESRI.

## 1) Introduction

La cartographie, en tant qu'outil d'aide à la décision, est au centre des préoccupations des Armées françaises. En effet, dès le 17<sup>e</sup> siècle, la mise en transit d'armées importantes implique de mieux connaître la topographie et les localisations des ressources permettant de faire subsister plusieurs milliers d'hommes. En France, ce seront les armées qui, représentées par le corps militaire des ingénieurs du roi, contribueront à la création de la carte de Cassini, première représentation précise du territoire national. Mais c'est véritablement au cours du 19<sup>e</sup> siècle, avec les conquêtes du Premier Empire, que la cartographie connaît un nouvel essor. En effet, suite aux guerres napoléoniennes, la France dispose de cartes d'état-major, très précises pour l'époque, couvrant l'ensemble du territoire européen. Plus tard, à la charnière entre le 19<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> siècle, les cartographes des Armées furent chargés de produire les cartes des empires coloniaux, avec pour résultat une représentation cartographique d'envergure mondiale et d'une précision unique pour cette période.

Mais aujourd'hui, les armées tirent pleinement partie des technologies de l'information géographique pour réaliser leurs missions et sont même parfois à l'origine d'importantes innovations telles que le GPS ou l'imagerie spatiale. Par ailleurs, les systèmes d'informations géographiques (SIG) permettent de répondre à une double demande des Armées. En proposant des contenus thématiques, les SIG sont utiles pour mieux appréhender le contexte géophysique, politique, et social, d'un théâtre d'opérations. D'autre part, les SIG permettent de créer des documents cartographiques exploitables dans un contexte opérationnel. En effet, lorsqu'il est engagé sur le terrain, tout personnel des Armées a besoin d'informations lui permettant de se localiser, se mouvoir, demander un appui, ou adapter sa méthode de travail en fonction de son environnement. Généralement, la production de ce type d'information requiert une grande réactivité et des temps de production très faibles, quasiment impossibles à atteindre sans l'apport des systèmes d'informations géographiques.

Les informations traitées par les armées peuvent s'avérer sensibles et engager directement la sécurité nationale dans le cas où elles seraient exploitées par des puissances étrangères. Plusieurs procédures sont donc mises en place pour assurer la sécurité et l'intégrité des données gérées par le ministère des Armées. La déconnexion à Internet en fait partie : ainsi, en se tenant à l'écart du réseau, le ministère des Armées limite la capacité de nuisance par le biais d'attaques informatiques de ses concurrents étrangers. Mais en contrepartie, ce niveau de protection accru limite la capacité des équipes du ministère à utiliser des outils en ligne, souvent mis en place par des prestataires de services et permettant la diffusion du résultat de leurs travaux.

Ce stage s'inscrit dans ce contexte : en effet, les géomaticiens du ministère des Armées exploitent des données géographiques couvrant l'ensemble du globe. A l'heure actuelle, les équipes du ministère sont contraintes de proposer des fonds de cartes dont l'échelle est fixe et à répéter le travail de cartographie à chaque fois qu'une nouvelle zone géographique doit faire l'objet d'une analyse. Il s'agit donc ici de s'affranchir de l'aspect statique des documents cartographiques traditionnels en proposant un modèle de carte dynamique. L'objectif de ce stage est donc de produire et diffuser une cartographie multi-scalaire à l'échelle du monde au sein d'un portail interne et accessible à l'ensemble des bureaux du ministère.

Or, proposer une cartographie d'emprise mondiale tenant compte de nombreux éléments paysagers implique des contraintes d'ordres techniques, matériels et esthétiques. En effet, les volumes de données à traiter peuvent s'avérer très importants et dégrader l'expérience de l'utilisateur lors de

la navigation. Par ailleurs, de nombreux éléments peuvent figurer sur une carte multi-échelles. Le travail de sémiologie doit donc faire l'objet d'une attention particulière afin de garantir au lecteur une bonne compréhension des éléments qui lui sont présentés. Pour y parvenir, le ministère des Armées a choisi de miser sur la technologie des tuiles vectorielles, car elles présentent des propriétés intéressantes tant au niveau de la création que de la diffusion de cartes multi-échelles.

Le présent document vise à proposer une mise en contexte des applications relatives aux tuiles cartographiques suivie d'un guide méthodologique de création de tuiles vectorielles dans l'environnement ESRI. Les résultats du projet seront présentés sous forme de cartes présentant l'ensemble des changements d'affichage visibles par l'utilisateur lors de la navigation sur la cartographie dynamique.

Enfin, dans la mesure où le ministère s'intéresse de plus en plus au monde de l'open-data, le travail prévoit également de tester l'interopérabilité des tuiles produites à l'aide des outils ESRI avec des outils open-source. L'objectif étant de répondre aux questionnements suivants :

- Comment produire une cartographie lisible et interactive, tenant compte d'éléments paysagers nombreux et hétérogènes ?
- En quoi une carte multi-échelle peut-elle contribuer à l'amélioration de la diffusion de la donnée géographique au sein du ministère des Armées ?
- Comment implémenter les résultats du travail dans un environnement de travail maintenu par ESRI ?

## **2) Conditions d'accueil et organisation du travail**

### **2.1) Présentation des missions de la structure et des conditions d'accueil**

En contribuant à l'élaboration de la stratégie de défense française, le ministère des Armées occupe la place de garant de la sécurité du territoire, des citoyens, et des intérêts français. Ses missions se déclinent selon plusieurs objectifs.

En effet, le ministère des Armées est impliqué dans des actions de sécurité du territoire et du public telles que la surveillance de l'espace aérien français, la lutte contre le terrorisme et les trafics illégaux (orpaillage, immigration clandestine). Le maintien d'une force de dissuasion nucléaire, permettant d'empêcher toute attaque contre les points d'intérêts névralgiques nationaux, rentre également dans le mandat du ministère.

Les militaires sont également mobilisés pour des missions de secours par la présence d'unités de sapeurs-pompiers dépendant du ministère des Armées dans les villes de Paris et Marseille. Les Armées sont également prêtes à réagir en cas d'importants problèmes de santé publique pouvant occasionner un fort afflux de patient, dans les hôpitaux publics.

Par ailleurs, le ministère des Armées coordonne les interventions extérieures avec comme buts principaux : la protection des Français à l'étranger et, la sécurisation des zones stratégiques de la France et de ses alliés. Les Armées sont également mobilisées à l'international, dans le cadre d'opérations de maintien de la paix avant, pendant ou après un conflit. Enfin, le ministère assure un

rôle prospectif, en réalisant des plans d’actions adaptés en fonction de la nature que pourrait prendre d’éventuels futurs conflits. (Ministères des Armées,2020)

Dans ce contexte, le stage se tient au sein du département technique du ministère. Le rôle de ce département est d’appuyer la prise d’initiatives des autres instances du ministère en proposant des outils d’aides à la décision. Le département compte trois subdivisions appelées « bureaux », spécialisés dans l’analyse et le traitement de données géographiques. Le stage est porté par le « **Bureau des données géospatiales** ». Ce dernier est le garant de l’intégrité et de la disponibilité des données géographiques. Son rôle est de récupérer des données d’origines et thématiques variées pour les mettre à disposition des autres services.

Par ailleurs, la conjoncture liée à la pandémie de coronavirus a considérablement affecté le déroulement du stage. En effet, si le stage a pu débuter à la date convenue sur la convention (le 06/04/2020), les deux premiers mois se sont déroulés à distance. Pour des raisons de confidentialité, les services du ministère n’étaient pas en mesure de fournir la base de données sur laquelle le travail devait porter. Une solution alternative a tout de même pu être trouvée, en concertation avec la personne responsable du stage pour le compte du ministère.

A défaut de pouvoir travailler sur la base de données métier, il a été convenu de développer la méthode de création de cartographie multi échelles à partir des données OpenStreetMap, téléchargeables sur le site [www.geofabrik.de](http://www.geofabrik.de). Les résultats obtenus avec les données OSM ayant été jugés convaincant, l’équipe du ministère a choisi d’intégrer le travail réalisé avec OSM comme faisant partie intégrante du stage. Dans ce cadre, deux cartographies multi-échelles , dont l’une réalisée avec les données OSM, sont attendues à la fin du stage.

## 2.2) Organisation du travail : Diagramme de Gantt

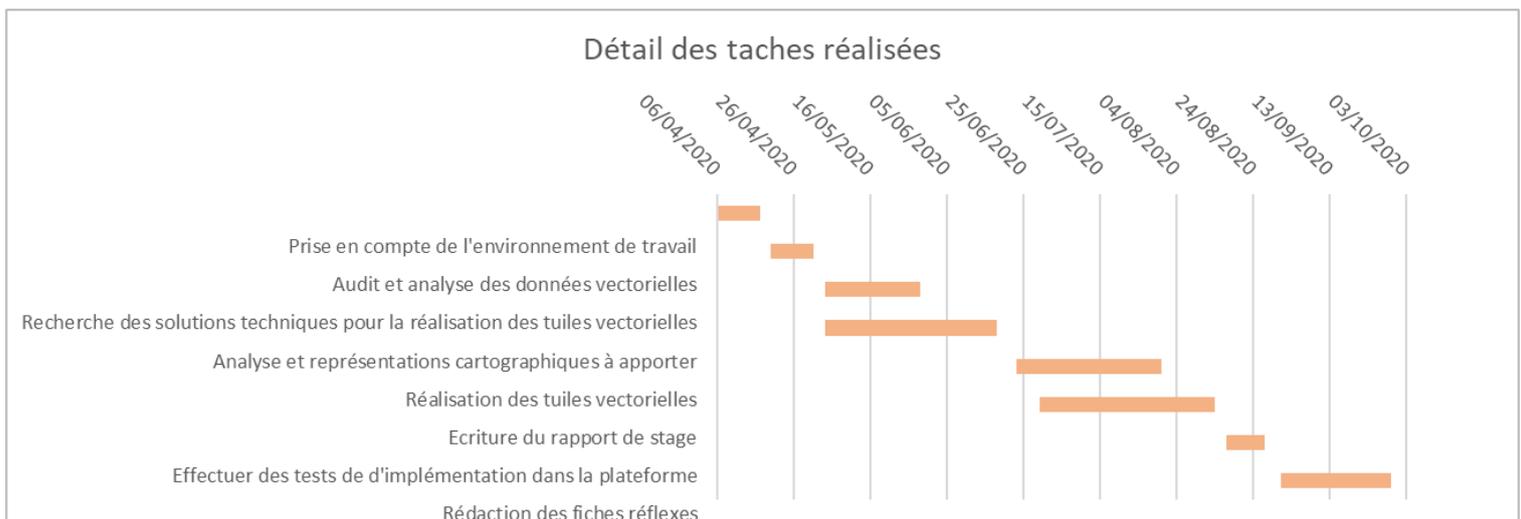


Figure 1 : Diagramme de Gantt.

La **Figure.1** décrit l’organisation temporelle des tâches prévue par les équipes du ministère pour mener à bien ce projet. Deux semaines ont été dédiées à la prise en main du logiciel ArcGIS Pro. Les deux semaines suivantes ont permis d’étudier le jeu de donnée Navstreets. L’objectif étant de se familiariser avec la base et de proposer un premier jet de l’organisation des données dans le fichier de travail

d’ArcGis Pro. L’étape suivante consiste à développer la méthodologie de création des tuiles adaptée aux jeux de données proposés, il s’agissait d’effectuer des tests pour définir les possibilités et les limites de représentation de symboles à l’aide des tuiles vectorielles ; l’idée étant de développer la sémiologie sur des zones particulières pour ensuite l’étendre à l’ensemble du monde.

L’étape de réalisation des tuiles vise à appliquer des chaînes de traitements pour formater les données et les rendre exploitables dans le portail ESRI du ministère. La grande quantité de données implique des traitements assez longs et nécessite 4 semaines pour être menée à bien. Les traitements SIG mis en place sont assez exigeants en termes de ressource machine. Ainsi, il a été décidé de produire le présent rapport sur la même période en faisant fonctionner les algorithmes en arrière-plan.

Enfin, une fois les tuiles vectorielles réalisées, trois semaines ont été dédiées à des tests d’implémentation dans la plateforme du ministère. Les trois dernières semaines de stages ont été mises à profit pour rédiger l’ensemble de la documentation, dans le but d’aider de futurs utilisateurs à prendre en main les produits réalisés au cours du stage.

### **3) Contexte**

#### **3.1) Cartographie multi-échelles : Principes généraux**

A l’inverse des cartes traditionnelles, les cartes multi-échelles ne sont pas figées. Elles sont conçues dans le but d’assurer une représentation continue des données quel que soit le niveau d’échelle choisi. Dans la pratique, cela signifie que l’affichage des données sur le plan cartographique est conditionné par le niveau d’échelle indiqué par l’utilisateur. Le principal défi lors de la réalisation de ce type de carte est de parvenir à représenter de façon homogène des données aux thématiques variées et dont la densité est souvent variable. De nombreux exemples de ce type de représentations tels que Google Maps, OpenStreetMap, ou encore le Géoportail de l’IGN sont facilement accessibles sur le Web.

Pour réaliser une cartographie multi-échelles convaincante, il est possible d’exploiter plusieurs paramètres : l’affichage des entités en fonction des niveaux d’échelle, faire varier la taille ou la couleur des symboles associés à chaque entités et utiliser une projection cartographique appropriée.

Toutefois, pour avoir du sens une carte multi-échelle doit tenir compte de contraintes. La précision de la donnée en entrée doit faire l’objet d’une attention particulière. Par exemple, si une couche décrivant le bâti a été conçue pour être affichée à partir du 1:25000, il n’y a pas d’intérêt à représenter le bâti pour des plages d’échelles plus petites. Le risque est de proposer une représentation peu lisible et peu fluide à la navigation car présentant une densité d’éléments trop importante, et avec une incertitude sur la localisation réelle des bâtiments aux échelles inférieures à 1:25000.

Plusieurs manipulations des données et de sémiologie permettent de proposer un rendu cartographique acceptable. La gestion des niveaux d’échelle est fondamentale dans la production de cartes dynamiques. Chaque niveau d’échelle permet de moduler l’affichage des entités. Généralement une vingtaine de niveaux de zoom sont nécessaires pour balayer l’ensemble de la plage d’échelles du 1:150 000 000 au 1:100. Dans le cadre de ce travail, les niveaux d’échelles sont les mêmes que ceux employés pour le projet OpenStreetMap.

D'autre part, il est possible d'appliquer de légères variations aux symboles en fonction de l'échelle. Cela est particulièrement utile lorsqu'une entité doit être représentée sur une plage d'échelles de large amplitude. Enfin la taille du symbole peut également varier pour en assurer une lisibilité constante, peu importe le niveau d'échelle. Plus rarement, des effets de transparence ou de pointillés peuvent également être utilisés.

### 3.2) Les tuiles cartographiques : une pratique courante pour la diffusion de données géographiques

En cartographie, une tuile se définit comme une partition de l'espace (**Figure.2**) à laquelle des données géographiques sont arrimées. Le tuilage est une pratique courante et tire son origine dans le besoin de simplifier la lecture de larges cartes papiers en proposant des subdivisions composées de séries de cartes à échelles variables. Or, avec l'émergence des outils de cartographie en ligne et l'augmentation des volumes de données disponibles, ce principe est à nouveau largement employé sous une déclinaison numérique.

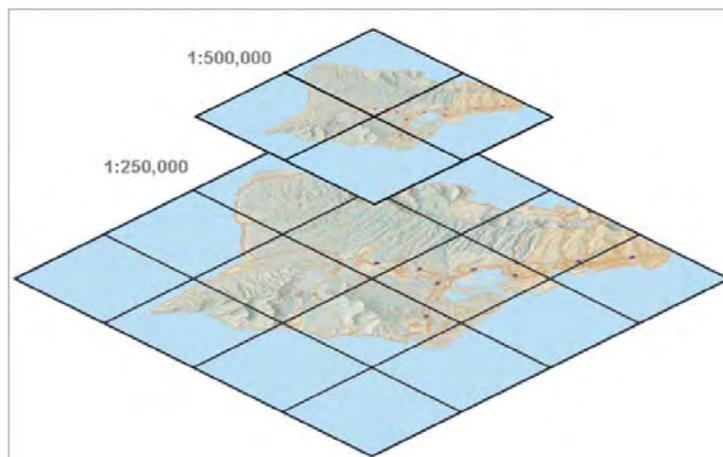


Figure 2 : Maillage de tuiles cartographiques.

Sources : Aide d'ARCMAP :

<https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/map/working-with-arcmap/fundamentals-for-creating-tile-packages.html>

L'intérêt de cette technologie pour la production de cartographie multi-échelles réside dans le fait de rendre consultable, sur n'importe quelle machine, des volumes de données conséquents tout en proposant une navigation fluide à l'utilisateur. L'agrégation de l'ensemble des tuiles permet l'affichage d'étendues géographiques d'emprise mondiale. Les tuiles sont organisées de la façon suivante : plus l'étendue géographique à afficher est large, plus le nombre de tuile diminue et augmente en taille. A l'inverse, le nombre de tuile s'élève à mesure que l'échelle de la carte augmente.

Les tuiles peuvent être lues dans un navigateur. Elles sont généralement délivrées par un serveur de tuiles. (**Figure3**). En effet, lors de la consultation d'une carte interactive, le client effectue une requête vers le serveur de tuiles pour afficher seulement une partie de l'étendue géographique.

De son côté, le serveur a déjà précalculé l'ensemble des tuiles. Le serveur répond alors à la requête en retournant uniquement les tuiles correspondant à l'aire géographique demandée par le client.

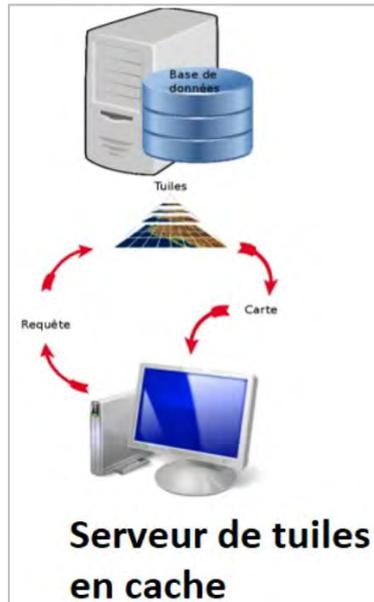


Figure 3 : Interaction client/serveur dans un service de tuiles cartographiques.  
 Source : <https://www.sigterritoires.fr/index.php/geoserver-avance-le-tuilage-principes/>

### 3.3) De la tuile raster à la tuile vectorielle : quelles innovations ?

Les tuiles cartographiques peuvent être générées au format raster ou vecteur, conservant de fait les avantages et inconvénients propres à ces types de fichiers. En fonction des besoins, le choix peut se porter sur l'un ou l'autre des formats. Historiquement, les premiers services de tuiles fournissaient des tuiles au format raster.

Google Maps fait d'ailleurs office de pionnier en la matière en ayant proposé dès 2006 un web service posant les bases du standard, notamment grâce à l'introduction de la projection Web Mercator, largement reprise par d'autres applications concurrentes telles que Bing Map, Open Street Map, ESRI ou encore ORACLE. Du côté des tuiles vectorielles, Google s'est également distingué en étant la première entreprise à proposer cette technologie en version mobile pour le grand public dès 2010 avant de la généraliser à toutes les plateformes en 2013. (Stefanakis,2017). Par le passé, les serveurs de tuiles fournissaient des tuiles au format raster. Ce choix des fournisseurs de web service s'explique en partie par la capacité précoce des navigateurs Web à pouvoir lire des fichiers au format image. Dans ce cas, une maille carrée est appliquée sur l'ensemble du plan cartographique.

Les tuiles raster sont le résultat du découpage de l'image par une maille carrée (**Figure 4**). Par la suite, l'ensemble des images découpées est attribué à l'un des carrés de la maille : on parle d'indexation

Pour les tuiles raster, les niveaux de zoom sont incrémentés et dépendent de la largeur des pixels composant les tuiles. Dans cette configuration, les niveaux de zoom s'apparentent à des seuils et conditionnent l'apparition de nouveaux éléments sur la cartographie multi-échelles lors de la navigation. Autrement dit, l'affichage des entités ne peut varier qu'aux limites des plages d'échelles définies pour chaque tuile.

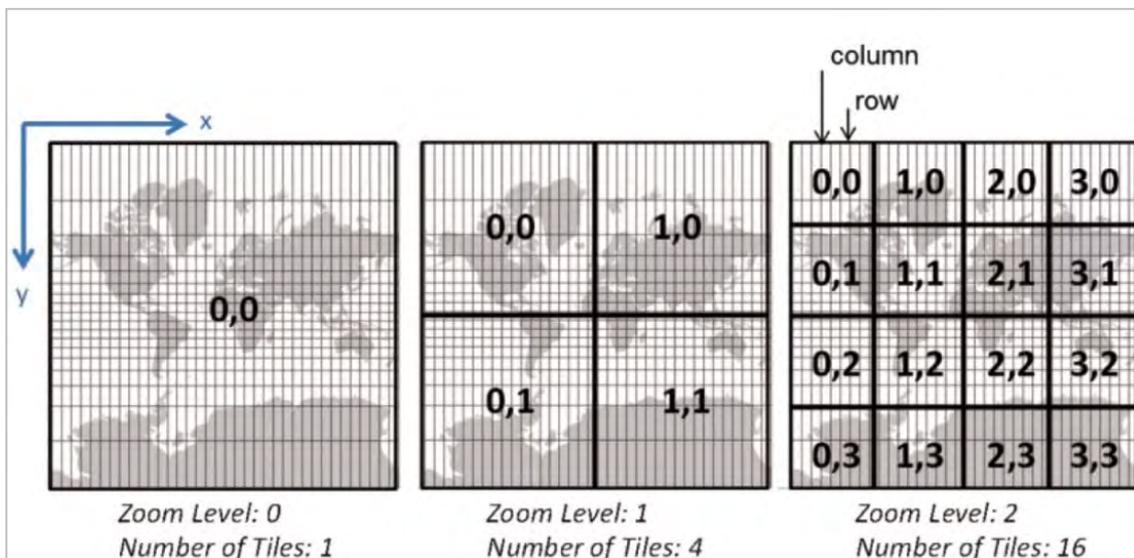


Figure 4 : Format de tuilage de l'application Google Maps.  
Source : (E.Stefanakis,2020)

En pratique, les largeurs de tuiles utilisées sont de 256 ou 512 pixels. Ainsi les pixels des tuiles au niveau de zoom 0 représentant une vue d'emprise mondiale seront plus larges que les pixels des tuiles au niveau de zoom 20, mobilisées pour représenter des objets à l'échelle d'un quartier, par exemple. En principe, une seule et unique tuile est utilisée pour représenter l'ensemble du monde.

Le nombre de tuile varie selon l'équation suivante :

$$\text{Nombre de tuiles} = 4^{NV}$$

Où  $NV$  représente le niveau de zoom.

Le nombre de tuiles augmente d'un facteur 4 pour chaque niveau de zoom franchi. Au niveau 0, on dénombre une 1 tuile, 4 au niveau 1, 16 au niveau 2 et ainsi de suite, jusqu'à atteindre les derniers niveaux.

L'augmentation des puissances de calculs côté client a permis l'émergence d'une nouvelle méthode de tuilage basée sur l'utilisation de tuiles au format vecteur. Dans les grandes lignes, les deux types de tuilages présentent des similarités dans leur mise en œuvre. La partition de l'espace s'effectue également à l'aide d'une maille. Mais le caractère vectoriel des données permet d'appliquer des traitements à toutes les étapes du processus de tuilage. Généralement, un processus de généralisation est appliqué à l'ensemble des entités dans le but d'alléger le poids du fichier en sortie.

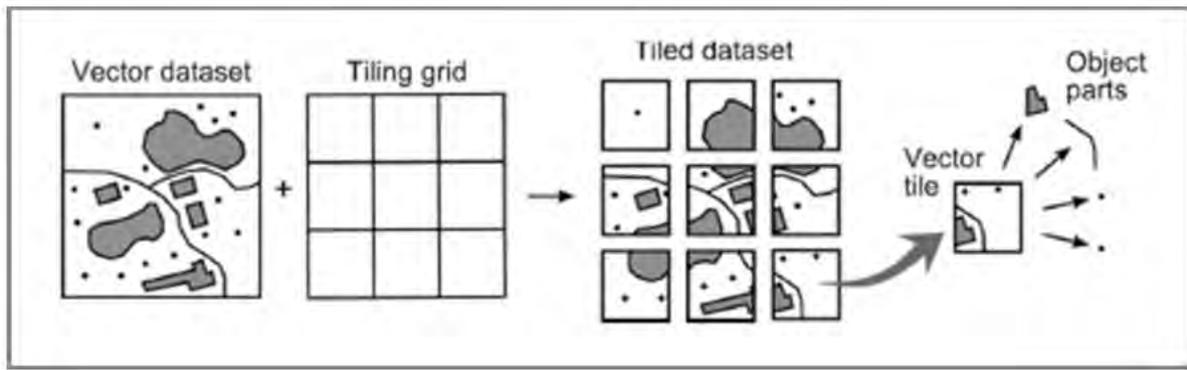


Figure 5 : Processus de création d'une tuile vectorielle.  
Source : (Rostikav et al, 2020)

A l'étape du tuilage, les données peuvent être réorganisées ; si par exemple une entité se retrouve aux limites entre deux tuiles, elle peut être scindée en deux-sous parties et sera affichée sur deux tuiles distinctes. **(Figure.5)**

Le tuilage vectoriel offre de nouvelles possibilités en matière de diffusion et d'interactivité. Les fichiers de tuiles vectorielles sont plus légers que leurs homologues au format raster. Cette propriété constitue un avantage car elle permet de réduire le volume de bande passante utile à l'interaction client/serveur améliorant ainsi la fluidité du service de tuile.

La fluidité est aussi favorisée par l'absence de niveaux de zoom incrémentés. Les tuiles sont toujours rattachées à un niveau d'échelles, représenté par un nombre entier. Or, il est possible d'appliquer des changements d'affichage à l'intérieur des intervalles bornés par deux niveaux de zoom. Par exemple si deux tuiles de niveaux 10 et 11 se suivent il est possible de programmer l'affichage d'élément au niveau 10,5 ; Chose impossible dans le cas de tuiles raster dans la mesure où un l'affichage des images ne peut varier que sur certains seuils de zoom. Cette caractéristique permet d'appliquer des effets de transition à l'affichage des entités plus fins qu'avec les tuiles raster.

La mise en forme des tuiles peut être gérée coté client. Ainsi il est possible de modifier le style et la mise en forme des tuiles, à la volée, directement dans un navigateur. Les éléments au format vecteur conservent leurs propriétés d'adaptation à l'échelle, ce qui permet d'éviter les rendus pixélisés aux échelles les plus petites.

L'affichage des tuiles vectorielles est entièrement dynamique, et autorise la mise en mouvement de certains éléments. Cette propriété permet par exemple de changer l'orientation des étiquettes en cas de rotation de la carte.

Des outils tels que Mapbox GL INSPECT de la bibliothèque Mapbox GL JS, permettent d'effectuer des requêtes et d'afficher les caractéristiques des entités présentes sur la carte (au passage de la souris), au contraire des tuiles raster, où il est nécessaire de créer des « pop-up » pour pouvoir interagir avec la carte.

Enfin les tuiles vectorielles peuvent tenir compte des valeurs attributaires contenues dans les classes d'entités. Par exemple, une sémiologie basée sur un attribut de hauteur, peut permettre de proposer des rendus avec des entités en 3 dimensions.

Tableau 1 : Avantages et inconvénient des tuiles vectorielles.

Tuiles vectorielles	
Avantages	Inconvénients
Réduction de la bande passante coté serveur et client	Nécessite une bonne puissance de calcul côté client
Pas de perte de qualité graphique à grande échelle	La généralisation des données entraine une perte de précision géométrique
Bonne fluidité lors du passage entre les niveaux d'échelle (pas de niveau de zoom incrémenté)	-
Etiquetage dynamique	-
Possibilité d'effectuer des requêtes	-
Représentation 3D	-

Source : <https://labs.webgeodatavore.com/workshop-tuiles-vecteur/introduction-tuiles-vecteur/>

Malgré leurs avantages, les tuiles vectorielles souffrent de deux points faibles (**Tableau 1**). La simplification des géométries, induite par le processus de généralisation des entités, est susceptible de dégrader la précision de la donnée à petite échelle et, il est nécessaire de disposer d'une bonne puissance calcul coté client, pour pouvoir tirer pleinement partie de cette technologie.

### 3.4) La spécification de style Mapbox GL

La société Mapbox, spécialisée dans la mise au point de solution de diffusion de données géographique sur le web, propose une bibliothèque open-source en Javascript (Mapbox GL JS) dédiée à la publication

```

1  {"currentVersion":10.5,
2  "name":"mise en forme données",
3  "copyrightText":"romain",
4  "capabilities":"TilesOnly",
5  "type":"indexedVector",
6  "tileMap":"tilemap",
7  "defaultStyles":"resources/styles",
8  "tiles":["tile/{z}/{y}/{x}.pbf"],
9  "exportTilesAllowed":false,
10 "initialExtent":{"xmin":-20037508.342787001,"ymin":-20037508.342787001,
11 "fullExtent":{"xmin":-20037508.342787001,"ymin":-20037508.342787001,
12 "minScale":1155581.108578,"maxScale":564.24858800000004,
13 "tileInfo":{"rows":512,"cols":512,"dpi":96,"format":"pbf",
14 "spatialReference":{"wkid":102100,"latestWkid":3857},
15 "lods":[{"level":0,"resolution":78271.516961999995,"scale":295828763.7957775},
16 {"level":1,"resolution":39135.758401999947,"scale":147914381.89788851},
17 {"level":2,"resolution":19567.875201000005,"scale":73957190.948944494},
18 {"level":3,"resolution":9783.93960204999903,"scale":36978595.474472001},
19 {"level":4,"resolution":4891.96980102499797,"scale":18489297.737236001},
20 {"level":5,"resolution":2445.9849051249898,"scale":9244648.8686180003},
21 {"level":6,"resolution":1222.9924525624949,"scale":4622324.4343090001},
22 {"level":7,"resolution":611.49622628124496,"scale":2311162.2171545001},
23 {"level":8,"resolution":305.74811314069001,"scale":1155581.1085775001},
24 {"level":9,"resolution":152.87405657027901,"scale":577790.554288499999},
25 {"level":10,"resolution":76.4370282852055,"scale":288895.2771445},
26 {"level":11,"resolution":38.218514142536599,"scale":144447.638572},
27 {"level":12,"resolution":19.109257071268299,"scale":72223.819288999998},
28 {"level":13,"resolution":9.5546285356341496,"scale":36111.909642999999},
29 {"level":14,"resolution":4.7773142678170748,"scale":18055.9548215},
30 {"level":15,"resolution":2.3886571339746649,"scale":9027.977410999998},
31 {"level":16,"resolution":1.19432856698734,"scale":4513.9887054999999},
32 {"level":17,"resolution":0.59716428342792503,"scale":2256.9943524999999},
33 {"level":18,"resolution":0.29858214177990845,"scale":1128.4971765},
34 {"level":19,"resolution":0.14929107082398425,"scale":564.2485880000004}}],
35 "minzoom":8,"maxzoom":19,"minLOD":0,"maxLOD":16,
36 "resourceInfo":{"styleVersion":8,"tileCompression":"gzip","cacheInfo"

```

Figure 6 : Exemple d'un fichier de style respectant la spécification de style Mapbox.

de tuiles vectorielles. L'efficacité des temps de chargement et de téléchargement alliée à l'utilisation d'un format ouvert (.json) dans les applications Mapbox a contribué à faire de la librairie Mapbox GL un standard pour la diffusion de tuiles vectorielles. En effet, de nombreux sites web et fournisseurs de services de cartographie (ESRI, OSM, etc..) en ligne utilisent cette spécification. Le format .json est dérivé du langage JavaScript. Il permet de stocker des informations de façon structurée. Il est spécialement conçu pour l'échange de données entre application serveur et cliente. Un fichier conforme à la spécification de style Mapbox GL comporte une suite d'objet définis par Mapbox. La relation entre objets et paramètres s'effectue à l'aide la notation « : ». Certains objets peuvent être

définis par un paramètre global tandis que d'autres peuvent être définis par des listes de paramètres. Par ailleurs les objets de style Mapbox peuvent présenter trois fonctions différentes : donner de l'information à l'utilisateur, définir les éléments à afficher sur la carte, et proposer des options d'interactivité.

Par exemple, le fichier .json ci-dessus (**Figure.6**) regroupe l'ensemble des informations nécessaires à la lecture d'une tuile vectorielle. On y retrouve les informations générales, relatives à une cartographie multi-échelles telles que le nom de la carte (« name »), le système de projection (« SpatialReference »), le nombre de pixels par tuile (« TileInfo ») ou encore les échelles correspondant à chaque niveau de zoom (« levels »).

Un fichier Json permet d'établir des connexions vers d'autres fichiers. Les informations concernant le style des couches sont stockées dans la propriété « default\_style » dont le paramètre pointe vers un autre fichier « style.json » contenu dans un répertoire voisin nommé « ressources ».

### 3.5) Le tuilage vectoriel dans l'environnement ESRI

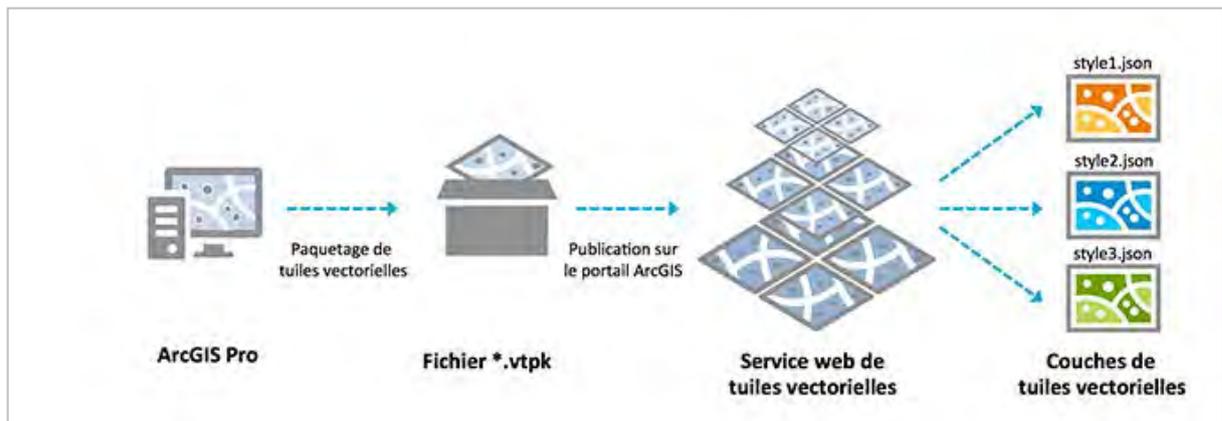


Figure 7 : Création et diffusion d'un paquetage de tuiles vectorielles dans l'environnement ESRI.

Source : Tirer profit de la puissance des tuiles vectorielles, <https://www.arcorama.fr/2016/03/tirer-profit-de-la-puissance-des-tuiles.html>

ESRI propose un environnement complet et intégré permettant de gérer l'ensemble des étapes de création et de diffusion des tuiles vectorielles. La première étape consiste à définir les paramètres de sémiologie et d'échelle des classes d'entité dans Arcgis Pro. A l'issue des traitements, les tuiles vectorielles sont stockées dans un format de fichier appelé « **paquetage de tuiles vectorielles** » portant l'extension .vtpk, et respectant la spécification de style Mapbox GL. (Figurr

En revanche l'utilisation des tuiles vectorielles se heurte à plusieurs limites. Pour réduire le volume de données, il est nécessaire de faire certaines concessions en matière de symbologie. Les symboles complexes ayant recours à plusieurs styles alourdissent considérablement les fichiers et ne sont pas affichés correctement dans les paquetages de tuiles vectorielles. C'est pourquoi il convient d'éviter d'utiliser des symboles tels que des polygones hachurés ou des traits pointillés trop fins.

### 3.5.1) Contenus et structure des fichiers de paquetage de tuiles

Un fichier « .vtpk » est une archive zippée contenant les informations nécessaires pour l'interprétation et l'affichage des données par l'ensemble des outils ESRI. (Figure8)

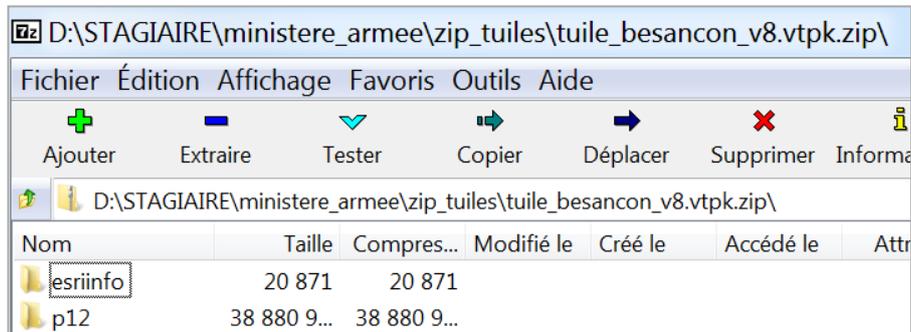


Figure 8 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile

Deux répertoires sont présents dans un fichier vtpk. Le répertoire « Esriinfo » contient un fichier XML et un fichier au format pk.info (format propriétaire d'ESRI). Ces deux fichiers sont spécifiques à ESRI et permettent aux tuiles vectorielles d'être lues dans les applications de partage tel qu'Arcgis Online ou Arcgis Server, ou en local, à l'aide d'Arcmap ou Arcgis Pro. Le répertoire « thumbnail » contient un extrait de la cartographie au format .png servant d'illustration pour que l'utilisateur puisse retrouver, partager son travail plus facilement une fois déposé sur un portail ESRI. (Figure9)

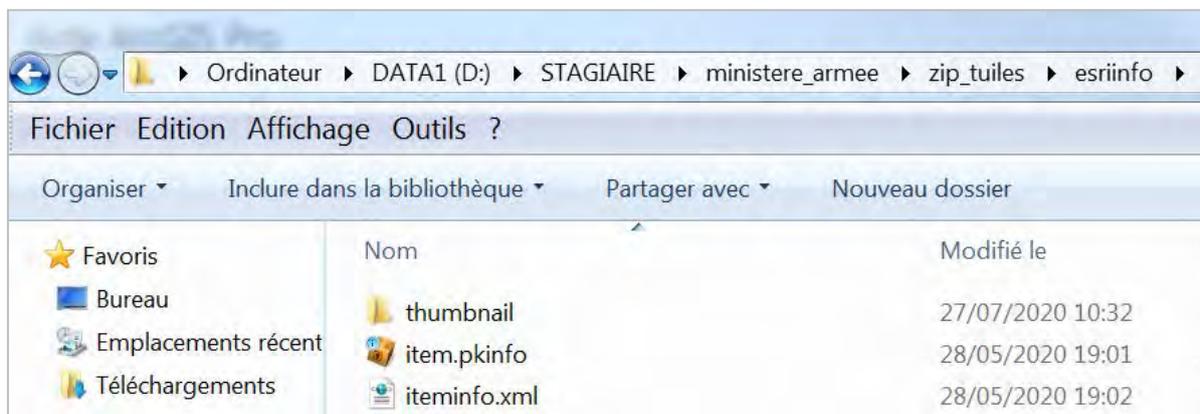


Figure 9 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « esriinfo »).



Figure 10 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « p12 »).

Le répertoire « P12 » (**Figure.10**) contient l'ensemble des fichiers nécessaires à la lecture des tuiles. Le fichier « root.js » (**Figure.6**) est accompagné d'un fichier de métadonnées qui décrit les couches présentes dans les tuiles.

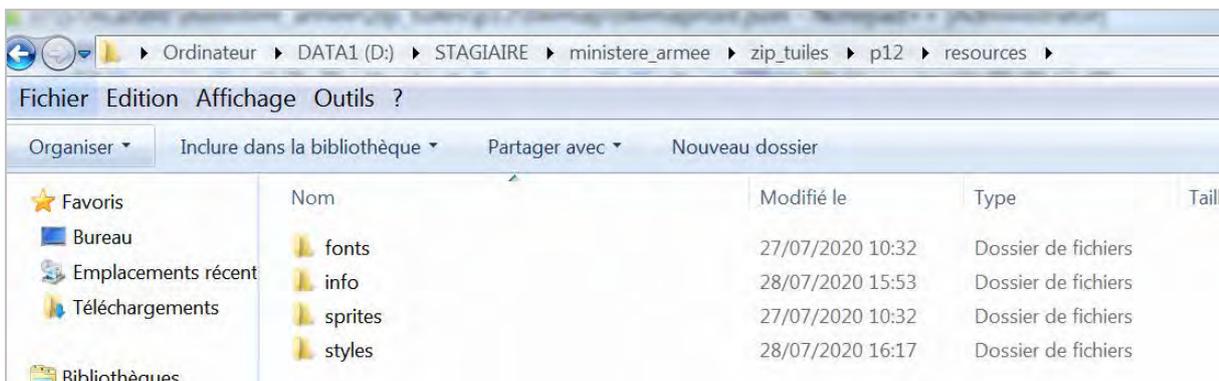


Figure 11 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « ressources »).

Le répertoire « ressources » rassemble l'ensemble des contenus nécessaires à l'application des paramètres de sémiologie. Les polices utilisées pour l'étiquetage sont regroupées dans le dossier « fonts ». Tandis que le dossier « sprites » contient les fichiers svg utilisés pour la symbologie des entités ponctuelles.

Enfin l'ensemble des paramètres de sémiologie des couches et d'étiquetage sont stockés dans le fichier style.json du répertoire « styles » (**Figure.11**). C'est dans ce fichier que viennent s'écrire l'ensemble des paramètres de sémiologie appliqué à partir de la fenêtre de définition d'Arcgis Pro. C'est également ce fichier qui sert de base aux modifications de style apportées à la volée par le biais des applications de partage en ligne d'ESRI. L'exemple de la (**Figure.12**) illustre le passage de l'interface d'Arcgis pro au format .json pour un symbole de route secondaire. Ce symbole est constitué de deux lignes superposées, la première sert à localiser l'emprise spatiale des routes, tandis que l'autre, plus large, permet d'en réaliser les contours.

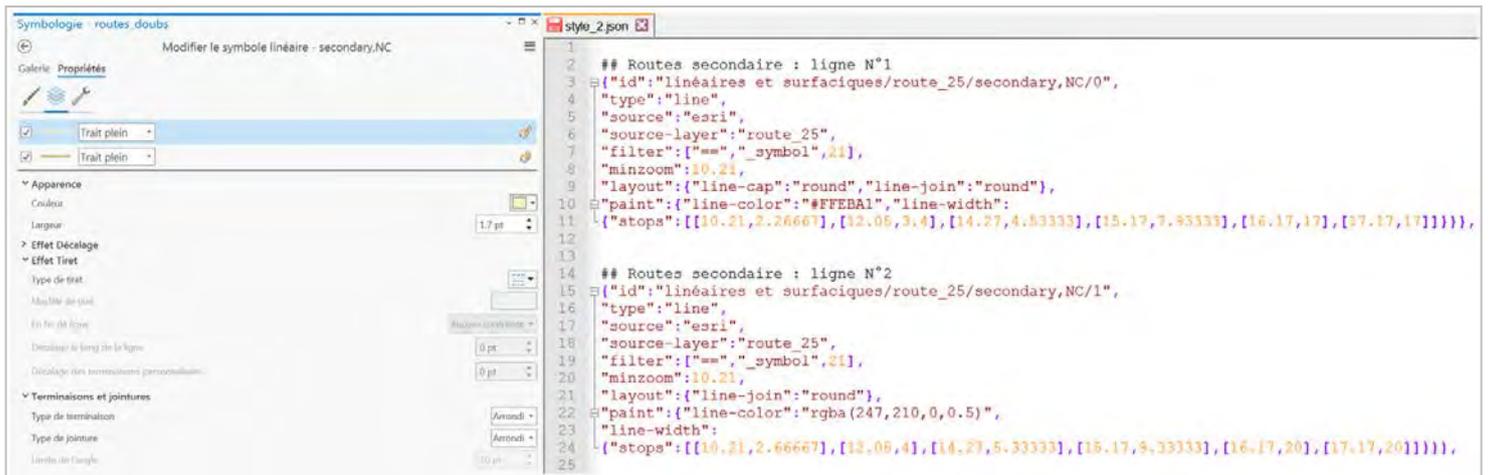


Figure 12 : Ecriture des paramètres d'étiquetages dans un fichier ".Json".

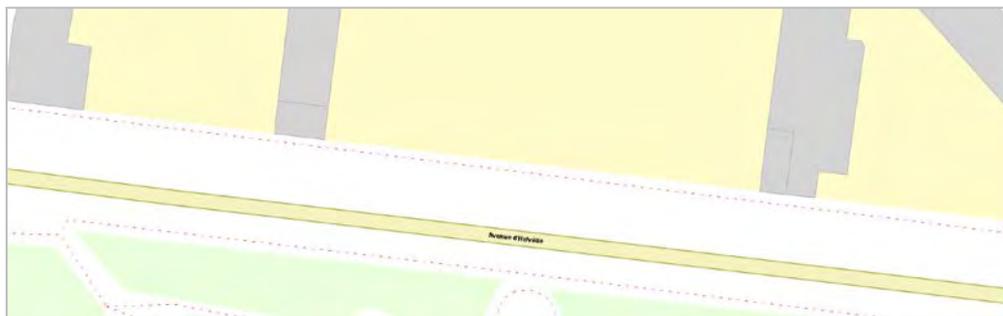


Figure 13 : Exemple de symbole représentant un axe routier.

Même si le symbole concerne une seule couche d'entité, deux objets représentant chacun l'un des styles appliqués aux symboles linéaires, sont créés dans le fichier style.json. Les propriétés des objets décrivent les caractéristiques suivantes :

-« **id** » La propriété « id » permet de définir un identifiant unique pour chaque symbole. Elle est construite selon ce modèle :

« id » : « *Nom du groupe de couche dans Arcpro/Nom de la couche/Nom de l'attribut/Ordre d'affichage* »

-« **type** ». Indique si la donnée est de type ponctuel, linéaire ou surfacique ;

- « **source** ». Indique l'origine et la donnée à afficher. Il peut s'agir d'une url si l'information est stockée sur un serveur distant ;

-« **source\_layer** ». Cette propriété indique sur quel jeu de donnée (classes d'entité, shapefile, etc...) les paramètres de style doivent s'appliquer;

-« **filter** ». Cette propriété indique l'ordre d'affichage des symboles par rapport aux autres symboles de la couche.

-« **minzoom** ». Indique le niveau d'échelle à partir duquel l'entité doit s'afficher ;

-« **layout** ». Indique la manière dont les entités doivent être dessinées, dans cet exemple, la propriété indique la forme (arrondie ou tronquée) des terminaisons et des jonctions des entités linéaires ;

-« **paint** » indique la couleur et la largeur des entités linéaires ;

-« **stops** » dans cet exemple, la propriété « stops » complète « paint » en définissant les tailles de symbole en fonction du niveau d'échelle. La propriété se lit de la façon suivante :

« stops » : `[[niveau d'échelle,taille de symbole]]`

Les propriétés d'étiquetage sont également renseignées dans le fichier style.json. Le style d'étiquette présente presque les mêmes propriétés que pour les entités linéaires à quelque exception près :



Figure 14 : Ecriture de paramètre d'étiquetage dans un fichier « .Json ».

-« **type** » la propriété est de type « symbol » ;

-« **layout** » indique la police d'écriture utilisée ;

-« **text-size** » et « **text-letter-spacing** » indique les propriétés de taille et d'espacement des caractères ;

-« **paint** » renseignée par les propriétés « **text-color** », « **text-halo-color** » et « **text-halo width** » décrit la manière dont le texte et les contours d'étiquettes doivent être affichés ;

### 3.5.2) Méthode d'indexation

Enfin, ESRI propose un système de maillage particulier. Ce dernier ne s'effectue plus de façon uniforme sur l'ensemble de l'espace géographique. En effet, la largeur des tuiles dépend de la densité de données disponibles sur zone. Plus la quantité de données sur une aire considérée est importante plus la taille des tuiles sera réduite. A l'échelle du monde, une maille de tuile vectorielle (index selon la dénomination ESRI) présente des disparités de densité induites par la largeur des tuiles. Globalement, les espaces fortement urbanisés des pays riches, où les données sont généralement bien fournies, présentent des portions de maille très fines. **(Figure 15)**

A l'inverse, les océans, où la densité d'aménagement est nulle présentent des structures de mailles bien plus élargies. Cette opération permet de libérer de la mémoire en limitant le nombre de tuiles produites.

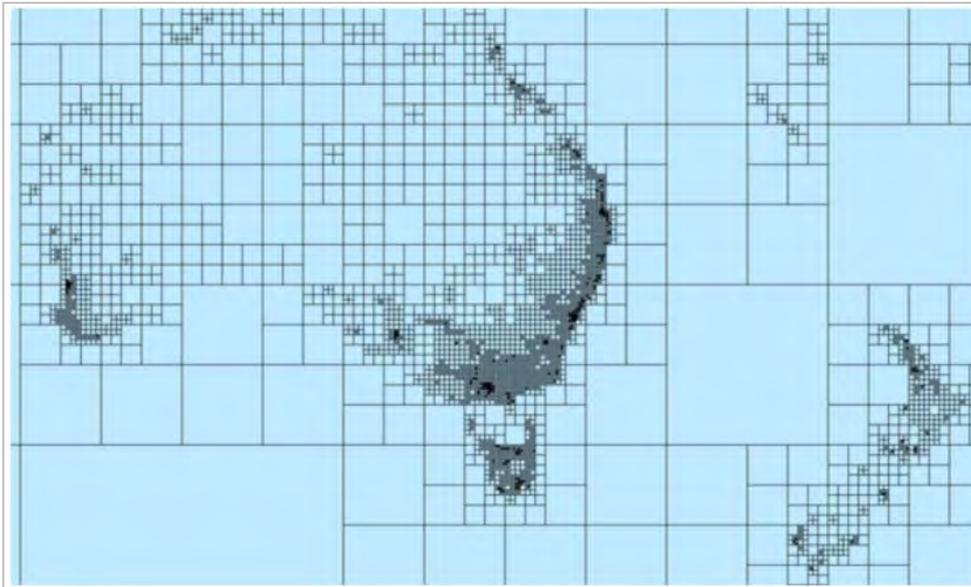


Figure 15 : Méthode d'indexation dans l'environnement ESRI.  
Documentation d'Arcgis Pro 2.3

## 4) Matériel et méthodes

### 4.1) Données utilisées

#### 4.1.1) Base Navstreets

Les données Navstreets sont produites par la société HERE. L'objectif initial de cette base de données est de fournir des informations exploitables par géocodage pour des applications de navigation routière. A ce titre, elle contient des informations, quasi exhaustives portant sur les linéaires de voiries et les adresses. De plus, des points d'intérêts recensant les localisations de l'ensemble des équipements urbains sont inclus dans la base. Des éléments paysagers permettant l'habillage de la carte sont également renseignés ; il s'agit notamment des grands espaces forestiers, des surfaces en eau ou encore des complexes industriels et de transports. Toutefois, la couverture des données peut varier de façon importante selon les zones géographiques.

L'organisation des données est optimisée pour fonctionner avec l'environnement ESRI. En effet, les données sont livrées dans 9 Géodatabases, correspondant chacune à des emprises d'envergure continentales. Le tableau ci-dessous catalogue l'ensemble des couches de données utilisées pour la réalisation de la cartographie multi-échelle NAVSTREET. Les classes d'entités citées sont présentes dans l'ensemble des géodatabases.

La base de données NAVSTREET présente une particularité (**Figure.16**). L'ensemble des informations relatives aux entités n'est pas contenu dans les classes d'entités. Des tables non spatiales sont incluses dans les géodatabase et peuvent, le cas échéant, être jointes aux classes d'entités pour apporter des précisions

Tableau 2: Données Navstreets utilisées pour la réalisation de la carte multi-échelles.

Données NAVSTREETS	Type d'entités	Entités décrites
MapAdminLINK	Linéaire	Frontières
MapAdminArea	Linéaire	Limites administratives
City_POI	Ponctuels	Localisation des villes et lieux dits
POI	Ponctuels	Points d'intérêts
LINK	Linéaire	Axes routiers et maritimes
MapRailroadLINK	Linéaire	Chemin de fer
MapFacilityArea	Surfacique	Zones d'activité
MapLanduseArea	Surfacique	Occupation du sol
MapBuildingArea	Surfacique	Emprises des bâtiments
MapAdminBUILTUPArea	Surfacique	Zones bâties
MapWaterLink	Linéaire	Rivières
MapWaterArea	Surfacique	Surfaces en eau
MapWaterOcean	Surfacique	Zones maritimes
MapIslandArea	Surfacique	Espaces Insulaires

Figure 16 : Arborescence d'une géodatabase contenant des données NAVSTREETS.

#### 4.1.2) Base OpenStreetMap

Lancé en 2004 par l'University College de Londres, OpenStreetMap est un projet de cartographie collaborative. L'objectif est de proposer une base de données géographique recensant l'ensemble des éléments paysagers à l'échelle mondiale. La base de données est tenue à jour quotidiennement par des milliers de contributeurs et accessible à tous.

La finesse des informations proposées et la facilité d'accès aux données font de la base de données OSM un outil particulièrement bien adapté pour un projet de cartographie multi-échelles. Par ailleurs les données OSM sont employées dans de nombreuses applications telles que le calcul d'itinéraires, l'analyse de structures urbaines, ou encore le soutien d'opération humanitaires. Néanmoins la couverture de la donnée à l'échelle globale est inégale et dépend totalement de la volonté des contributeurs lorsqu'ils choisissent de cartographier une zone plutôt qu'une autre.

Ainsi, les zones les plus communément couvertes se situent dans les pays occidentaux tandis qu'un déficit de couverture demeure dans les pays où l'accès aux technologies numériques s'avère plus restreint. D'autre part, les champs attributaires relatifs aux noms des entités sont généralement renseignés selon les langues locales des contributeurs. Pour éviter tout problème de compréhension, il convient donc de tenir compte du niveau de langue étrangère de l'utilisateur final avant de décider d'exploiter les données OSM. Une douzaine de couche de la base a été utilisées au cours de ce projet : Les données OSM peuvent être directement exportées depuis la plateforme. Mais elles sont fournies au format (.osm), ce qui les rend compliquées à traiter dans un SIG. (Géofabrik)

Tableau 3 : Données OSM utilisés pour la réalisation de la carte multi-échelles.

Données OpenstreetMap		
Nom	Type d'entités	Entités décrites
gis_osm_roads_free_1.shp	Linéaire	Routes
gis_osm_pois_a_free_1.shp	Ponctuel	Points d'intérêts
gis_osm_railways_free_1.shp	Linéaire	Chemin de fer
gis_osm_pois_free_1.shp	Surfacique	Zones d'activité
gis_osm_landuse_a_free_1.shp	Surfacique	Occupation du sol
gis_osm_buildings_a_free_1.shp	Surfacique	Emprises des bâtiments
gis_osm_water_a_free_1.shp	Surfacique	Surfaces en eau
gis_osm_natural_free_1.shp	Ponctuel	Sites naturels remarquables
gis_osm_waterways_free_1.shp	Linéaire	Etiquetage des surfaces en eau
gis_osm_places_free_1.shp	Ponctuel	Villes et lieux dits
gis_osm_pofw_free_1.shp	Ponctuel	Lieux de cultes

Est une société allemande dont les activités se concentrent sur l'extraction, la gestion et l'exploitation de données OpenStreetMap. Elle propose deux versions de ces données : la première, payante, présente l'ensemble des attributs présents dans les bases OSM. La seconde, gratuite, est fournie avec un nombre d'attribut réduit mais largement suffisant pour proposer une cartographie précise, en particulier dans les espaces urbanisés des pays développés. C'est pourquoi cette dernière a été choisie pour la mise en œuvre de ce projet.

## 4.2) Traitements effectués

### 4.2.1) Marche à suivre pour réaliser une tuile vectorielle

L'objet de cette partie est de passer en revue les différentes étapes de production de tuiles vectorielles dans l'environnement ESRI. Six étapes sont nécessaires pour réaliser des tuiles. Les mêmes opérations ont été appliquées aux données NAVSTREETS et OSM.

Arcgis Pro propose des fonctionnalités dédiées à la production de tuiles vectorielles. La fonction « **créer un index de tuile vectorielle** » permet de produire la maille à laquelle les données géographiques sont rattachées. Cet outil est conçu pour rentrer en paramètre de l'outil « **Créer un paquetage de tuiles vectorielles** » (Figure17)

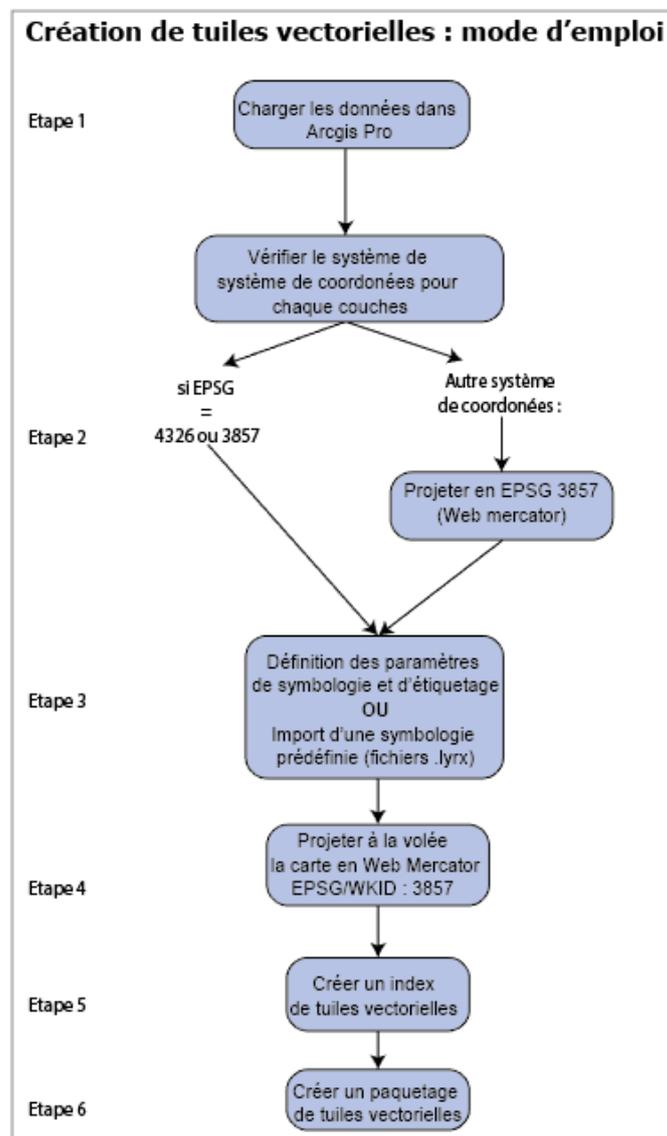


Figure 17 : Création de tuiles vectorielles : mode d'emploi.

#### 4.2.1.1) Etape N°1 et 2 : Chargement des couches et vérification de la projection

Après avoir chargé les classes d'entités dans l'outil (**Figure17 : Etape 1**) il est nécessaire d'en vérifier la projection. En effet, si comme dans le cas de ce travail, l'utilisateur souhaite publier les tuiles dans l'un des outils ESRI (**Figure17 : Etape 2**), il est nécessaire de travailler avec des couches projetées en Web Mercator.

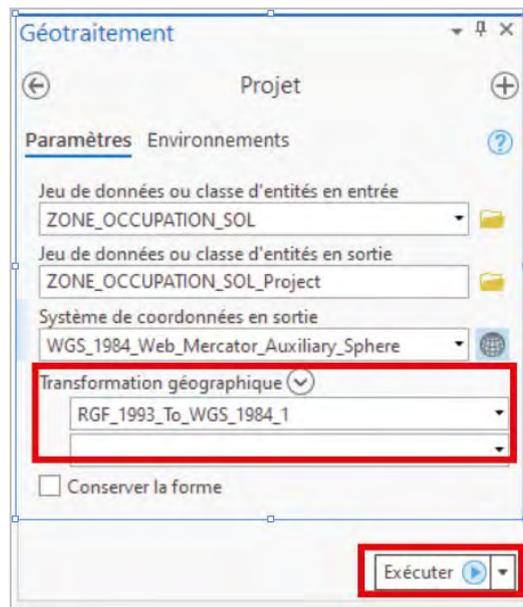


Figure 18 : Conversion de la projection du Lambert 93 vers le Web Mercator.

La Projection d'une classe d'entités peut être modifiée à l'aide de l'outil « **Projet** » de la boîte à outil « **Outils de gestion de données** ». Dans l'exemple ci-dessus, la projection subit une transformation pour passer du Lambert 93 au Web Mercator. (**Figure18**)

#### 4.2.1.2) Etape 3 : Définition des paramètres de sémiologie

**L'Etape 3, (Figure.19)** constitue le point central du travail de conception de la cartographie multi-scalaire. C'est à ce stade que les paramètres de sémiologie sont appliqués aux classes d'entités. Deux options sont possibles : soit en les paramétrant à la main, soit en appliquant un fichier de style précédemment mis en place par un autre utilisateur. L'utilisateur dispose de plusieurs possibilités pour paramétrer l'affichage d'un symbole, rassemblés dans l'onglet « **échelle** » de la fenêtre d'édition de symbologie. Les paramètres de sémiologie utilisés pour ce projet sont inspirés de styles d'outils de cartographie en ligne tels que Google Maps, OpenStreetMap (routes et points d'intérêts), du géoportail de l'IGN, des styles de Mapbox, ou encore les applications de navigation des sociétés Michelin et Tomtom.

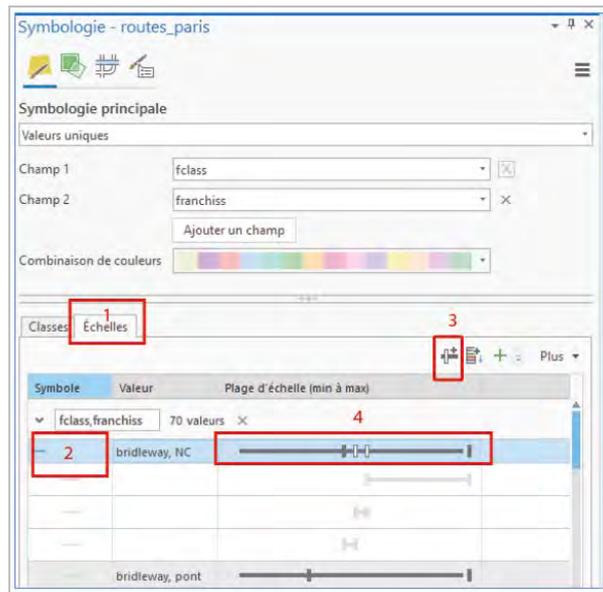


Figure 19 : Fenêtre de paramétrage de la symbologie.

- La plage de visibilité :

Faire varier la position du curseur (**Figure19**) permet de définir des plages de visibilité des entités. Ce paramètre permet de définir des bornes au-delà desquelles les entités ne pourront plus s'afficher sur la carte. D'autre part il est possible de contraindre l'affichage des entités en fonction de l'échelle en utilisant la fenêtre de gestion des « **Plages de visibilité** » (**Figure 20**). Cela permet d'économiser des ressources machines et d'améliorer la lisibilité de la carte en réduisant la densité de données à afficher.

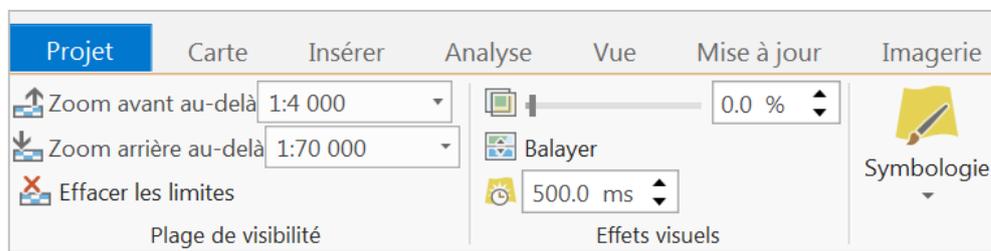


Figure 20 : Plage de visibilité.

Dans cet exemple, les entités seront visibles sur une plage d'échelle allant du 1:70 000 au 1:4 000.

- Symboles et rappels

Dans certains cas, il peut être intéressant de modifier les symboles en fonction de la plage d'échelle. (**Figure.21**) Cette propriété peut s'avérer utile pour cartographier les localisations des points d'intérêts sans trop alourdir leur représentation en cas de forte densité de points.

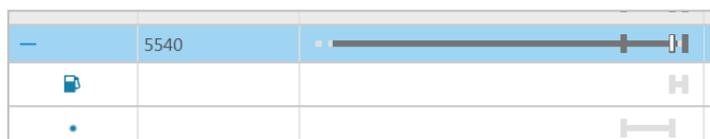


Figure 21 : Changement de sémiologie en fonction de l'échelle : l'exemple d'une entité ponctuelle.

Cette caractéristique est déclinable pour l'ensemble des entités. Elle est également utilisée pour l'affichage des routes, des frontières et de certaines classes d'occupation du sol.

- Taille des symboles

Les linéaires de voiries s'affichent généralement sur de larges plages d'échelles. Par défaut, la taille des symboles est modifiée en fonction de l'échelle choisie par l'utilisateur. Cette caractéristique peut occasionner des problèmes de lisibilité. **(Figure 22)**

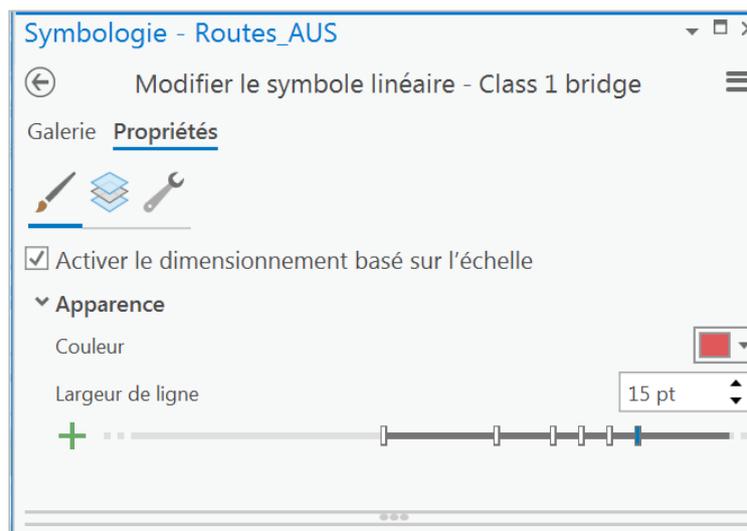


Figure 22 : Modification de la taille d'un symbole en fonction de l'échelle.

Pour pallier à ce problème, l'option « **Activer le dimensionnement basé sur l'échelle** » permet de forcer la taille d'un symbole pour une échelle donnée. Dans le cas de la mise en forme des routes, cela permet d'obtenir des tronçons proposant des proportions harmonieuses par rapport au reste des entités.

#### 4.2.1.3) Etape 4 : Projection du projet et définition des métadonnées

Pour pouvoir proposer un fichier interprétable par les outils web ESRI, la projection du projet doit être réglée sur Web Mercator (WKID = 3857) **(Figure 24)**. Cette projection est utilisée car elle présente l'intérêt de ne pas déformer la géométrie des entités quel que soit l'échelle, et l'endroit choisis.

Les paquetages de tuiles vectorielles sont destinés à être exploités dans des applications Web. Il est donc nécessaire de renseigner un minimum de métadonnées. (Figure 23)

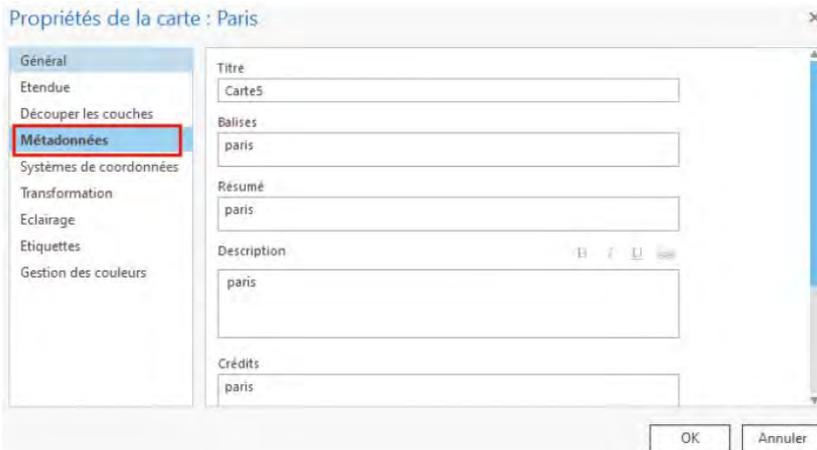


Figure 23 : Définition des métadonnées

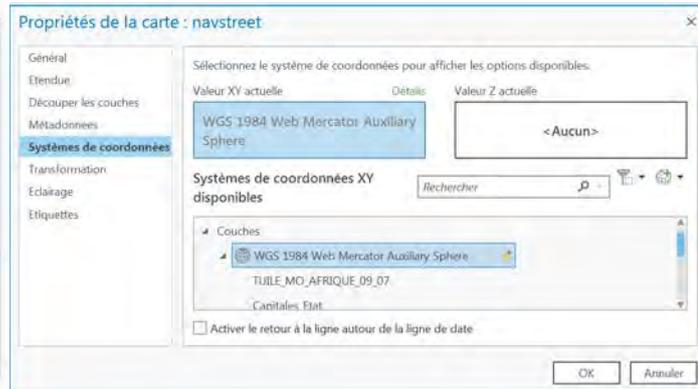


Figure 24 : Projection en Web Mercator

#### 4.2.1.4) Etape 5 : Création de l'index de tuiles vectorielles

L'index de tuiles vectorielles est l'élément qui permet à l'outil de segmenter l'espace, en fonction de la densité de données présentes (Figure.25). L'index rentre dans les paramètres de l'outil de création de tuiles vectorielles. Il est généré à l'aide des données chargées dans la carte.

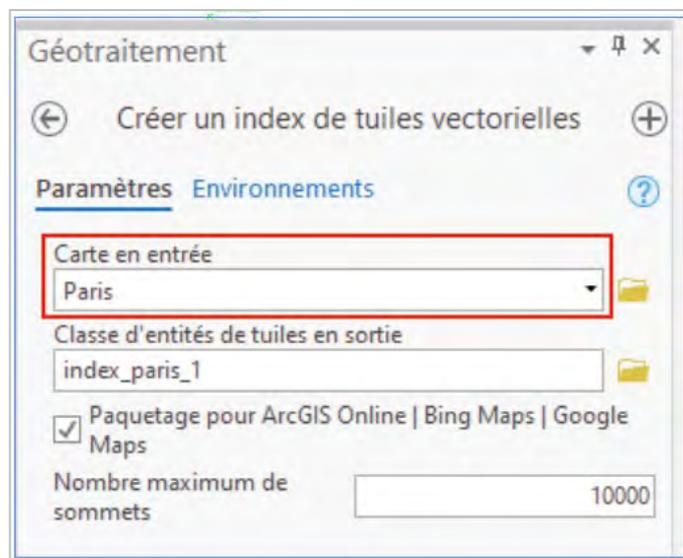


Figure 23 : Création d'un index de tuiles vectorielles

Un nombre de données maximum par unité spatiale est défini lorsque qu'un nouvel index est créé. Cela signifie qu'il faut calculer un nouvel index à chaque fois que l'on ajoute des données à la carte. Dans le cas contraire, les données risquent de ne pas s'afficher conformément aux choix réalisés par l'utilisateur.

Par défaut l'outil propose de produire un index prévu pour générer des tuiles compatibles avec Google maps, Arcgis Online et Bing Maps. Il tout de même possible de changer ce paramètre pour produire des tuiles compatibles avec d'autres outils.

Enfin, définir le nombre maximal de sommets permet d'influer sur la taille des tuiles. Toutefois, utiliser des tuiles peu nombreuses et trop grandes, ou trop nombreuses et trop petites, peut dégrader les performances lors de la navigation. En sortie, la classe d'entités se présente comme une maille carrée dont la densité varie spatialement en fonction de la quantité de données sous-jacentes

#### 4.2.1.5) Etape 6 : Création du paquetage de tuiles vectorielles

L'étape finale, (N°6, **Figure.26**) consiste à générer les tuiles à l'aide de l'outil « **créer un paquetage de tuiles vectorielles** ». Le résultat en sortie est un fichier .vtpk directement mobilisable dans les outils d'ESRI.

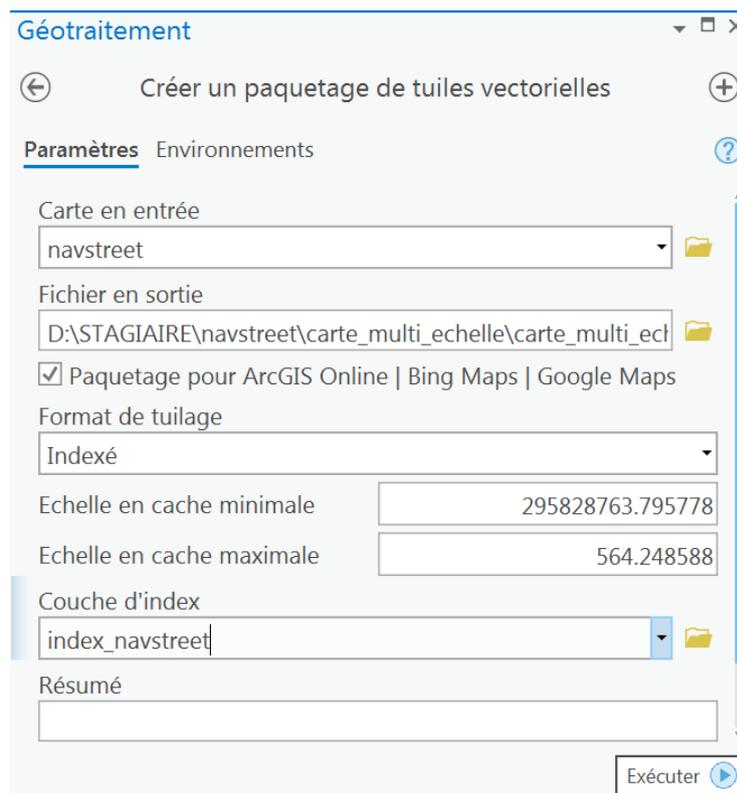


Figure 24 : Création d'un paquetage de tuiles vectorielles.

Choisir le format de tuilage indexé, permet d'utiliser les polygones d'index optimisés générés à la (**Figure.25**). Il est également possible de modifier la plage de visibilité des tuiles. En effet, l'échelle en cache minimale proposée par défaut correspond à une représentation bien trop large alors qu'une borne maximale d'échelle placée au 1:150 000 000 est suffisante pour afficher l'ensemble du monde.

#### 4.2.2) Traitements des données : Navstreets

Il est impossible de tenir compte de l'ensemble des zones géographiques du monde pour réaliser la sémiologie de la cartographie multi-échelles. Les données NavStreets étant fournies par zones continentales il a été décidé de définir la sémiologie sur les classes d'entités correspondant à l'emprise de l'Afrique et du Moyen-Orient. (Figure.27)

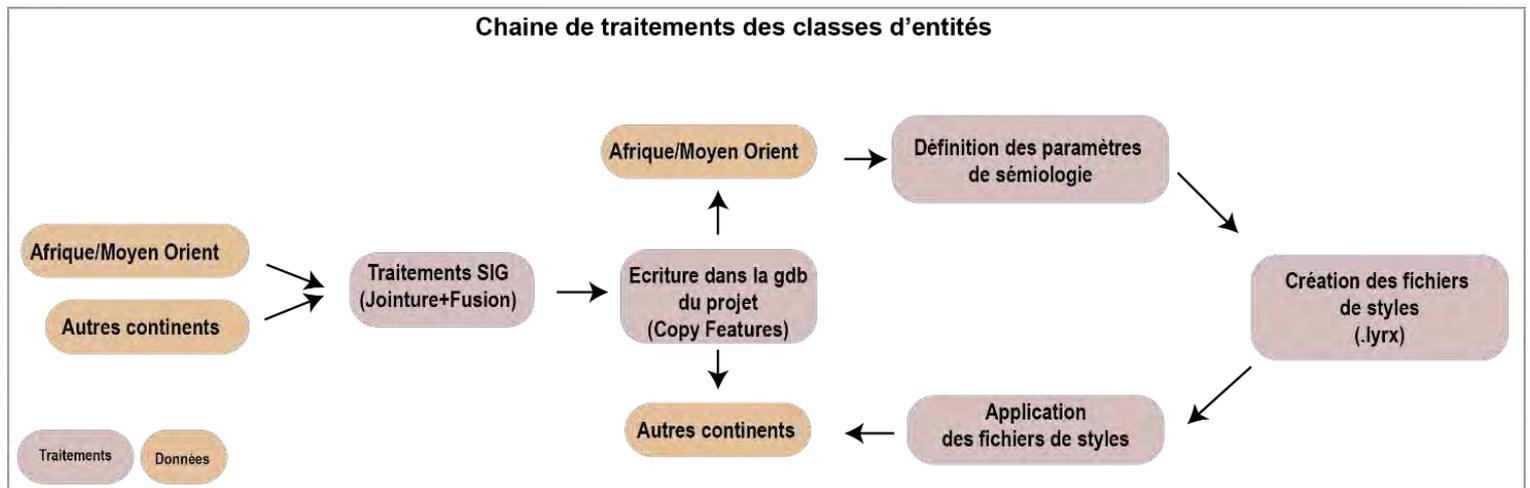


Figure 25 : Traitements SIG appliqués aux données Navstreets.

Cette zone présente la particularité d'être la moins fournie en données, ce qui permet de réduire les temps de calculs liés aux traitements et l'application des symboles. Une fois définis, les paramètres de sémiologie sont enregistrés dans des fichiers de couches aux formats .lyrx.

Pour terminer le paramétrage de la symbologie à l'échelle globale, il suffit d'appliquer la sémiologie aux classes d'entités des autres continents à l'aide des fichiers de couche. Le même principe est appliqué pour la représentation des données OSM

D'autre part, le fait que la donnée soit livrée dans plusieurs géodatabases d'emprises continentales permet d'affiner la sémiologie en tenant compte des disparités géographiques locales. La densité des aménagements, l'occupation du sol, ou encore le découpage administratif varient de manière importante en fonction des localisations géographiques. Dès lors, obtenir un résultat lisible en tous points de la carte et faisant ressortir les éléments principaux du paysage par l'application d'une sémiologie identique à l'ensemble du monde apparaît être un exercice difficile. Si dans le cas de la donnée Navstreets, la faible couverture des données d'occupation sol et le faible nombre d'attribut caractérisant les réseaux routiers permettent de gommer ces effets, cela est beaucoup plus visible dans le cas des données OSM.

La forte variation de la quantité de donnée en fonction des lieux et le nombre important d'attributs décrivant certaines couches (comme c'est le cas avec les données OSM) peut s'avérer problématique.

Avec ces données, une sémiologie efficace définie à l'échelle d'une ville moyenne française (Besançon) peut s'avérer totalement illisible une fois appliquée à un des ensembles beaucoup plus denses (du point de vue des aménagements) comme l'on peut en trouver de long de la côte Est des Etats-Unis par exemple.

#### 4.2.2.1) Emprises des Etats

Les emprises des Etats ne sont pas renseignées dans les classes d'entités des données Navstreets. Or disposer de cette information peut s'avérer utile pour permettre à l'utilisateur de se repérer grâce à l'étiquetage des pays.

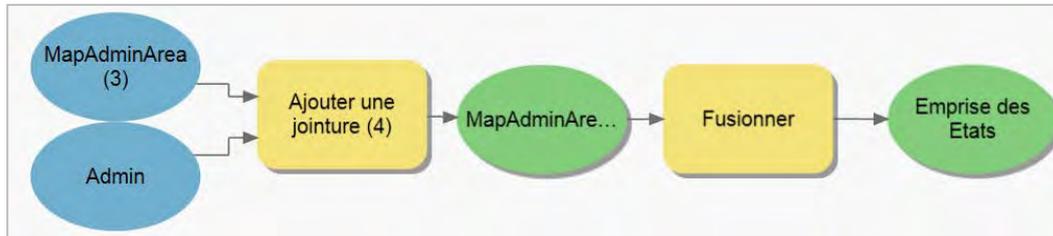


Figure 26 : Traitements SIG de fusion des sous-ensembles administratifs.

COUNTRY_LANGUAGE_CODE	COUNTRY_NAME	ORDER1_ID	ORDER1_LANGUAGE_CODE	ORDER1_NAME
ENG	Zambia	27496921	ENG	Muchiqua
ENG	Zambia	27497295	ENG	North-Western
ENG	Zambia	27497295	ENG	North-Western
ENG	Zambia	27497295	ENG	North-Western
ENG	Zambia	27497295	ENG	North-Western
ENG	South Africa	23400502	ENG	Kwazulu Natal
ENG	South Africa	23400502	ENG	Kwazulu Natal
ENG	South Africa	23400864	ENG	Northern Cape
ENG	South Africa	23404230	ENG	Free State
ENG	South Africa	23400864	ENG	Northern Cape

Figure 29 : Extrait de la table attributaire de la classe d'entités contenant les sous-ensembles administratifs (MapAdminArea).

Il est tout de même possible de remonter à cette information à l'aide d'une classe d'entité (MapAdminArea), (Figure.28) qui décrit les sous-ensembles administratifs propres à chaque Etat. En réalisant une jointure avec la table « Admin » qui présente un champ « COUNTRY\_NAME» (Figure 29) renseignant sur le nom de l'Etat auquel appartient l'entité. Il est possible alors de fusionner l'ensemble des entités appartenant au même pays pour créer des polygones d'emprise nationales.



Figure 30 : Fusion des sous-ensembles administratifs : Le cas de L'Egypte et de ses pays voisins.

Ici, les sous-ensembles administratifs de l'Egypte et de ses pays voisins ont été agrégés pour fournir des polygones d'emprises nationales. (Figure 30)

#### 4.2.2.2) Points d'intérêts

Les points d'intérêts sont des entités ponctuelles décrivant les localisations des tous les lieux susceptibles d'attirer du public. Il peut s'agir de magasins, de restaurants, d'entreprises, de lieux culturels, etc.... Près d'une centaine d'attributs différents permettent de décrire les points d'intérêts des données Navstreets. Or dans certains cas, il peut être souhaitable d'avoir une représentation plus fine concernant la fonction des lieux en question (**Figure.31**).

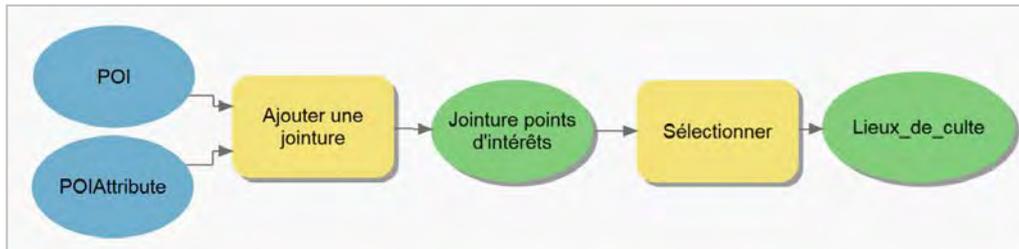


Figure 31 : Traitements SIG appliqués aux données NAVSTREETS pour la différenciation des lieux de cultes.

Pour ce faire il est possible de joindre un champ issu d'une table numérique (**POI\_Attribute**) également fourni dans les géodatabases. Les lieux de cultes, les commerces ou lieux d'activités sportives et culturelles ont fait l'objet de ce type de traitement. Ainsi, si l'on se base sur l'exemple des lieux de culte, la classe d'entité d'origine (**POI**) ne propose qu'un seul attribut pour qualifier les lieux de cultes. Après jointure avec la table « POI\_Attributes », il est possible de connaître la religion à laquelle le lieu de culte en question est associée (**Figure.32**).

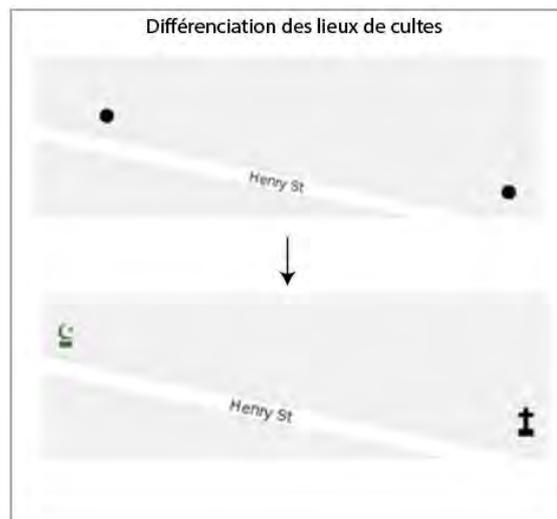


Figure 32 : Différenciation des points d'intérêts.

Dans cet exemple, une mosquée et une église sont représentées.

#### 4.2.2.3) Points de localisation des villes

Le jeu de données Navstreets donne des informations sur la localisation des villes et lieux dits. Les villes et lieux dits font l'objet d'un classement hiérarchique basés sur leurs niveaux administratifs respectifs. Cette information est contenue dans 4 champs : « CAPITAL\_COUNTRY », « CAPITAL\_Order1 », « CAPITAL\_Order\_2 », « CAPITAL\_Order\_8 » où « CAPITAL\_COUNTRY » décrit la présence d'une capitale.



CAT_ID	ISO_COUNTRY_CODE	LANGUAGE_CODE	POI_NAME	CAPITAL_COUNTRY	CAPITAL_ORDER1	CAPITAL_ORDER2	CAPITAL_ORDER8
4444	MYT	FRE	Mamoudzou	Y			
4444	ZMB	ENG	Lusaka	Y			
4444	SHN	ENG	Jamestown	Y			
4444	GMB	ENG	Baniul	Y			
4444	LBN	ARA	بنة	Y	Y	Y	
4444	BHR	ARA	المنامة	Y			
4444	MRT	ARA	نواكشوط	Y			
4444	BDI	FRE	Buiumbura	Y			
4444	SDN	WEN	Khartoum	Y			
4444	RWA	ENG	Kigali	Y			

Figure 33 : Table attributaire de la classe d'entités décrivant les points de localisations des villes.

Les trois autres champs indiquent la présence d'une capitale d'un sous ensemble administratif : les villes d'ordre 1 présentent le niveau hiérarchique inférieur aux capitales d'état, viennent ensuite les villes d'ordre 2, suivies des villes d'ordre 8. (Figure.33)

L'appartenance à l'un de ces niveaux hiérarchiques est codée de façon binaire. Si l'entité appartient à l'un des quatre niveaux, alors l'entité présente la valeur « Y » dans le champ correspondant. Les entités de moindre importance présentent des valeurs vides pour l'ensemble de ces 4 champs et peuvent être différenciées selon trois modalités (« named place », « neighborhood », « hamlet ») à l'aide du champ « CAT\_ID ».

Toutefois, une ville peut appartenir à plusieurs niveaux administratifs différents. C'est le cas de Beyrouth, capitale du Liban (ISO\_COUNTRY\_CODE = LBN, (Figure 33). Afin d'éviter tout doublon et simplifier l'étape de paramétrage de la sémiologie, il a été décidé de diviser en plusieurs sous-ensembles la classe d'entités, en regroupant les villes selon le niveau administratif le plus élevé auxquelles elles sont associées. L'outil « *sélectionner* » permet d'appliquer des requêtes SQL et d'enregistrer les subdivisions de la classe d'entités. (Figure.34)

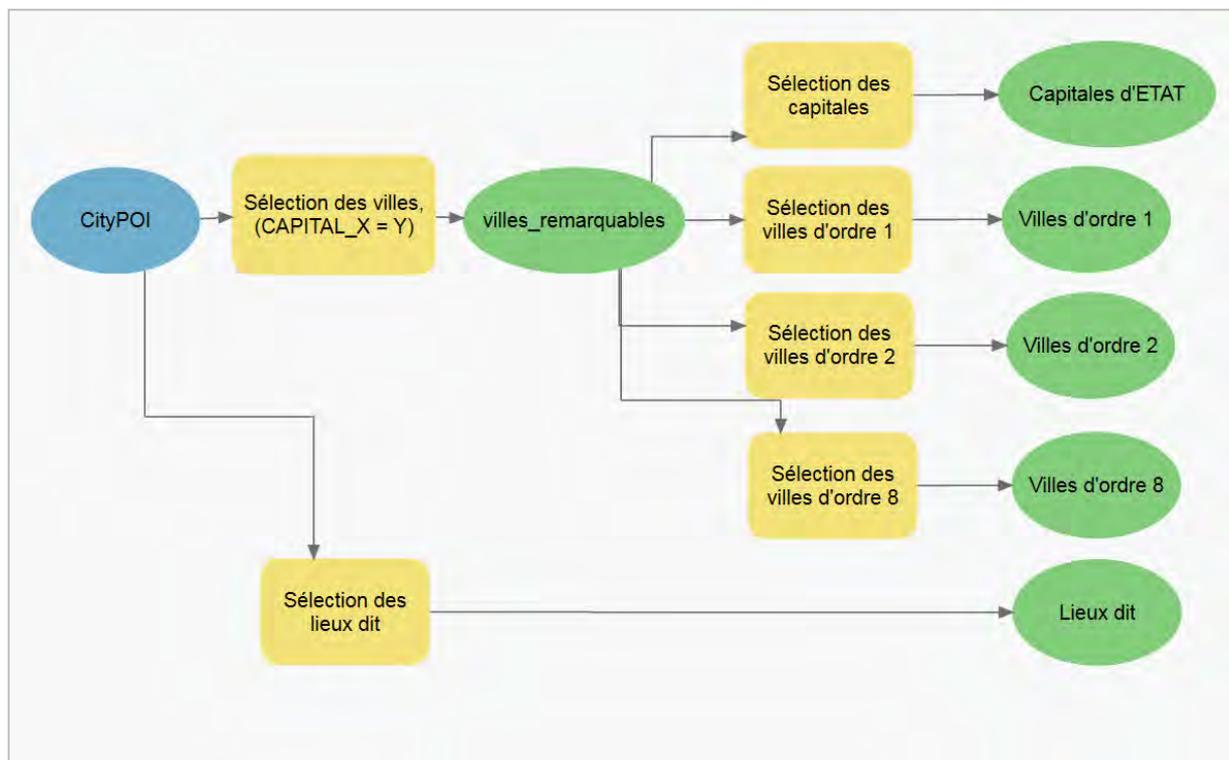


Figure 34 : Sous échantillonnage de la classe d'entité contenant les localisations des villes

Une première sélection vise à séparer les « **villes remarquables** » pour lesquelles l'un des champs « **CAPITAL\_”...”** » présente au moins une fois la valeur « Y » et les « **lieux-dits** » pour lesquels ces champs restent vides. (Figure.35)

### Exemple de sélection des « villes remarquables » (requête N°1)

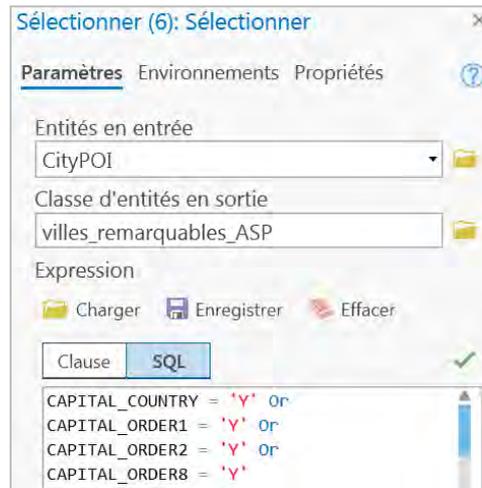


Figure 35 : Extraction des « villes remarquables ».

Une seconde série de sélection permet de regrouper les villes en fonction de leur niveau administratif le plus élevé. La requête SQL N°2 permet d'extraire les villes d'ordre 8. Dans ce cas il s'agit du classement hiérarchique le plus bas, l'ensemble des champs à l'exception du champ « CAPITAL\_ORDER\_8 » doivent présenter des valeurs différentes de « Y ». (Figure.36)

### Exemple de sélection des « villes d'ordre 8 » pour la zone (requête N°2)

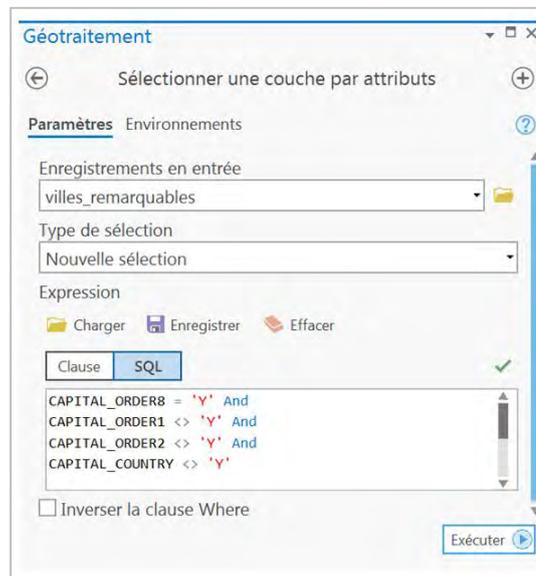


Figure 36 : Extraction des villes « d'ordre 8. »

Mais cette méthode doit être affinée, car tenir compte uniquement du niveau administratif n'est pas suffisant pour caractériser les relations hiérarchiques entre les villes. Par exemple, aux Etats Unis, les villes plus connues et influentes telles que Los Angeles, New York ou Chicago, ne sont pas les capitales administratives de leurs états. Elles sont reléguées au rang de « lieu-dit » et apparaissent au 1:10 000 tandis que les capitales d'états, villes de moindre importance, apparaissent au 1:10 000 000.

#### 4.2.2.4) Les voies de circulations routières et maritimes

La classe d'entités « Link » vise à recenser de façon exhaustive l'ensemble des voies de circulations. Cette classe d'entité permet de réaliser la symbologie des routes, des ponts et des tunnels. La hiérarchie des axes de circulation est renseignée dans le champ « FUNCTIONAL\_CLASS » et codée sur cinq valeurs s'échelonnant de 1 à 5 en fonction de l'importance de la voie de circulation. La présence de tunnels et ponts est signifiée par la présence la valeur « Y » dans le champ correspondant. **(Figure.37)**

Shape	LINK_ID	BRIDGE	TUNNEL	DISPLAY_ID	FUNCTIONAL_CLASS	BOAT_FERRY
Polyliane	722489779	N	N	1	5	N
Polyliane	722489781	Y	N	1	2	N
Polyliane	1231738914	N	N	1	5	N
Polyliane	1231738915	N	N	1	5	N

Figure 37 : Exemple d'une entité décrivant la présence d'un pont.

Cette classe d'entités contient aussi la localisation des voies navigables (« BOAT\_FERRY = Y »). Dans la mesure où les outils de sémiologie d'ArcGIS pro ne peuvent prendre en compte que 3 champs maximum pour effectuer la symbologie des éléments d'une couche, il convient de séparer de séparer dans deux couches distinctes, les voies de circulation routières et maritimes. **(Figure.39)**

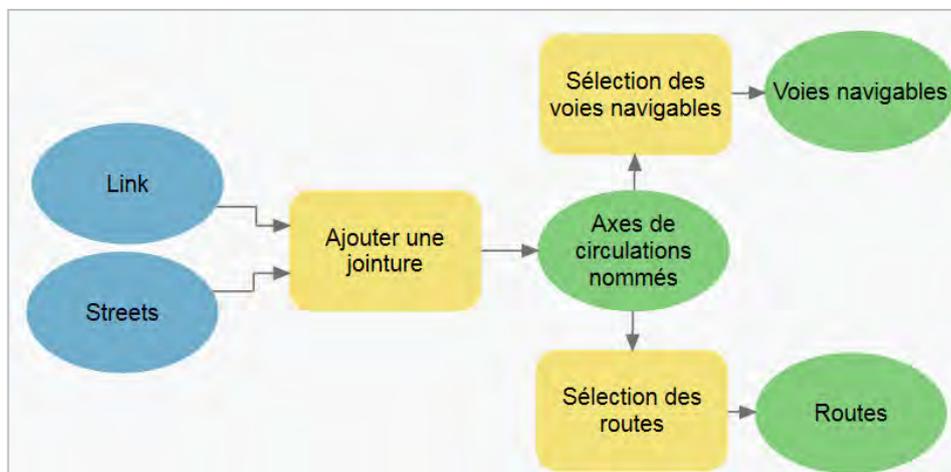


Figure 38 : Traitements SIG : Ajout des étiquettes dans la couche décrivant les routes (LINK).

Ensuite, la jointure avec la couche « Street » permet de rapatrier les noms des axes à des fins d'étiquetage **(Figure.38)**. Les voies navigables et les routes sont séparées à l'aide des deux requêtes attributaires suivantes : **(Figure.39)**

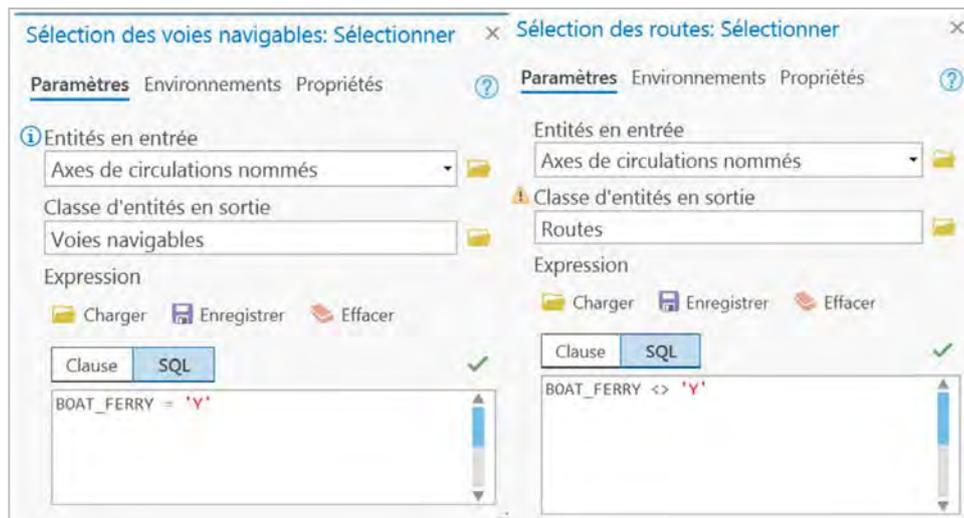


Figure 39 : Requête SQL permettant d'extraire les voies navigables.

- **Axes de circulation : le cas de l'Europe**

La géodatabase qui contient les données relatives à l'Europe est de loin la plus lourde en termes de données (200 Go). L'emprise de cette couche concerne les territoires allant du sud de l'Espagne à l'extrême orient Russe. Cette importante quantité de données n'est pas traitable avec un Model Builder. La solution proposée est d'utiliser le logiciel ETL (Extract Transform And Load) FME Workbench car il supporte mieux la gestion de jeux de données massifs. (Figure.40)

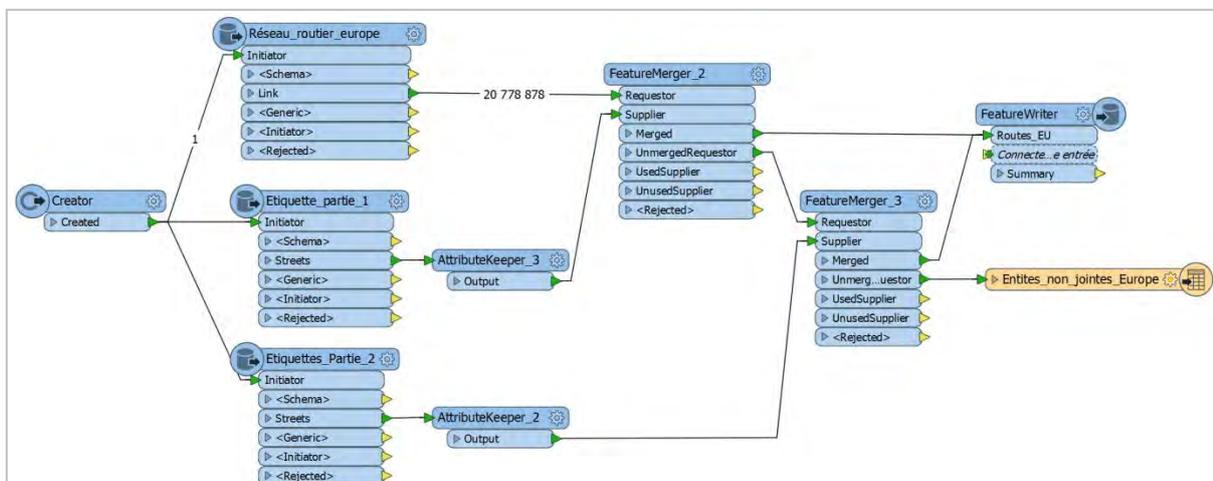


Figure 40 : utilisation du logiciel FME pour le traitement des routes européennes

Les entités (Axes de transports Europe, étiquettes 1, étiquettes 2) sont chargées à l'aide de l'outil « **Feature Reader** ». Il s'agit des couches « Link » et « Streets » vues dans la (Figure 37). L'outil « **Feature Reader** » Permet d'effectuer des requêtes SQL à l'étape de chargement des données. Cela permet de créer deux sous ensemble d'étiquettes et d'économiser de la mémoire. Les entités sont séparées selon leur pays d'appartenance. (Figure.41)

Ensuite, l'outil « **Attribute Keeper** » permet d'évincer les champs inutiles pour la définition des symbolique. (Figure.40)

L'outil « **Feature Merger** » permet de réaliser la jointure entre les entités d'axes routiers et les étiquettes. A la sortie du premier « **Feature Merger** », les entités qui ont pue être appairées sont écrites dans une nouvelle classe d'entités. Les entités restantes sont envoyées dans un second « **Feature Merger** », puis sont également écrites dans la classe d'entité « Routes\_EU ». (**Figure.40**)

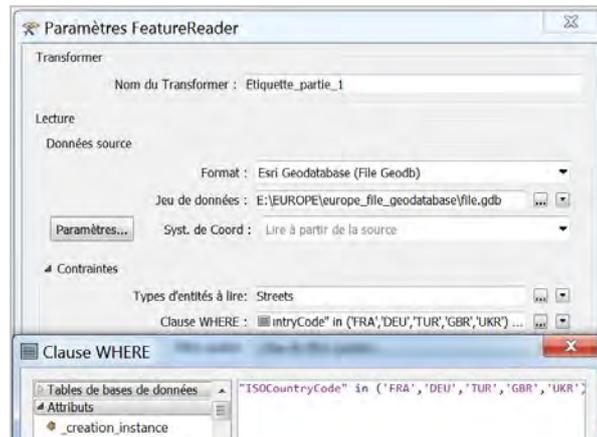


Figure 41 : Sous-échantillonnage de la couche « Link » en fonction des pays dans lesquels se situent les axes routiers.

### 4.2.3) Etiquetage

L'étiquetage apporte beaucoup en termes de lisibilité à la carte. Le moteur d'étiquetage Maplex inclus dans Arcgis Pro permet d'adapter l'étiquetage en gérant trois critères : la position des étiquettes, les stratégies d'ajustement, et la résolution des conflits avec d'autres étiquettes. Le critère de position permet d'adapter le placement de l'étiquette en fonction du type d'entité.

Ainsi il est possible d'appliquer un placement fixe au centre d'un polygone que l'on souhaite mettre en valeur, il est aussi possible de répartir les étiquettes le long d'entités linéaires pour agrémenter la sémiologie d'un fleuve par exemple. (**Figure.42**)

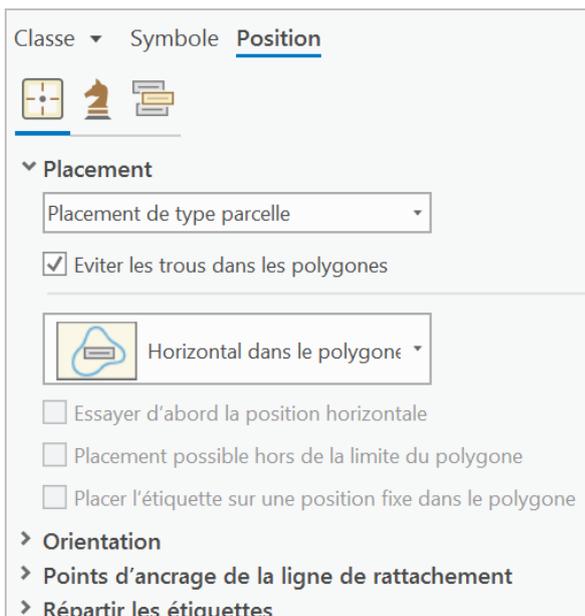


Figure 42 : Paramètres d'étiquetage : placement des étiquettes.

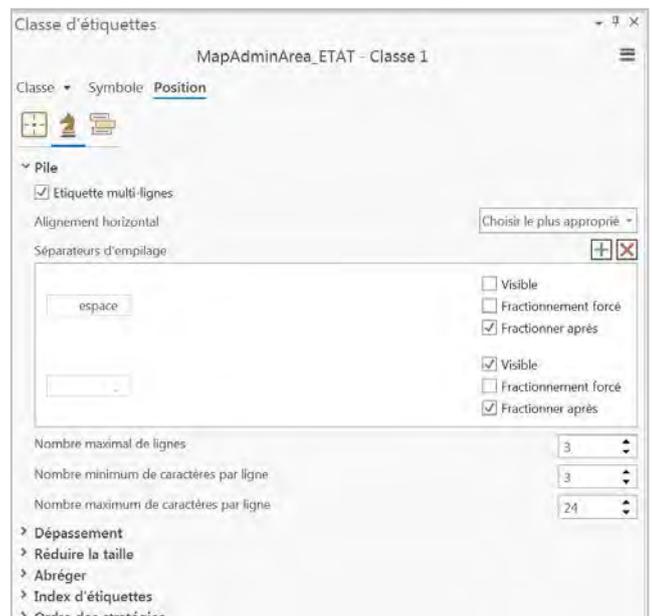


Figure 43 : Paramètres d'étiquetage : stratégie d'ajustement.

Les stratégies d'ajustement (**Figure.43**) permettent d'appliquer des modifications aux symboles des étiquettes dans le but d'améliorer leur lisibilité. Il est possible de forcer l'exécution de saut de ligne, réduire la taille de la police et des espaces entre les caractères, ou effectuer des abréviations. Ces propriétés sont utiles lorsque qu'une entité ne dispose pas d'une emprise suffisante pour être étiquetée.

Les paramètres de gestion de conflit permettent de gérer les situations de superposition d'étiquettes en proposant des suppressions d'étiquettes et des zones d'exclusions dans lesquelles l'étiquetage n'est pas possible. Par exemple, il est possible de jouer sur la duplication d'étiquette ou définir un seuil de taille minimale de l'entité pour que l'étiquette apparaisse. Cette option est très utile dans le cadre d'une carte multi-échelle dans la mesure où la taille des entités varie selon le niveau d'échelle choisi par l'utilisateur. Ainsi cela permet d'éviter que l'étiquette d'une entité de taille modeste entre en conflit avec celle d'une entité plus grande à petite échelle. (**Figure.44**)

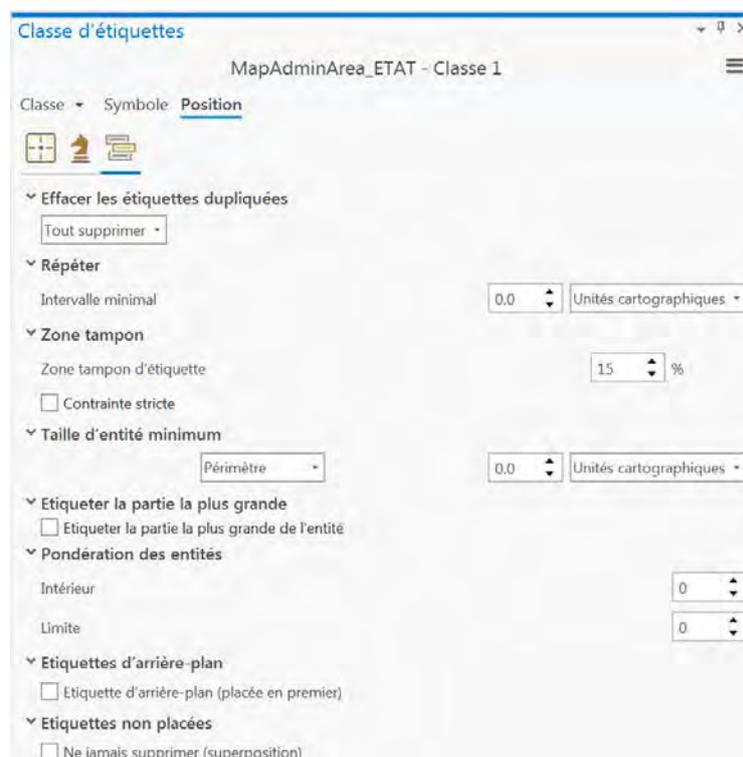


Figure 44 : Paramètres d'étiquetage : résolution des conflits

Par ailleurs, ce projet implique de travailler avec une base de données mondiale dans laquelle plusieurs alphabets coexistent. L'ensemble des polices ne tient pas compte des caractères, spéciaux, arabes, cyrilliques, ou mandarin par exemple. Il faut donc trouver, souvent par empirisme, les polices susceptibles de pouvoir afficher ces caractères. A ce stade, le choix s'est porté sur les polices « **Arial** » et « **Tahoma** » qui présentent un vaste choix de caractères et disponibles pour plusieurs alphabets. Modifier la couleur et le type de police (gras, italique, etc...) permet d'étiqueter l'ensemble des entités malgré un faible nombre de police utilisées.

#### 4.2.2) Affichage des données en fonction du niveau d'échelle

Le tableau ci-dessus détaille l'ensemble des modifications d'affichage appliquées, lorsque l'utilisateur navigue entre les niveaux d'échelle. Le choix d'échelle pour la représentation d'un élément dépend de deux critères : les surfaces qu'occupent les entités est le principal critère de choix. En effet plus l'emprise d'une entité est importante, plus il y a de chance qu'elles apparaissent dans les premières plages d'échelle. Par ailleurs, le caractère stratégique et politique de certaines structures (Aéroports, routes principales) ou limites administratives (frontières nationales) impose de les faire apparaître dès les premiers niveaux d'échelle. **(Tableau.4)**

Tableau 4 : Affichage de entités en fonction de zoom.

Affichage des entités en fonction du niveau de zoom		
Echelle	Niveaux de zoom	Éléments représentés
150000000	0	Espaces maritimes, Frontières
70000000	1	Noms de espaces maritimes
35000000	2	Noms des Etats
15000000	3	Surfaces en eaux
10000000	4	Parcs Nationaux, Fôrets, Capitales
4000000	5	Voies navigables
2000000	6	Emprise des régions, Routes principales, Aéroports
1000000	7	Emprise des zones bâties
500000	8	Noms des régions, Chemins de fer
250000	9	Routes secondaires, Zones d'activité
150000	10	Routes tertiaires, Noms des quartiers
70000	11	Rues, Hopitaux, Cimetieres, Etiquette zones d'activités, Rivières
35000	12	Noms des lieux dits
15000	13	Etiquette des limites de villes, Noms des Hameaux
8000	14	Batiments
4000	15	Noms des rues
2000	16	Points d'intérêts
1000	17	Symbole différenciés des points d'intérêts
500	18	Noms des points d'intérêts

A l'inverse, bien qu'ils puissent être représentés à des échelles inférieures, la densité et la complexité du tracé de certains éléments tels que les rivières ou les points d'intérêts sont volontairement représentés à des échelles plus grandes que leur précision initiale afin de conserver une représentation lisible.

#### 4.3.1) Le Portail ESRI, un outil de stockage et de partage des données géographiques

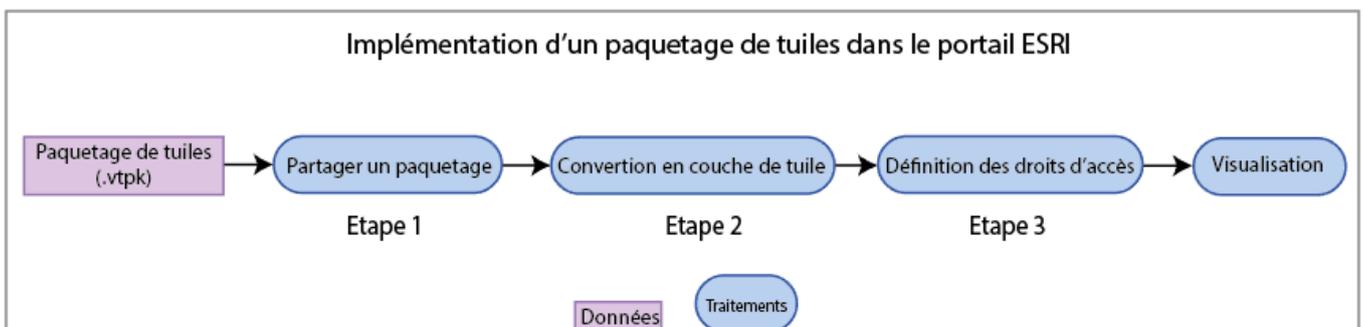


Figure 45 : Implémentation d'un paquetage de tuiles dans le portail ESRI.

Après avoir mis en place des paramètres de sémiologie et d'étiquetage et produit les fichiers de paquetage de tuiles, il est possible de les implémenter dans une plateforme ESRI afin de les diffuser (**Figure.45**).

La plateforme se compose de deux sous entités logicielles (Arcgis Server et Arcgis Datastore). Arcgis Server permet la diffusion des informations géographiques à l'intérieur d'organisations mais aussi pour le grand public via le Web. Pour accéder au contenu, l'utilisateur navigue à l'aide d'une interface graphique où il peut retrouver les travaux publiés par son organisation.

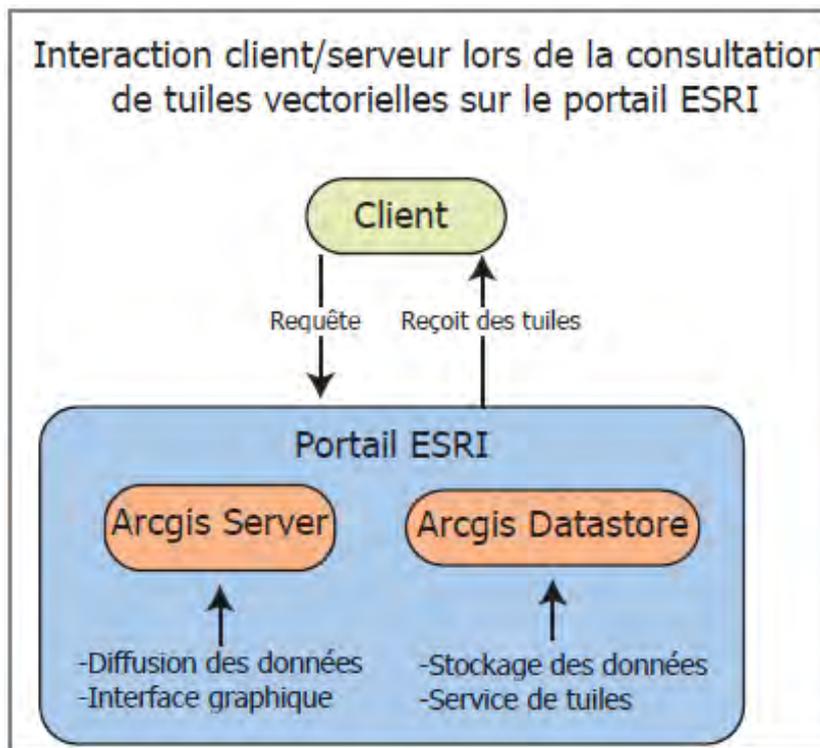


Figure 46 : Interaction client/serveur lors de la consultation de tuiles vectorielles sur le portail ESRI.

D'autre part, le logiciel Arcgis Datastore s'apparente à un SGBD : il permet de stocker des données et les résultats de traitements réalisés à l'aide d'autres outils ESRI tels qu'Arcgis Pro ou Arcmap. Arcgis Datastore est également utile pour le précalcul en cache, et le service des tuiles vectorielles lorsque l'utilisateur navigue dans l'outil. (**Figure.46**)

Dans la mesure où les conditions de stage imposent de travailler en étant déconnecté du réseau du ministère, le travail d'intégration des fichiers et des tuiles dans la plateforme a été réalisé par la personne du ministère disposant des droits d'accès au portail. Les figures suivantes illustrent donc la marche à suivre pour intégrer les fichiers.

#### 4.3.2.1) Etape 1 : Partage du paquetage de tuile

Une fois les tuiles créés, l'intégration dans le portail ESRI s'effectue à l'aide de l'outil de géotraitement « *partager un paquetage* ». (Figure.47)

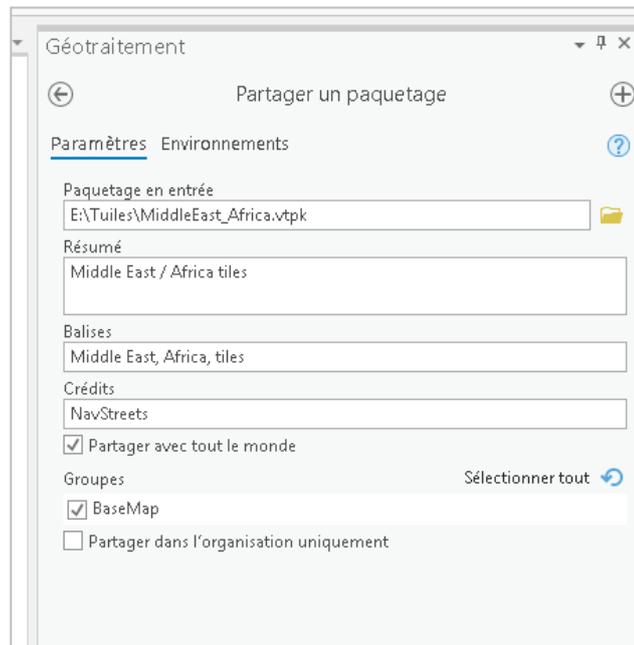


Figure 47 : Partage d'un paquetage de tuiles vectorielles dans la plateforme ESRI

La connexion au portail ESRI a été effectuée préalablement dans Arcpro. Dans cet exemple le paquetage de tuile se nomme « **MiddleEast\_Africa.vtpk** » et couvre une aire géographique comprenant le continent africain, les Pays du Golfe Persique, du Proche Orient et l'Iran.

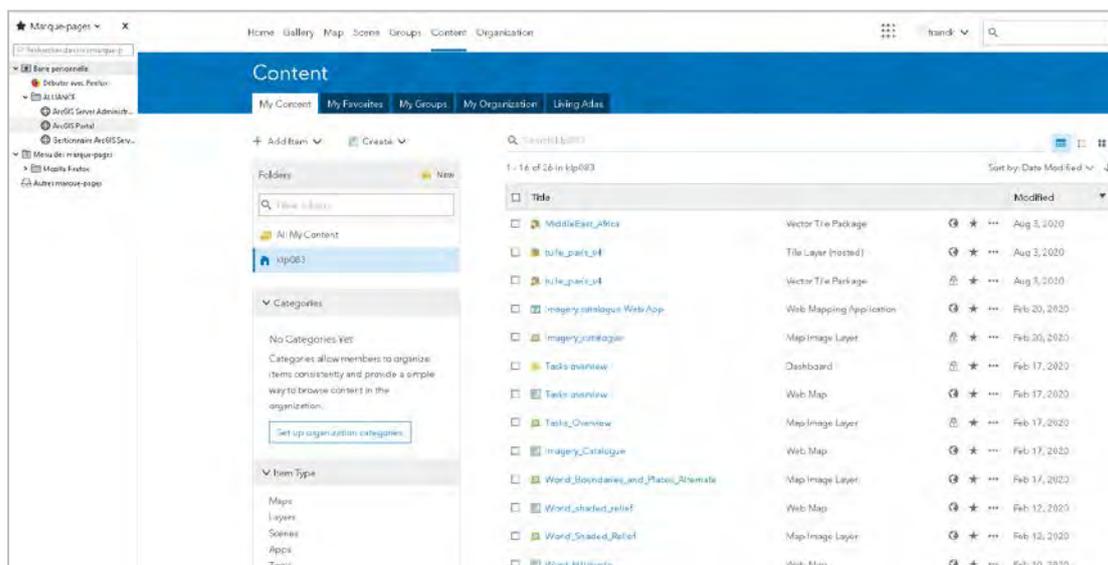


Figure 48 : Répertoire « contenu » du portail ESRI.

De plus, cocher la case « **BaseMap** » (Figure.47) permet d’aller placer le paquetage de tuiles dans un répertoire du même nom, disponible sur le portail. A ce stade, le fichier « **MiddleEast\_Africa.vtpk** » est placé sous l’onglet « **Content** » du Portail(Figure.48) En l’état, le format .vtpk ne permet pas la consultation des tuiles vectorielles.

#### 4.3.3.2) Etape 2 : Conversion au format couche de tuile

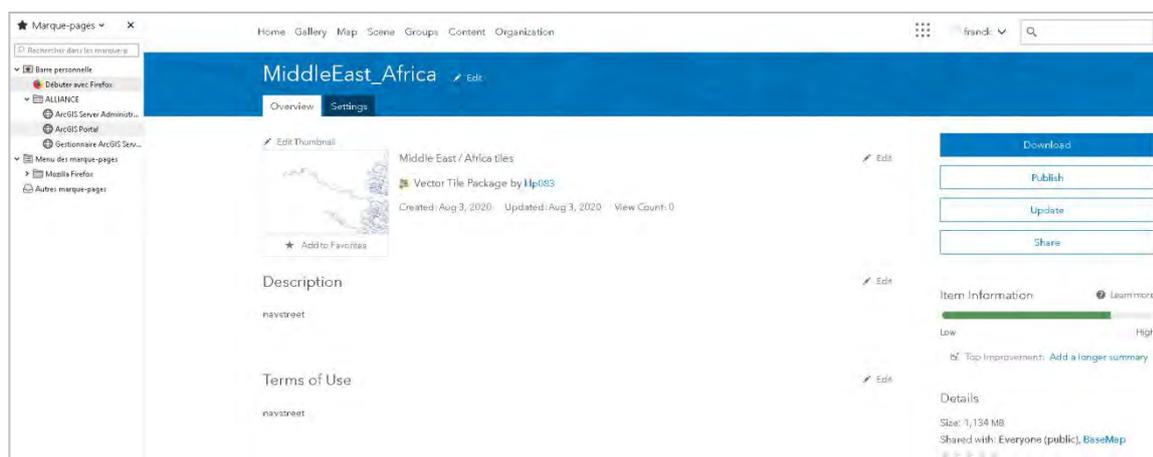


Figure 49 : publication d’un paquetage de tuiles vectorielles dans la plateforme ESRI

Accéder aux propriétés du fichier permet à l’utilisateur de réaliser plusieurs actions. L’outil « **Publish** » permet de convertir le format .vtpk vers un format de « **couche de tuile, (Tile layer)** ». (Figure.49)

Par ailleurs cette fenêtre permet également de télécharger sur un disque local le fichier de tuile. La mise à jour du fichier est également possible mais elle ne peut se faire qu’en écrasant le fichier de paquetage de tuile précédent.

### 4.3.3.3) Etape 3 : Définition des droits d'accès

Enfin, l'outil « **Share** », permet de définir les droits d'accès au fichier de tuile. Dans cette exemple, l'ensemble des bureaux du services auront accès aux tuiles vectorielles de l'Afrique et du Moyen-Orient. (Figure.50)

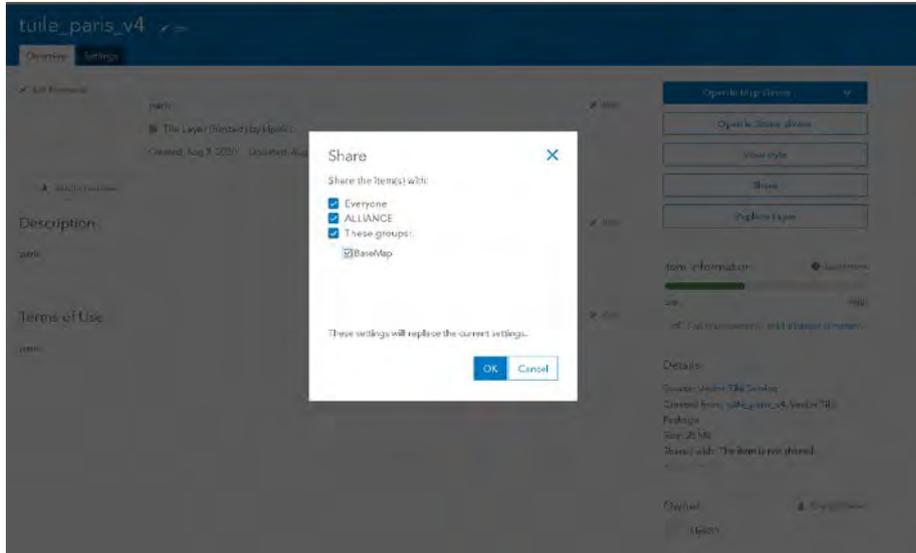


Figure 50 : Définition des droits d'accès aux fichiers de tuiles vectorielles pour les utilisateurs de la plateforme.

A l'issue, les fichiers de tuiles vectorielles sont consultables depuis le répertoire du portail situé dans le Catalogue d'Arcgis Pro. (Figure.51)

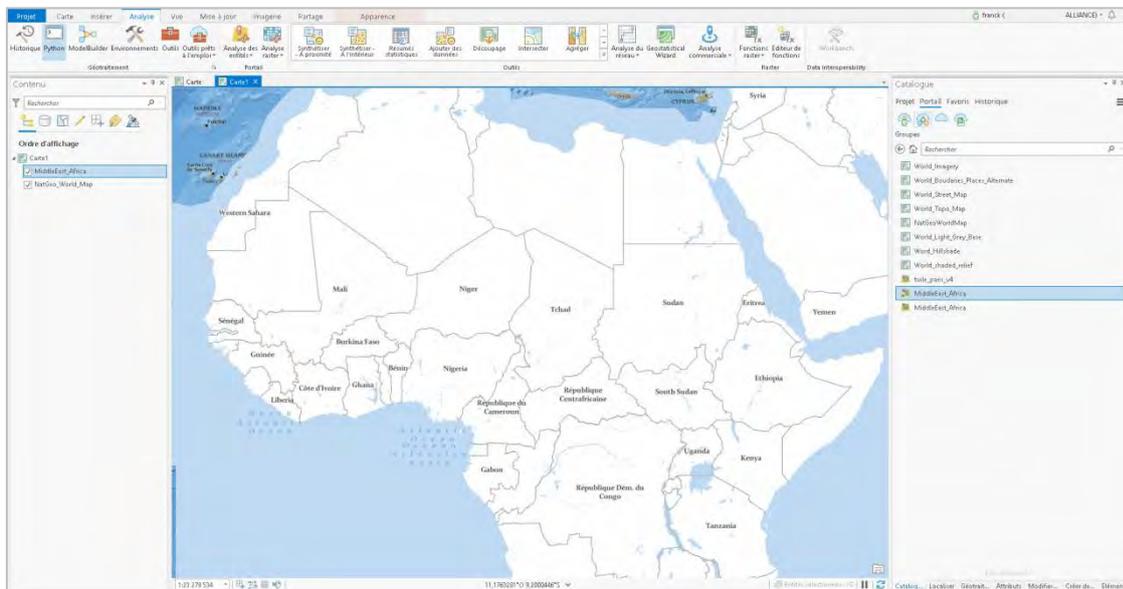


Figure 51 : Consultation d'un fichier de tuile vectorielle depuis Arcgis Pro.

## 5) Résultats : Une cartographie multi-scalaire à l'échelle du monde

Les résultats se composent d'extraits de la cartographie multi-scalaire produite à l'aide des données NavStreets. Trois niveaux d'échelles sont présentés dans cette partie. L'idée étant de proposer un tour d'horizon rapide des travaux effectués en parcourant la carte dynamique en partant d'une échelle continentale jusqu'à l'échelle de la rue. Les représentations pour les autres niveaux d'échelles sont fournies en annexe.

La grande variété de symbole implique de faire des choix de représentation discutables. En effet, comme pour d'autres outils de cartographie en ligne, la légende est accessible par le biais d'un volet de navigation. C'est pourquoi les cartes ci-dessous présentent des légendes non exhaustives. Afin de ne pas trop alourdir la représentation. Cependant, cette faiblesse est un peu compensée par la présence d'un étiquetage systématique permettant d'identifier les fonctions des éléments importants tels que les hôpitaux, les aéroports, les commerces ou les espaces verts par exemple.

La zone choisie (**Figure 52**) concerne l'aire géographique située à la jonction entre le Golfe du Mexique et l'océan Atlantique. En effet, cet espace concentre une large palette d'environnements présents sur la carte, tels que : des espaces maritimes, des archipels, de larges espaces forestiers et de grandes agglomérations urbaines. A l'échelle du 4 000 000<sup>e</sup>, il est possible de faire apparaître les axes de transports principaux tels que les autoroutes (Class 1). Par ailleurs dans un souci de simplification et parce qu'il s'agit généralement de grands espaces naturels, les parcs d'états et nationaux, ainsi que les réserves d'Indiens sont représentées avec le même symbole. Ces trois sous-ensembles pourraient être agrégés afin de proposer une représentation plus lisible dans une future version de l'outil.

Dans le cas de la (**Figure 53**), La zone choisie couvre le centre-ville de Miami au 35 000<sup>e</sup>. A cette échelle, il est possible de faire apparaître l'ensemble des types de routes contenus dans la base de données. Ce niveau de zoom est également propice à l'affichage des toponymes pour identifier les différents quartiers de la ville. Enfin des polygones colorés permettent de mettre en valeur des lieux d'intérêts tels que des hôpitaux, aéroports, zones industrielles, ou encore des centres commerciaux.

Enfin, la (**Figure 54**) couvre la rue de « Lincoln Road Mall au 500<sup>e</sup> », l'une des principales artères commerçantes de la ville. A cette échelle, les points d'intérêts sont différenciés selon le type de services qu'ils fournissent et présentent une étiquette permettant de les nommer.

Cependant, la représentation s'avère peu satisfaisante dans certains cas. En effet, peu de données à l'exception des frontières et des emprises des Etats s'affichent aux niveaux d'échelles supérieurs, produisant un résultat visuel donnant une impression de « vide » (Annexes 1 à 3). D'autre part les variations de couverture de données d'un espace géographique à l'autre impliquent des disparités esthétiques pour des niveaux d'échelles équivalentes. Il conviendrait donc de trouver de nouveaux modes de représentation afin de combler ces écarts.

## 5.1) Extrait N°1 : Floride, Cuba et Archipel des Bahamas

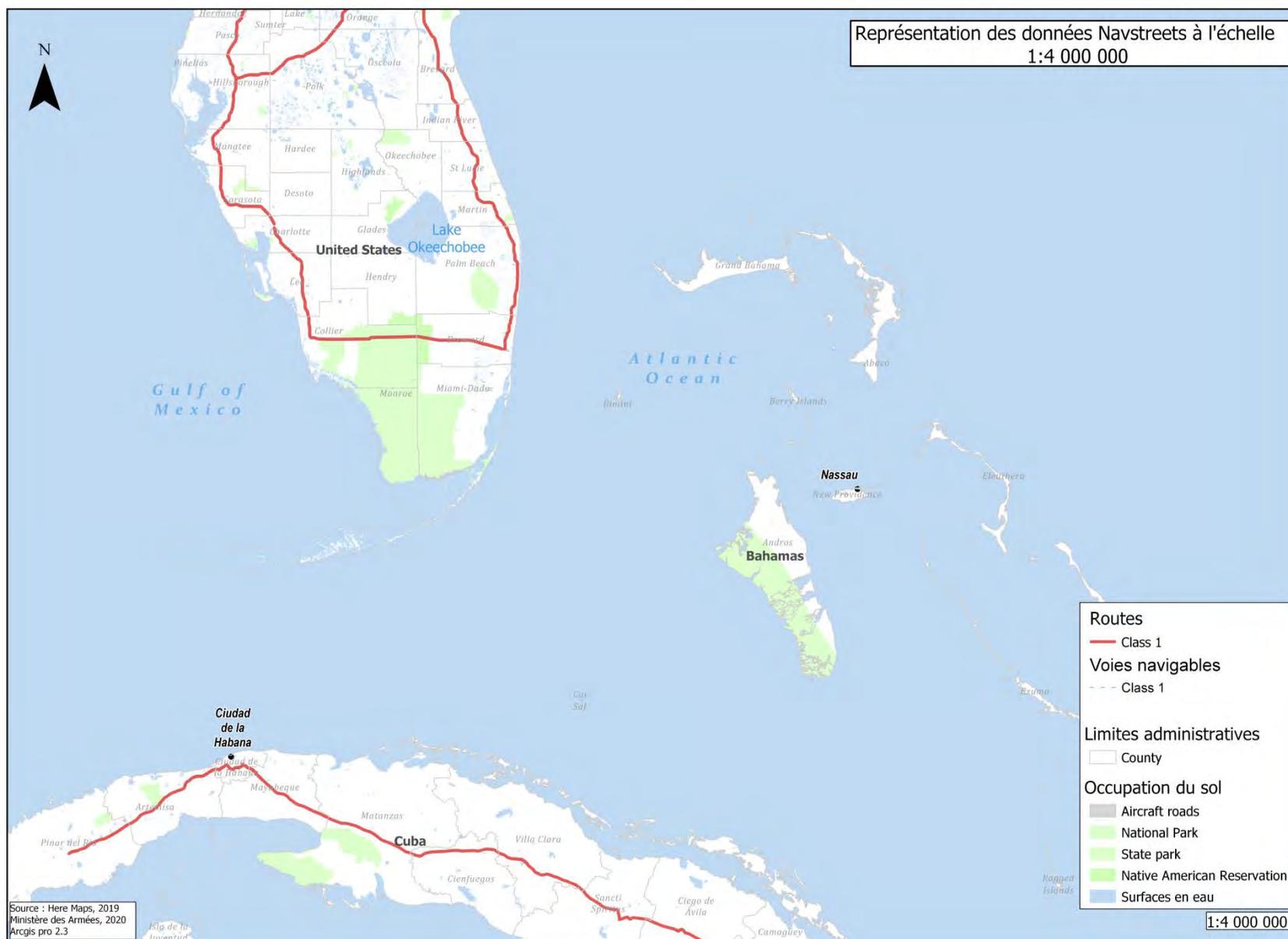


Figure 52 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 4 000 000.

## 5.2) Extrait N°2 : Centre-ville de Miami

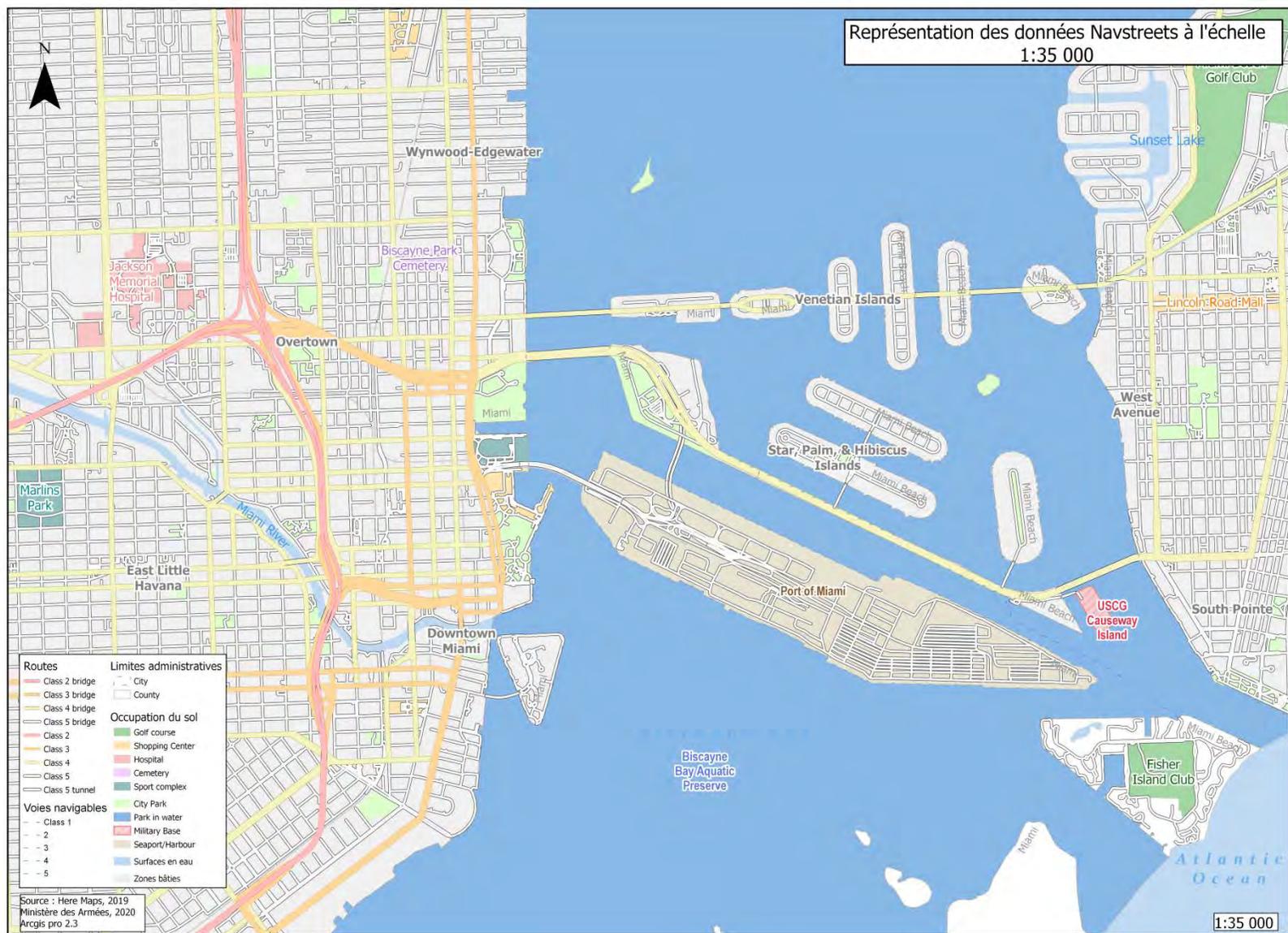


Figure 53 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 35000.

5.3) Extrait N°3 : Lincoln Road Mall



Figure 54 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 500.

## 6) Perspectives

Ce travail a permis de mettre en avant l'intérêt du recours aux tuiles vectorielles pour la production d'une cartographie multi-échelles destinée aux services du ministère des Armées. La légèreté des fichiers alliée aux possibilités de personnalisation et de sauvegarde de style par le client, font de cette technologie un outil de partage particulièrement efficace.

Néanmoins, les travaux réalisés au cours de ce stage montrent quelques lacunes et plusieurs points d'amélioration qui doivent être pris en compte.

En premier lieu, l'application d'une sémiologie globale ne tenant compte, ni des spécificités géographiques locales, ni du niveau de couverture de la donnée, implique nécessairement des disparités de qualité esthétique selon la zone choisie par l'utilisateur. Cette situation pourrait être améliorée en appliquant de légères variations de sémiologie uniquement sur les zones problématiques.

La bonne lisibilité de la carte passe également par la présence de points de repères pertinents. En ce sens, la question de la sémiologie des villes américaines subsiste. En l'état, les villes les plus importantes du pays s'affichent à des niveaux d'échelle anormalement élevés, produisant ainsi une représentation contre-intuitive. Dans la mesure où le problème se pose très certainement pour d'autres pays, il serait souhaitable de trouver une autre méthode de discrétisation, non basée sur les niveaux administratifs.

Aussi, certaines classes d'entités, comme l'occupation du sol, sont assez peu renseignées dans les données Navstreets. Il pourrait être intéressant d'enrichir leur représentation en utilisant d'autres sources de données, là où la couverture est plus réduite.

Le développement et l'exploitation d'outils en interne, pour réduire la dépendance matérielle des Armées envers d'autres états, fait également partie des prérogatives du ministère. Une solution, mise au point par les services de la municipalité de Vienne (<https://github.com/syncpoint/openvtpk>) et reposant sur la conversion des fichiers de paquetage de tuile en un format lisible par des outils de service de tuiles libres, semble prometteuse pour parvenir à cet objectif. De plus, des projets gravitant dans la sphère OpenStreetMap comme OpenMapTiles proposent d'exploiter directement les données OSM pour réaliser des tuiles vectorielles.

Les outils intégrés ESRI présentent l'intérêt de permettre à l'utilisateur de produire, et diffuser des tuiles assez simplement. Il apparaît bien plus aisé pour un utilisateur débutant de travailler à l'aide d'une interface graphique ergonomique, plutôt qu'en ayant recours à la console ou la modification à la main des fichiers de style, comme cela peut souvent être le cas avec des outils open-source. Cependant, les résultats en sortie restent limités et ne tirent pas encore pleinement partie des avancées technologiques en la matière, telles que la possibilité d'effectuer des représentations en 3D ou d'effectuer des requêtes directement sur le portail.

De plus, les volumes de données traitées pour ce type de projet impliquent des temps de traitements parfois très longs (une semaine lors des traitements sous FME). Plusieurs erreurs dans la mise en œuvre des chaînes de traitements de données ont contribué à étendre considérablement le temps de production des tuiles. Dans la mesure où un travail de mise à jour des tuiles pourrait être réalisé, il

conviendrait de développer des chaînes de traitements fonctionnels et simples d'utilisation pour permettre à d'autres personnes de poursuivre ce travail.

Enfin, dans la mesure où l'on assiste à une augmentation de la quantité et des thématiques sur lesquels portent les données géographiques ; Les tuiles vectorielles représentent un véritable atout pour la mise en valeur de celles-ci. En effet, la méthodologie développée au cours de ce projet pourrait être étendue à d'autres domaines, tels que le partage de plan d'urbanisme pour les collectivités, la visualisation de l'activité économique des entreprises, ou pour servir de fond de plan à des applications de calcul d'itinéraire par exemple.

## **7) Conclusion**

Les travaux entrepris au cours de ce stage ont permis de répondre aux objectifs suivants : créer et mettre à disposition des services du ministère des Armées une cartographie multi-échelles d'emprise mondiale. Ce stage a été riche d'enseignement. En effet cela a été pour moi l'occasion de découvrir le mode de fonctionnement particulier d'un service de l'Etat opérant dans un cadre militaire. De plus, le stage m'a fait découvrir une nouvelle facette de la géomatique, en me faisant appréhender les avantages et les contraintes liés à la production d'une carte dynamique par la gestion d'une base de données extrêmement volumineuse ; au contraire de ma formation universitaire où j'avais été habitué à produire des cartes figées, pertinentes lorsqu'il s'agit de traiter un sujet précis sur un espace donné, mais qui s'avèrent bien inférieures dans une optique de partage au sein d'une organisation ou du grand public.

Par ailleurs, si les résultats produits à l'issue du stage affichent des propriétés intéressantes en termes de création de diffusion de données géographiques au sein d'une administration, le travail n'est pas encore totalement abouti. Plusieurs modifications de la sémiologie graphique doivent être appliquées pour améliorer la lisibilité et l'aspect esthétique de la représentation. D'autre part, la rédaction de fiches de documentation est en cours de production et vise à servir de support aux services du ministère pour la maintenance et la mise à jour de la cartographie multi-échelle. Ces fiches auront pour objectif de favoriser la pérennité des travaux entrepris au cours de ces six mois de stage de fin d'études.

## Bibliographie

- Atilio.F, « Geoserver avancé : le tuilage (principes) », 2018 url : <https://www.sigterritoires.fr/index.php/geoserver-avance-le-tuilage-principes/>
- Bonnell.N « Tuiles vectorielles »,2017, url : <https://koumoul.com/blog/vector-tiles>
- ESRI, « Qu'est-ce que ArcGIS Server ? »,2019, url : <https://enterprise.arcgis.com/fr/server/latest/get-started/windows/what-is-arcgis-for-server-.htm>
- ESRI, « Présentation de ArcGIS Data Store »,2019 url : <https://enterprise.arcgis.com/fr/data-store/latest/install/windows/what-is-arcgis-data-store.htm>
- ESRI, « Présentation d'ArcGIS Enterprise »,2019 url : <https://enterprise.arcgis.com/fr/get-started/latest/linux/what-is-arcgis-enterprise-.htm>
- ESRI, « Créer une carte multi-échelles »,2019 url : <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/mapping/map-authoring/author-a-multiscaled-map.htm>
- Gratier.T, « Les tuiles vecteur, quelques informations historiques »,2018, url : <https://labs.webgeodatavore.com/workshop-tuiles-vecteur/introduction-tuiles-vecteur/>
- Leduc.J « Les origines de la carte d'Etat major française »,2017, url : <https://buclermont.hypotheses.org/3231>
- Lavenu.G « Tirer profit de la puissance de tuiles vectorielles », 2016, url : <https://www.arcorama.fr/2016/03/tirer-profit-de-la-puissance-des-tuiles.html>
- Mapbox GL, « Style Specification» url : <https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/style-spec/>
- Halwax.T, « open vtpk »,2020 url : <https://github.com/syncpoint/openvtpk>
- Rostislav Netek , Jan Masopust , Frantisek Pavlicek and Vilem Pechanec,2020, « Performance Testing on Vector vs. Raster Map Tiles—Comparative Study on Load Metrics », Department of Geoinformatics, Olomouc, Czech Republic;
- Stefanakis.E, «Web Mercator and raster tiles maps : two cornerstones of online map service provider»,2020, url : <https://www.nrcresearchpress.com/doi/10.5623/cig2017-203#.XzWHJfVKUk>, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada

## Table des figures

Figure 1 : Diagramme de Gantt.....	7
Figure 2 : Maillage de tuiles cartographiques.....	9
Figure 3 : Interaction client/serveur dans un service de tuiles cartographiques.....	10
Figure 4 : Format de tuilage de l'application Google Maps.....	11
Figure 5 : Processus de création d'une tuile vectorielle.....	12
Figure 6 : Exemple d'un fichier de style respectant la spécification de style Mapbox.....	13
Figure 7 : Création et diffusion d'un paquetage de tuiles vectorielles dans l'environnement ESRI.....	14
Figure 8 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile.....	15
Figure 9 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « esriinfo »).....	15
Figure 10 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « p12 »).....	16
Figure 11 : Structure d'un fichier de paquetage de tuile (répertoire « ressources »).....	16
Figure 12 : Ecriture des paramètres d'étiquetages dans un fichier ".Json".....	17
Figure 13 : Exemple de symbole représentant un axe routier.....	17
Figure 14 : Ecriture de paramètre d'étiquetage dans un fichier « .Json ».....	18
Figure 15 : Méthode d'indexation dans l'environnement ESRI.....	19
Figure 16 : Arborescence d'une géodatabase contenant des données NAVSTREETS.....	20
Figure 17 : Création de tuiles vectorielles : mode d'emploi.....	22
Figure 18 : Conversion de la projection du Lambert 93 vers le Web Mercator.....	23
Figure 19 : Fenêtre de paramétrage de la symbologie.....	24
Figure 20 : Plage de visibilité.....	24
Figure 21 : Changement de sémiologie en fonction de l'échelle : l'exemple d'une entité ponctuelle.....	24
Figure 22 : Modification de la taille d'un symbole en fonction de l'échelle.....	25
Figure 24 : Projection en Web Mercator.....	26
Figure 23 : Définition des métadonnées.....	26
Figure 25 : Création d'un index de tuiles vectorielles.....	26
Figure 26 : Création d'un paquetage de tuiles vectorielles.....	27
Figure 27 : Traitements SIG appliqués aux données Navstreets.....	28
Figure 29 : Extrait de la table attributaire de la classe d'entités contenant les sous-ensembles administratifs (MapAdminArea).....	29
Figure 28 : Traitements SIG de fusion des sous-ensembles administratifs.....	29
Figure 30 : Fusion des sous-ensembles administratifs : Le cas de L'Egypte et de ses pays voisins.....	29
Figure 31 : Traitements SIG appliqués aux données NAVSTREETS pour la différenciation des lieux de cultes.....	30
Figure 32 : Différenciation des points d'intérêts.....	30
Figure 33 : Table attributaire de la classe d'entités décrivant les points de localisations des villes.....	31
Figure 34 : Sous échantillonnage de la classe d'entité contenant les localisations des villes.....	32
Figure 35 : Extraction des « villes remarquables ».....	33
Figure 36 : Extraction des villes « d'ordre 8. ».....	33
Figure 37 : Exemple d'une entité décrivant la présence d'un pont.....	34
Figure 38 : Traitements SIG : Ajout des étiquettes dans la couche décrivant les routes (LINK).....	34
Figure 39 : Requête SQL permettant d'extraire les voies navigables.....	35
Figure 40 : utilisation du logiciel FME pour le traitement des routes européennes.....	35
Figure 41 : Sous-échantillonnage de la couche « Link » en fonction des pays dans lesquels se situent les axes routiers.....	36
Figure 42 : Paramètres d'étiquetage : placement des étiquettes.....	36
Figure 43 : Paramètres d'étiquetage : stratégie d'ajustement.....	36
Figure 44 : Paramètres d'étiquetage : résolution des conflits.....	37
Figure 45 : Implémentation d'un paquetage de tuiles dans le portail ESRI.....	38
Figure 46 : Interaction client/serveur lors de la consultation de tuiles vectorielles sur le portail ESRI.....	39

Figure 47 : Partage d'un paquetage de tuiles vectorielles dans la plateforme ESRI .....	40
Figure 48 : Répertoire « contenu » du portail ESRI.....	40
Figure 49 : publication d'un paquetage de tuiles vectorielles dans la plateforme ESRI .....	41
Figure 50 : Définition des droits d'accès aux fichiers de tuiles vectorielles pour les utilisateurs de la plateforme. .....	42
Figure 51 : Consultation d'un fichier de tuile vectorielle depuis Arcgis Pro. ....	42
Figure 52 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 4 000 000. ....	44
Figure 53 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 35000. ....	45
Figure 54 : Représentation des données NAVSTREETS à l'échelle 1 : 500. ....	46

## ANNEXES

Annexe 1: Représentation des données NAVTREETS au 35 000 000e.....	L
Annexe 2 : Représentation des données NAVTREETS au 15 000 000e .....	L
Annexe 3 : Représentation des données NAVTREETS au 10 000 000e .....	L
Annexe 4 :: Représentation des données NAVTREETS au 2 000 000e .....	L
Annexe 5 : Représentation des données NAVTREETS au 1 000 000e .....	L
Annexe 6 : Représentation des données NAVTREETS au 500 000e .....	L
Annexe 7 : Représentation des données NAVTREETS au 150 000e .....	L
Annexe 8 : Représentation des données NAVTREETS au 70 000e .....	L
Annexe 9 : Représentation des données NAVTREETS au 15 000e .....	L
Annexe 10 : Représentation des données NAVTREETS au 4000e .....	L
Annexe 11 : Représentation des données NAVTREETS au 2000e .....	L