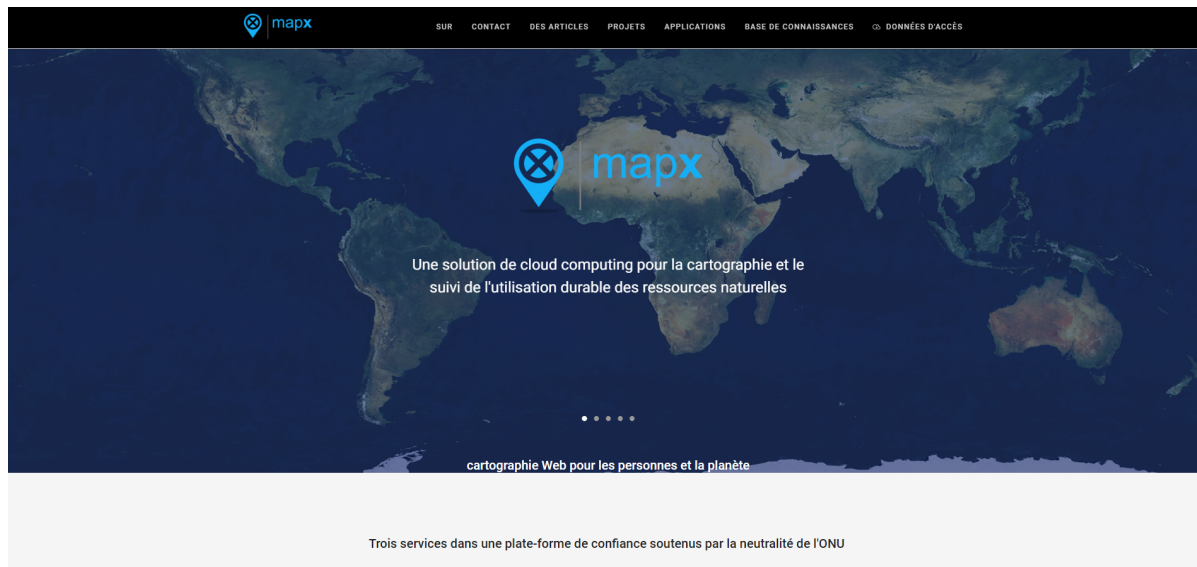


Certificat complémentaire en Géomatique

Mémoire de stage

Développement de flux de données MapX (une plateforme de données spatiales pour une gestion durable des ressources naturelles)



Page d'accueil MapX : <https://www.mapx.org/>

Saskia Hogendijk

Superviseur : Dr. Pierre Lacroix

Automne 2018

Table des matières

1. Introduction	7
1.1 Présentation de la structure d'accueil.....	7
1.2 Présentation du projet MapX.....	7
1.2.1 Fonctionnalités de MapX.....	7
Affichage de couches.....	8
Dashboards.....	8
Story maps.....	8
1.3 But du stage.....	10
2. Missions.....	10
2.1 Développement d'un flux de traitement permettant d'estimer la surface de forêt venant en superposition des zones de concessions minières en République démocratique du Congo (RDC) et de contribuer au calcul de l'indicateur SDG 15.3.1	10
2.1.1 Introduction.....	10
2.1.2 But	11
2.1.3 Données	11
2.1.4 Méthodologie	12
2.1.5 Bilan.....	19
2.2 Projet avec le Geneva Water Hub	19
2.2.1 Introduction.....	19
2.2.2 Méthode.....	20
2.2.3 Résultats	20
2.2.3 Bilan.....	23
2.3 Tests de l'outil de superposition PixOp de MapX.....	23
2.3.1 Introduction.....	23
2.3.2. Méthode.....	23
2.3.3 Résultats	24
2.3.4 Bilan.....	25
2.4 Incidence des erreurs topologiques dans les couches WDPA et KBA sur le calcul de surface de polygones	25
2.4.1 Introduction.....	25
2.4.2 Méthode.....	25
2.4.3 Résultats	26
2.4.4. Bilan.....	26
3. Bilan général du stage	26

4. Conclusion	27
Références.....	28
Annexes	29
Annexe 1 : Script (Python)	29
Annexe 2 : Script Javascript.....	30

Liste des Figures

Figure 1 : Vue de deux couches publiques (les titres miniers en 2014 et les Aires protégées) dans le projet Un Environment Colombia	8
Figure 2 : Exemple de dashboard dans le projet Minamata Convention on Mercury.....	9
Figure 3 : Exemple de story map dans le projet UN Environment Colombia	9
Figure 4 : Couche représentant le <i>forestcover 2013</i> en RDC dans ArcMap	13
Figure 5 : Traitement et visualisation des données dans Google Earth Engine Code	15
Figure 6 : Vue dans MapX représentant la forêt couverte par les concessions minières en 2013.....	16
Figure 7 : Story map sur l'impact de l'activité minière sur la couverture forestière en République Démocratique du Congo	17
Figure 8 : Graphique représentant les surfaces de forêt recouvertes par des concessions minières pour les années 2013 à 2016 et pour différentes commodités	18
Figure 9 : Graphique représentant les surfaces de forêt recouvertes par des concessions minières répertoriées chaque année entre 2013 et 2016	19
Figure 10 : Exemple de vue produite pour le projet Geneva Water Hib, et utilisée dans la story map du projet. La vue montre les événements qui ont un impact sur l'eau.....	21
Figure 11 : Slide titre de la story map réalisée pour le Geneva Water Hub	21
Figure 12 : Test de l'outil d'overlap de MapX, permettant de mettre en évidence les chevauchements vectoriels entre couches simples à l'échelle d'un petit pays	24
Figure 13 : Test de l'outil d'overlap de MapX, permettant de mettre en évidence les chevauchements vectoriels entre couches relativement complexes à l'échelle d'un grand pays	24
Figure 14 : Couche WDPA en RDC non-dissoute et dissoute	26

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Surface de forêt recouverte par les concessions minières en fonction des principales commodités	14
Tableau 2 : Evolution dans le temps de la surface indiquant une perte de forêt couverte par les concessions minières	18
Tableau 3 : Jeu de données créé pour le projet avec le Geneva Water Hub	22

Remerciements

Je tiens à remercier le Dr Pierre Lacroix, qui m'a donné la possibilité de faire ce stage et d'intégrer l'équipe du GRID, pour sa prise en charge et son soutien pendant ces quelques mois. Un grand merci à toute l'équipe du GRID, qui a été accueillante et dynamique, et tout particulièrement à Antonio Benvenuti, Marion Planque et Thomas Piller qui ont été à disposition en tout temps pour répondre à mes questions. Enfin, je remercie Florian Franziskakis, stagiaire également, avec qui j'ai beaucoup collaboré et échangé pendant le stage.

1. Introduction

Afin de compléter la formation du Certificat complémentaire en Géomatique, j'ai décidé de mettre en pratique les concepts acquis pendant les cours et de faire un stage. J'ai eu ainsi la chance de pouvoir intégrer le GRID-Genève à la Maison Internationale de l'Environnement pendant trois mois et demi où j'ai pris part à la consolidation de MapX, une plateforme de données spatiales pour la gestion durable des ressources naturelles.

1.1 Présentation de la structure d'accueil

Le Programme des Nations unies pour l'Environnement (UN Environment) est un organisme mis en place par les Nations Unies pour s'occuper des problématiques environnementales à l'échelle régionale et mondiale. Il établit le programme environnemental mondial, en défendant la dimension environnementale du développement durable dans le système des Nations Unies.

Le réseau GRID (Global Resource Information Database) fait partie de la division Science de l'UN Environment. Cet organisme a pour but de faciliter l'accès aux données et à l'information sur l'environnement pour les prises de décision politiques ainsi que de surveiller l'état de l'environnement en mettant le doigt sur les problèmes émergents. Les GRID Genève et Nairobi ont été, en 1985, les premiers centres GRID à se développer. Il en existe actuellement une dizaine à travers le monde.

Le GRID-Genève est depuis 1998 un partenariat entre l'UN Environment, l'Université de Genève (UNIGE) et l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEN). Il répond aux besoins de ses trois partenaires, en transformant les données en informations scientifiquement validées pour soutenir les alertes et les évaluations environnementales pour le développement durable.

1.2 Présentation du projet MapX

MapX est une plateforme de données géo-spatiales développée par l'UN Environment et le GRID-Genève. Cette plateforme permet le partage, l'analyse et la visualisation de données de manière impartiale et indépendante, afin d'améliorer l'accès à l'information géo-spatiale. Elle permet de regrouper les informations nécessaires aux parties prenantes dans la prise de décision.

L'objectif de MapX est de soutenir l'utilisation durable des ressources naturelles en rendant l'information géo-spatiale accessible aux différentes parties prenantes, dans le but de servir d'appui à un meilleur dialogue et faciliter les prises de décision liées aux problématiques environnementales ainsi qu'un suivi de ces actions.

MapX a initialement été créé pour publier des données en relation avec les ressources extractives, mais on peut actuellement y trouver également toute une gamme de données, à l'échelle régionale ou mondiale, liées à l'environnement, comme par exemple les zones protégées, les polluants chimiques ou les risques naturels. La diversité des données est directement liée aux différents partenaires avec lesquels MapX travaille. On peut trouver actuellement sur MapX plus d'un millier de couches de données.

1.2.1 Fonctionnalités de MapX

Diverses fonctionnalités de MapX permettent la visualisation, l'analyse ainsi que le partage de l'information géo-spatiale de manière simple et accessible. La plateforme MapX est en développement constant, évolue rapidement et des améliorations sont faites régulièrement. Pendant les trois mois et demi de mon stage, j'ai pu voir l'apparition d'une nouvelle fonctionnalité (actuellement

expérimentale) permettant de mettre en évidence les chevauchements vectoriels entre plusieurs couches

Affichage de couches

Dans MapX, les couches sont réparties dans des projets, à l'échelle d'un pays, d'une région ou du monde. L'accès aux données varie en fonction des projets, qui peuvent être publics ou privés, en fonction de la confidentialité et du droit d'accès aux données. Les couches projetées sont en format raster ou vecteur. Elles peuvent être visualisées en un clic et généralement téléchargées directement depuis MapX. Plusieurs couches peuvent être projetées simultanément sur la carte (Figure 1). Il est également possible de zoomer et de naviguer sur la carte afin d'explorer les données.

Il est également possible pour l'utilisateur qui en a les droits de charger son propre jeu de données dans MapX et de lui donner un style. Les vues ainsi créées peuvent être associées à celles déjà présentes dans la base de données de MapX.

Des métadonnées accompagnent systématiquement les couches présentes dans MapX.

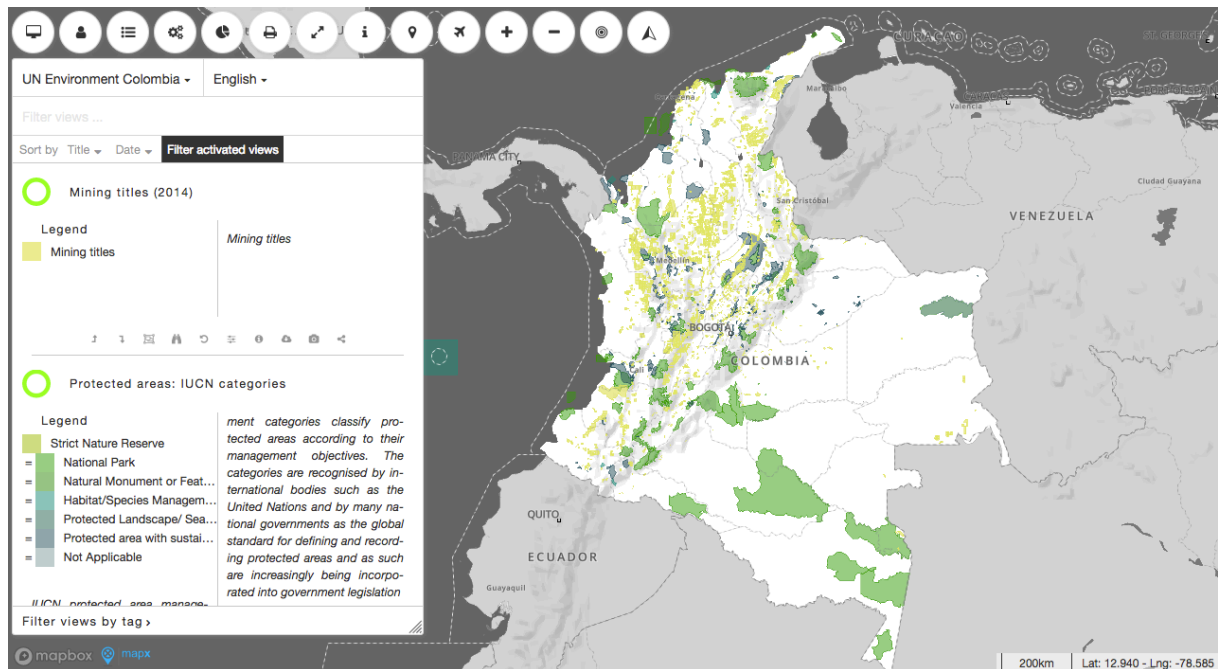


Figure 1 : Vue de deux couches publiques (les titres miniers en 2014 et les Aires protégées) dans le projet Un Environment Colombia

Dashboards

Les dashboards sont des tableaux de bord qui s'affichent lorsque l'on active certaines couches (Figure 2). Ces tableaux de bord donnent des informations graphiques et/ou textuelles sur les données. Ils sont créés à partir des attributs disponibles dans les jeux de données. Ces informations peuvent être interactives ou statiques.

Story maps

Les story maps sont des présentations dynamiques qui, au travers d'images, vidéos, textes et/ou cartes ont pour but de transmettre un message en présentant par exemple une problématique environnementale locale ou un projet (Figure 3). Elles se composent généralement de quelques dizaines de slides et permettent de transmettre une information de manière claire et efficace.

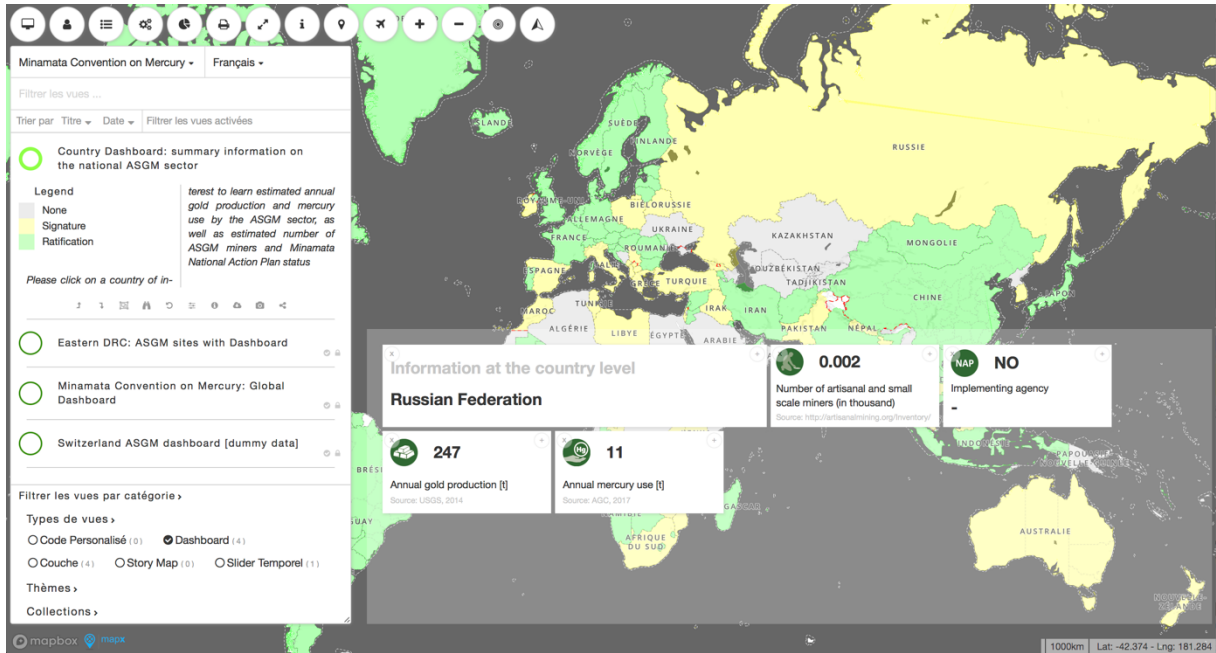


Figure 2 : Exemple de dashboard dans le projet Minamata Convention on Mercury



Figure 3 : Exemple de story map dans le projet UN Environment Colombia

1.3 But du stage

L'objectif principal de ce stage est de contribuer à la consolidation de la base de données MapX.

Ma mission principale lors de ce stage est le développement d'un outil permettant d'évaluer la déforestation liée à l'activité industrielle minière, en se basant sur des données en République Démocratique du Congo. En marge de ce projet s'ajoutent des missions plus courtes, comme la création d'un jeu de données et d'une story map en collaboration avec le Geneva Water Hub, ainsi que l'exécution de tests pour l'évaluation de l'outil de superposition de couches PixOp de MapX et les erreurs liées à la superposition des couches lors du calcul de surface, ou encore la traduction des tutoriels MapX de l'anglais au français.

Ces différentes tâches touchent à des activités diverses liées à la géomatique. Elles nécessitent d'utiliser les systèmes d'information géographique QGIS et ArcGIS, la plateforme Google Earth Engine et MapX. Les activités ont été le suivi d'une formation MapX, la traduction de tutoriels, la publication de données et la création d'une story map.

Toutes ces activités contribuent à la consolidation de MapX en créant des données pour la plateforme ainsi qu'en testant de nouvelles fonctionnalités de MapX. Le projet avec le Geneva Water Hub a permis par ailleurs de créer une nouvelle collaboration et d'étendre la visibilité de MapX. La traduction de tutoriels a permis quant à elle de créer des outils de travail pour la formation de futurs utilisateurs de MapX.

Un second objectif de ce stage est de consolider les connaissances liées à l'utilisation des données géographiques vues lors des cours du certificat complémentaire en géomatique et de les mettre en pratique en contribuant à la consolidation d'un projet actuel. Ce complément de formation permet notamment d'entrevoir l'étendue des possibilités qu'offrent la géomatique lors son application à différents projets.

2. Missions

2.1 Développement d'un flux de traitement permettant d'estimer la surface de forêt venant en superposition des zones de concessions minières en République démocratique du Congo (RDC) et de contribuer au calcul de l'indicateur SDG 15.3.1

2.1.1 Introduction

La forêt tropicale du bassin du Congo est la forêt tropicale la plus grande au monde après la forêt amazonienne et plus de la moitié de sa surface est située en République démocratique du Congo (RDC). Elle représente un stockage de carbone important pour la planète et est le cœur d'une biodiversité riche, regroupant des espèces endémiques rares, telles que le bonobo, le gorille ainsi que l'éléphant de forêt d'Afrique. La forêt est présente sur 67 % de la RDC (Kipalu et al., 2016).

La RDC est également particulièrement riche en ressources minérales et l'industrie minière joue un rôle important pour l'économie du pays. C'est pourquoi de nombreuses mines, légales comme illégales, se sont implantées dans le pays ces dernières années.

Or, le développement de l'industrie minière est lié à la déforestation. En effet, des surfaces de forêts sont sacrifiées lors de la progression des mines et de la construction d'espaces dédiés au traitement des minerais et à l'emplacement des résidus miniers, des infrastructures liées à l'industrie ainsi que des routes. La dégradation de la forêt peut également être liée à la pollution découlant des mines, lors par exemple de l'extraction du cuivre des minerais par la fusion, générant des dépôts acides (Pourret et al., 2016).

2.1.2 But

Cette mission, qui est la mission principale de mon stage, consiste à créer des couches raster représentant la couverture forestière dans les zones de concession minières en RDC pour les années 2013 à 2016 et de les intégrer dans MapX. A partir de ces couches, le but est de calculer les surfaces de forêts recouvertes par les concessions minières pour les différentes années, afin d'évaluer l'impact possible de l'industrie minière sur la couverture forestière du pays.

L'objectif ultime de ce travail est d'intégrer tous ces éléments dans une story map, mettant en avant les enjeux de la déforestation en RDC et son lien avec l'industrie minière.

Dix-sept objectifs de développement durable « sustainable development goals (SDGs) » ont été établis par les Etats membres des Nations Unies pour la paix et la prospérité des peuples et de la planète, aujourd'hui et à l'avenir. Ces objectifs, inscrits dans l'Agenda 2030, ont pour buts principaux de protéger la planète, éradiquer la pauvreté et d'assurer une prospérité globale. L'objectif 15.3 prévoit la lutte contre la désertification ainsi que la restauration des sols dégradés par la sécheresse, la désertification et les inondations notamment, afin de parvenir à un monde neutre face à la dégradation des terres. Un objectif de ce travail est également de fournir des indications pour l'évaluation de l'indicateur SDG 15.3.1, définissant la proportion des terres dégradées par rapport à la superficie totale des terres.

2.1.3 Données

La première partie des données utilisées pour ce travail consiste en des images en format TIF de la couverture forestière en l'an 2000 (*treecover2000*) ainsi que de la perte de forêt par année (*lossyear*) entre les années 2000 et 2016 en RDC. Ces données résultent de l'analyse d'images Landsat sur une échelle de plusieurs années et ont été générées dans le but de représenter l'étendue et l'évolution de la couverture forestière de 2000 à 2017 (Hansen et al., 2013).

Les images de *treecover2000* contiennent des pixels qui ont une valeur entre 0 et 100, représentant le pourcentage de forêt par pixel. On entend ici par forêt la végétation de plus de 5m de haut. Les images correspondant au *lossyear* représentent quant à elles le changement de l'état de forêt à non-forêt d'un pixel. Les pixels ont une valeur soit de 0 (aucune perte), soit de 1 à 16 (perte de la forêt). Le chiffre associé à la perte de forêt correspond à l'année pendant laquelle celle-ci a été répertoriée. L'ensemble du pays est recouvert par 7 images par année, à la fois pour les données de *treecover2000* et de *lossyear*. Les données proviennent du site <http://commondatastorage.googleapis.com/>.

La seconde partie des données se compose de quatre couches (une pour chaque année entre 2013 et 2016) en format shapefile regroupant les concessions minières en RDC. Ces données ont été regroupées dans une géodatabase (licences.gdb) et contiennent des informations sur le type de ressources, leur statut et les licences accordées notamment. Elles proviennent de la source suivante : *Mining Cadastre (CAMI)*.

J'ai également utilisé une couche représentant les frontières administratives de la RDC, afin de pouvoir obtenir des couches de *forestcover* finales clippées sur le pays, puisque les différentes images s'étendent au-delà des frontières du pays. Cette étape a pour but notamment de calculer la surface totale de forêt qui recouvre le pays. Ces données proviennent du Référentiel Géographique Commun en RDC. Les données peuvent être téléchargées sur: <https://data.humdata.org/dataset/drc-administrative-boundaries-levels-0-2>.

2.1.4 Méthodologie

2.1.4.1 Description des étapes et outils utilisés dans ArcGIS :

a) Création des couches de forest cover

La première partie du travail consiste en la création des couches de *forestcover* (couverture forestière) sur toute la RDC pour les années 2013 à 2016 ainsi qu'à la création des couches représentant le *forest cover* dans les zones de concession minières. Pour ce faire, les données ont été traitées dans ArcGIS.

Une fois les images de couverture forestières *treecover2000* téléchargées, celles-ci ont été regroupées en une seule image à l'aide de l'outil *Mosaic To New Raster*.

Pour créer les couches de couverture forestière pour les années 2013 à 2016, les données de perte de forêt par année *lossyear* ont été utilisées. Les pixels relevant l'état d'un passage d'état de forêt à non-forêt ont été soustraits à la couche de *treecover2000*. Ainsi, pour créer par exemple la couche de *forestcover 2013*, les pixels de *lossyear* ayant une valeur entre 1 et 12 ont été soustraits à la couche de *forestcover2000* (Figure 4). Les outils *Con* ainsi que le *raster calculator* ont été employés pour cette étape. Il est important de noter que pour ce travail, les données de gain de forêt, également disponibles, n'ont pas été prises en compte et jugées négligeables dans le cadre de ce travail sur une telle échelle de temps.

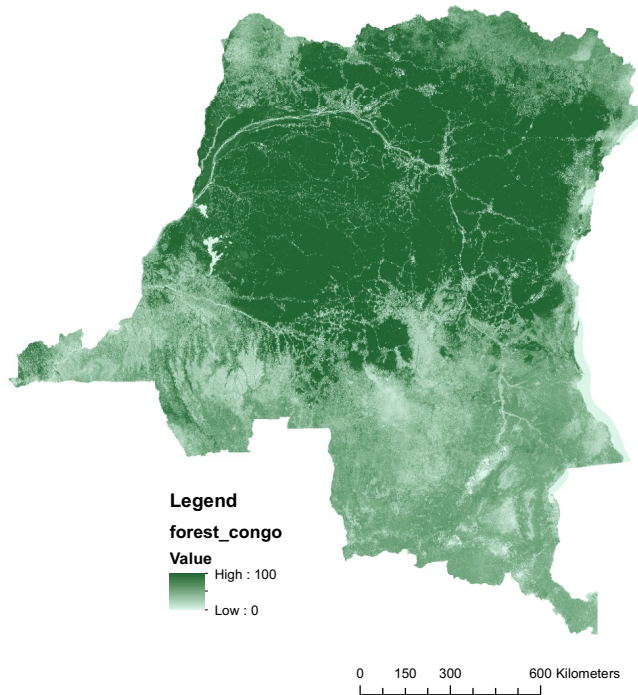


Figure 4 : Couche représentant le *forestcover* 2013 en RDC dans ArcMap

Pour créer les couches de *forestcover* sur les zones correspondant aux concessions minières pour chaque année, les couches du cadastre minier ont été utilisées pour les années 2013 à 2016. Celles-ci ont été téléchargées et une *feature layer* a été créée pour chaque année puis dissoutes de manière à obtenir un seul polygone (Figure 2). Une sélection a également été faite au préalable, afin de classer les concessions minières avec l'outil *Select Layer By Attribute*. Si, sur la plateforme MapX, les concessions sont classées en fonction du type d'autorisation qu'elles détiennent, dans ce travail, les concessions ont été classées en fonction de ce qu'elles exploitent. Les informations à ce sujet sont imprécises et il est difficile de catégoriser les exploitations. Néanmoins, les concessions ont été regroupées en fonction des métaux exploités. J'ai ainsi sélectionné différents métaux principaux comme le cuivre, Le cobalt ainsi que le plomb, qui peuvent être retrouvés en grande quantité dans les sédiments et les sols et qui ont un effet sur la santé et l'environnement. J'ai également sélectionné les mines qui exploitent l'or, qui peut également être problématique pour l'environnement lorsqu'il est extrait sous forme d'amalgame (surtout problématique au niveau des mines artisanales, les amalgames sont formés à base de mercure et sont problématiques pour l'environnement) ainsi que celles qui sont dédiées à la recherche de diamants.

L'outil *Extract by Mask* a permis ensuite de créer des nouvelles couches raster à partir des couches de *forestcover* pour chaque année, créées au préalable, et des couches des concessions dissoutes. Ceci a été fait pour chaque année et chaque classe de concessions (qui je le rappelle ont été classées en fonction des principaux métaux qu'elles exploitent). Ces couches représentent ainsi la couverture forestière sur les zones de concessions minières.

b) *Calculs de surface*

Il s'agit ensuite de calculer la surface de forêt recouverte par les concessions minières à partir des couches de forêts sur les zones de concessions minières. Pour ce faire, il a fallu tout d'abord s'assurer

que le système de coordonnées associé aux couches soit projeté, ce qui est nécessaire lors de calculs de surface. Il a été nécessaire par la suite d'ajouter une nouvelle colonne d'attribut à la table de chaque couche (outil *Add Field*) dans laquelle a pu être calculée la surface de forêt recouverte par des concessions minières. Le calcul s'est fait de la manière suivante, avec l'outil *Calculate Field* :

$$Sum_{surface} = \sum \left(\frac{\%forest_i}{100} * pixelcount_i * pixelsize \right)$$

Où i représente chaque valeur de $\%forest$ et $pixelsize = 0.00025 * 0.00025 = 625e^{-8}$ [km²].

Les résultats de ces calculs de surface ont été reportés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Surface de forêt recouverte par les concessions minières en fonction des principales commodités

a) Surface de forêt recouverte par les concessions minières (km ²)				
année	2013	2014	2015	2016
total	286'729	167'177	141'281	174'266
Cu	90'818	60'048	54'395	106'695
Co	74'726	50'717	43'230	46'269
Au	222'564	10'739	107'399	129'315
Di	128'360	64'086	49'159	69'448

2.1.4.2 Utilisation du langage Python :

Afin de faciliter l'exécution ainsi que l'itération du traitement des données dans ArcMap, le géotraitement a été automatisé à partir du site-package ArcPy dans le langage de programmation Python (Voir annexe 1). Cette démarche a été conduite pour éviter les erreurs lors de l'enchaînement des différents outils ainsi que pour gagner du temps en automatisant l'enchaînement des outils.

L'utilisation d'ArcPy est fréquente dès lors que le traitement des données dans ArcMap nécessite l'utilisation d'un bon nombre d'outils ainsi que de nombreuses répétitions.

2.1.4.3 Utilisation de la Plateforme Google Earth Engine

Tout le traitement des données peut également se faire sur la plateforme *Google Earth Engine*, destinée au traitement ainsi qu'à l'observation d'images satellites et autres données géospatiales. Cette plateforme possède une grande bibliothèque et un accès ouvert aux données. Il est possible d'importer et exporter des données dans cette plateforme. Elle comprend également une interface de programmation JavaScript pour les requêtes et le traitement des données.

J'ai utilisé *Google Earth Engine* essentiellement pour créer et visualiser les couches de *forestcover* dans les zones de concessions minières pour chaque année, afin de les comparer avec celles obtenues dans ArcGIS (Figure 5).

Le script 2, réalisé pour ce travail et lorsqu'il est implémenté dans l'interface de programmation de *Google Earth Engine*, permet d'importer les couches et de les traiter, afin d'obtenir la couche de forêt sur les concessions minières pour les différentes années. Il permet de visualiser les couches créées sur Google Earth et de les télécharger sur Google Drive.

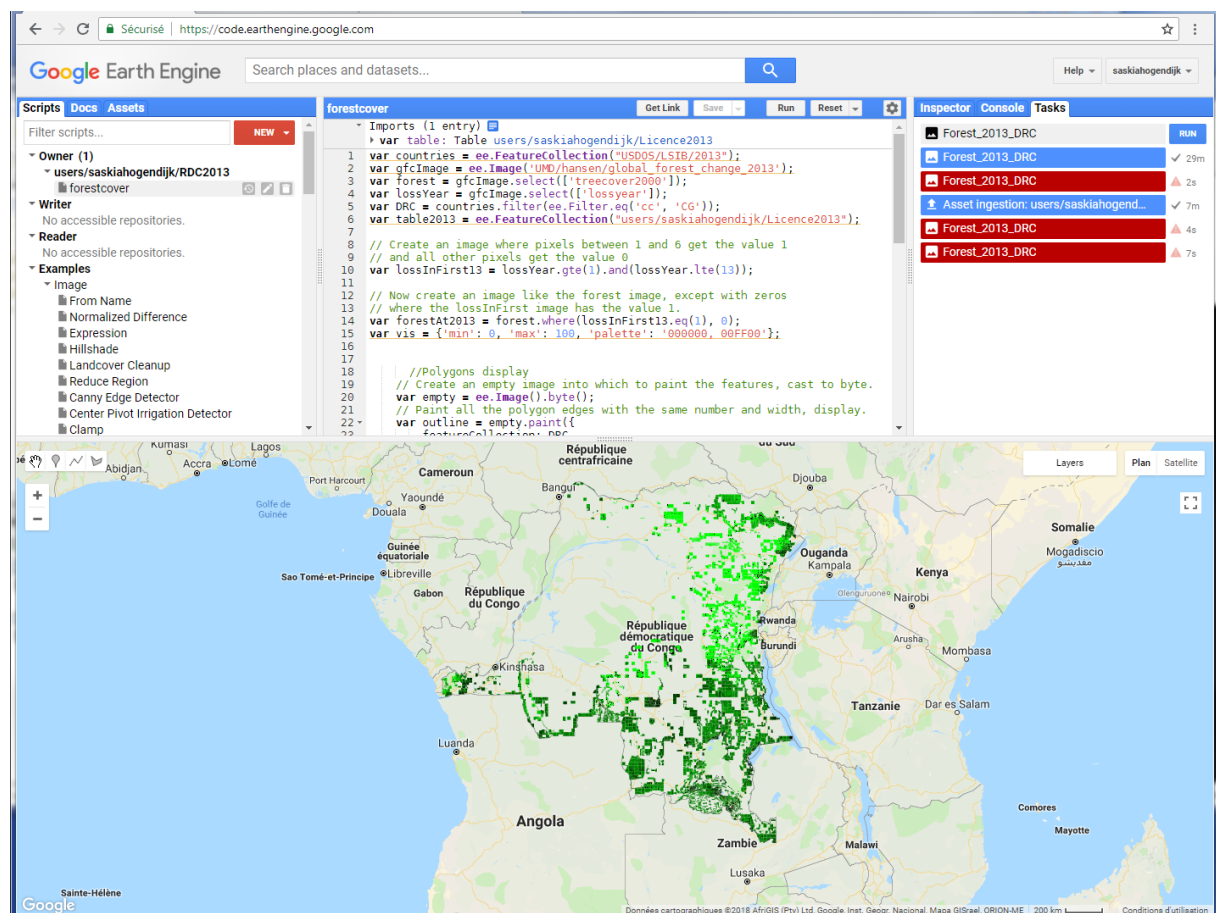


Figure 5 : Traitement et visualisation des données dans Google Earth Engine Code

Le script correspondant est présenté en annexe 2.

2.1.4.4 Publication des couches dans MapX

Les couches représentant la couverture forestière sur la totalité des zones de concessions minières pour les différentes années ont été publiées dans MapX.

Pour ce faire, celles-ci (format GeoTIFF) ont préalablement été compressées. Les couches ont ensuite été publiées dans GeoServer, puis intégrées dans MapX sous forme de vues raster, via des requêtes WMS. La légende des cartes a également été publiée dans GeoServer en format SLD (Le fichier a été créé sur QGIS à travers l'extension *SLD4raster*), puis intégrée aux côtés de chaque vue via une requête WMS également. Des fiches de métadonnées ont été créées dans GeoNetwork et associées à chaque couche dans MapX. La Figure 6 représente la vue dans MapX de la couche forêt dans les zones de concessions minières en 2013.

Les quatre vues ont été créées dans le projet UN Environment Democratic Republic of Congo.

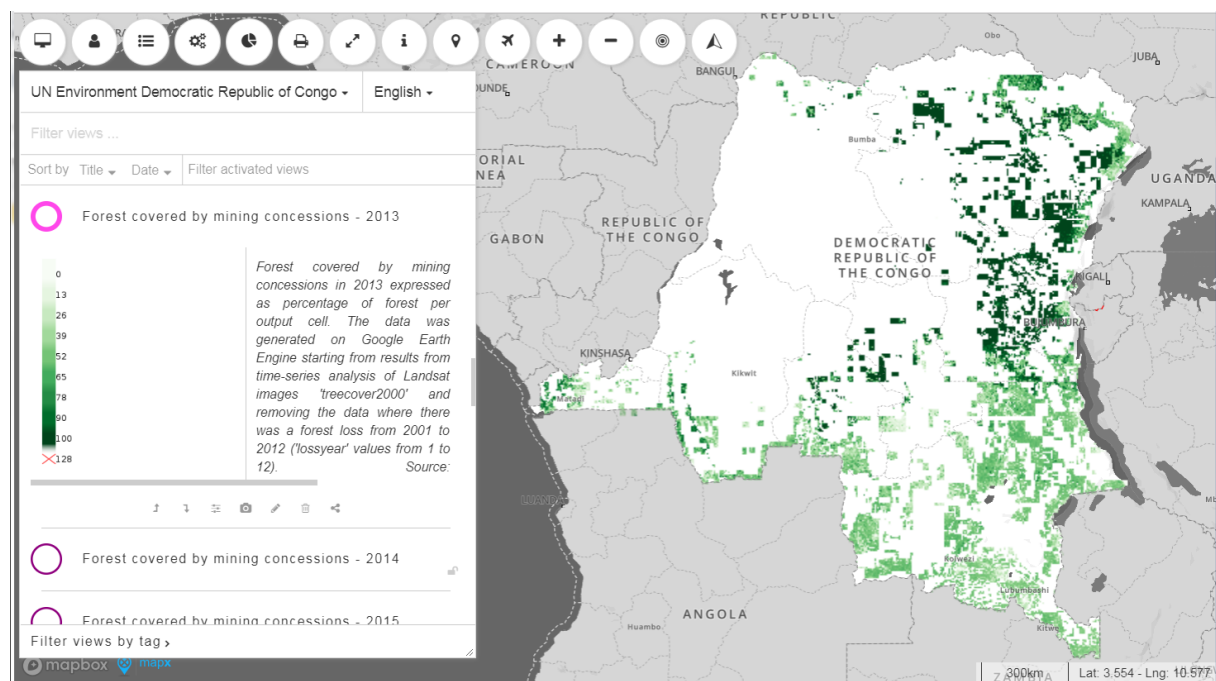


Figure 6 : Vue dans MapX représentant la forêt couverte par les concessions minières en 2013

2.1.4.5 Création de la story map

Par la suite, une vue supplémentaire, de type story map, a été créée dans MapX. Cette story map a pour but de transmettre des informations sur l'état de la forêt en RDC ainsi que sur l'ampleur et les causes de la déforestation, en se focalisant sur l'effet de l'industrie minière (Figure 7). La story map comprend du texte, des photos provenant de la page Flickr du sous-programme des désastres et conflits du Programme des Nations Unies pour l'environnement et des vues existant dans MapX (Vue raster : Mapbox Satellite ; vue raster créée dans le cadre de cette mission : forêt recouverte par des concessions minières (2016) ; vues vecteur : sites miniers artisanaux : Minéraux (2016), aires protégées).



Figure 7 : Story map sur l'impact de l'activité minière sur la couverture forestière en République Démocratique du Congo

Des graphiques ont été élaborés avec Highcharts, une bibliothèque graphique écrite en Javascript, et intégrés dans la story map. Le premier graphique (Figure 8) représente les surfaces de forêts recouvertes par les concessions minières (totales et en fonction de chaque commodité principale), de 2013 à 2016. Il est important de noter les concessions peuvent exploiter plusieurs commodités et que les aires de forêt recouvertes par les concessions subdivisées par commodité peuvent se superposer.

En observant ce graphique, ainsi qu'en étudiant les couches des concessions minières, j'ai remarqué que la surface de forêt recouverte par les concessions minières par année est directement liée à la surface totale des concessions. Les surfaces calculées ne donnent ainsi que des informations sur l'étendue de la forêt menacée par les concessions minières chaque année, mais aucun élément sur la perte de forêt.

Pour avoir des indications sur la perte de forêt dans les zones de concessions minières ainsi que pour avoir un réel aperçu de l'effet du temps sur l'évolution de la forêt dans ces zones, j'ai également calculé les surfaces de forêt qui sont recouvertes par les concessions minières répertoriées chaque année de 2013 à 2016 (Tableau 2). J'ai représenté ces valeurs dans le second graphique (Figure 9). Sur ce graphique on peut alors observer une perte de surface conséquente entre les années 2013 et 2016.

Ces divers calculs de surface sont des éléments qui peuvent être pris en compte lors du calcul de l'indicateur SDG 15.3.1, pour évaluer l'effet potentiel de l'industrie minière sur la forêt.

Lien vers la story map : [Story Map Deforestation and impact of mining on forests in DRC](#)

Tableau 2 : Evolution dans le temps de la surface indiquant une perte de forêt couverte par les concessions minières

b) Surface des concessions minières (km ²)				
année	2013	2014	2015	2016
total	462'027	286'263	233'542	287'569
Cu	169'243	117'021	103'463	107'687
Co	145'021	103'193	86'327	91'457
Au	342'622	205'745	167'101	203'645
Di	194'134	105'045	75'611	105'785
c) rapport entre la surface de forêt recouverte par les concessions minières et la surface des concessions minières (%)				
année	2013	2014	2015	2016
total	62.06	58.40	60.49	60.60
Cu	53.66	51.31	52.57	99.08
Co	51.53	49.15	50.08	50.59
Au	64.96	52.20	64.27	63.50
Di	66.12	61.01	65.02	65.65
d) Surface de forêt recouverte par les concessions minières répertoriées chaque année entre 2013 et 2016 (km ²)				
2013	2014	2015	2016	
119'895	118'164	117'468	116'367	

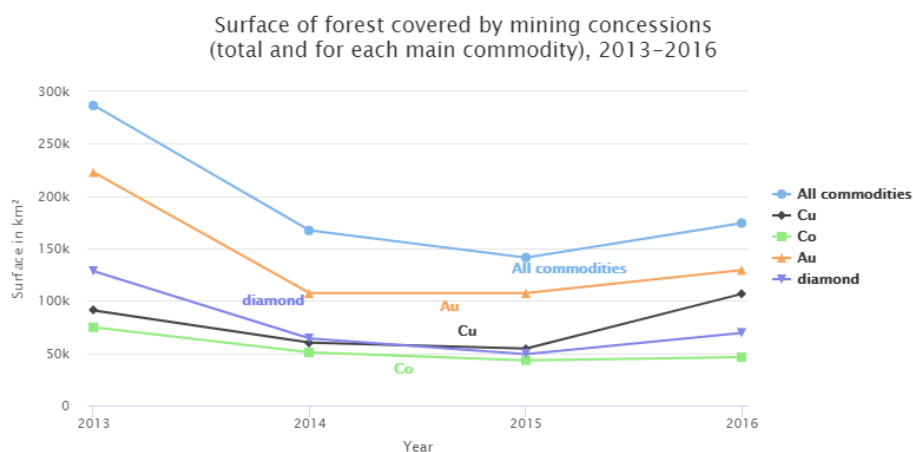


Figure 8 : Graphique représentant les surfaces de forêt recouvertes par des concessions minières pour les années 2013 à 2016 et pour différentes commodités

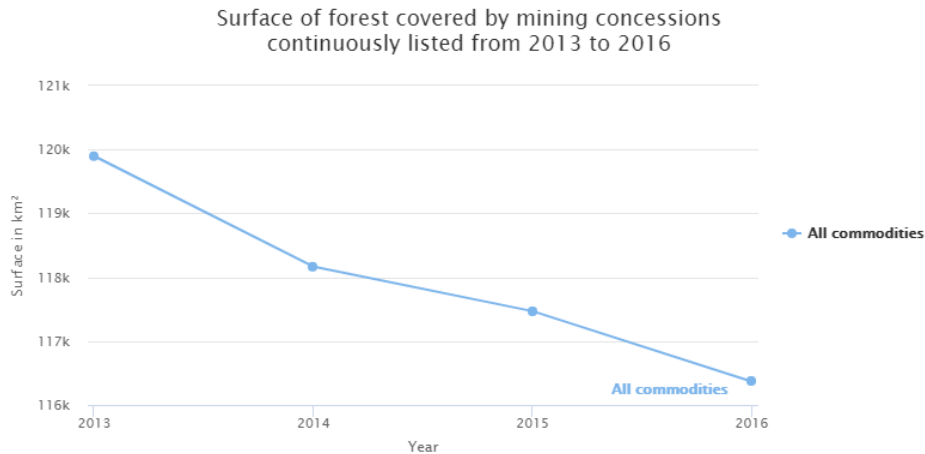


Figure 9 : Graphique représentant les surfaces de forêt recouvertes par des concessions minières répertoriées chaque année entre 2013 et 2016

2.1.5 Bilan

Cette mission s’est étendue sur la quasi-totalité du stage et m’a permis de fournir un travail diversifié.

La première partie du travail m’a demandé beaucoup de temps, puisque j’ai dû apprendre à coder en langage Python. L’exécution des outils prenait également beaucoup de temps, me faisant perdre un temps précieux à chaque fois qu’une erreur était présente dans le script.

A travers les différentes étapes de cette mission, j’ai appris à mieux utiliser le système d’information géographique ArcGIS desktop, à utiliser les plateformes MapX et Google Earth Engine, ainsi que découvert les bases des langages de programmation Python et JavaScript. J’ai également pu contribuer à la consolidation de MapX en y publiant des données et en créant une story map.

A travers la story map, j’ai également créé un outil de communication qui a pour objectif à la fois d’alerter les utilisateurs des effets de l’industrie minière sur la forêt ainsi que de proposer une démarche pouvant servir d’aide au calcul de l’indicateur SDG 15.3.1.

2.2 Projet avec le Geneva Water Hub

2.2.1 Introduction

Le Geneva Water Hub (GWH) est une initiative conjointe de la Confédération Suisse et de l’Université de Genève et a pour but de mieux appréhender les instabilités sociales et politiques découlant des conflits liés à l’eau entre secteurs publique et privés, entre Etats et entre entités politiques.

Du 5 au 9 novembre 2018 s’est tenue la Semaine pour la paix à Genève (« Geneva Peace Week »), offrant l’occasion de mettre en lien le travail de différents acteurs provenant d’institutions universitaires, des Nations Unies et d’autres organisations non-gouvernementales et de promouvoir la discussion pour la construction de la paix et la résolution des conflits.

Dr. Mara Tignino, maître d’enseignement et de recherche à l’Université de Genève ainsi que Coordinatrice de la Plateforme pour le droit international de l’eau douce au sein du GWH, a souhaité collaborer avec MapX pour développer une story map pouvant servir de moyen de communication

accessible sur le site du GWH ainsi que de support à sa présentation sur les conséquences des conflits armés sur l'eau lors la conférence « Water Diplomacy : Building Bridges for Lasting Peace ».

2.2.2 Méthode

Pour ce faire, et en collaboration avec un autre stagiaire, Florian Franziskakis, nous avons créé un jeu de données sur Excel à partir de coupures de presse fournies par le GWH, en définissant une liste d'informations à associer à chaque événement relaté dans les coupures de presse (Table 1). Ces informations comprennent les coordonnées géographiques, le pays, la région, la ville, la date, le type de problématique, le type d'évènement, l'infrastructure affectée, le type de dommage, l'entité qui a causé le dommage, le dommage environnemental, l'impact sur la population, le nombre de personnes impactées, une description supplémentaire si nécessaire et la source. Nous avons également complété ce jeu de données supplémentaires en récoltant des coupures de presse, sur le site ooskanews.com principalement, pour étoffer le jeu de données.

Nous avons ensuite intégré ce jeu de données dans MapX sous le projet Geneva Water Hub, créé pour l'occasion, et sélectionné des vues déjà présentes dans MapX pouvant servir à contextualiser les événements sur la carte, comme par exemple les images satellites. Nous avons également téléchargé des jeux de données tels que les surfaces urbaines ou sur les cas choléra au Yémen que nous avons ajoutés à la base de données de MapX.

Florian Franziskakis s'est ensuite chargé de créer une story map, sur la base d'un plan établi lors d'une réunion avec le GWH et de textes fournis par Oeykue Irmakkesen une chercheuse collaborant avec Mara Tignino.

2.2.3 Résultats

Les résultats se trouvent sur MapX dans le projet Geneva Water Hub. On peut y trouver la vue créée à partir du jeu de données que nous avons élaboré ainsi que la story map « Type of conflicts impacting water » (Figure 10). Le style de la vue a été définie selon le type problématique. La story map est également disponible dans le projet (Figure 11). Cette dernière relate plusieurs études de cas à travers le monde où des infrastructures liées à l'eau ont été prises pour cibles par des groupes armés lors de leurs combats, violant ainsi les lois du droit humanitaire international. Les cas se regroupent en Colombie, au Yémen, En Libye, en Iraq, en Syrie, à Gaza et en Ukraine.



Figure 10 : Exemple de vue produite pour le projet Geneva Water Hub, et utilisée dans la story map du projet. La vue montre les évènements qui ont un impact sur l'eau

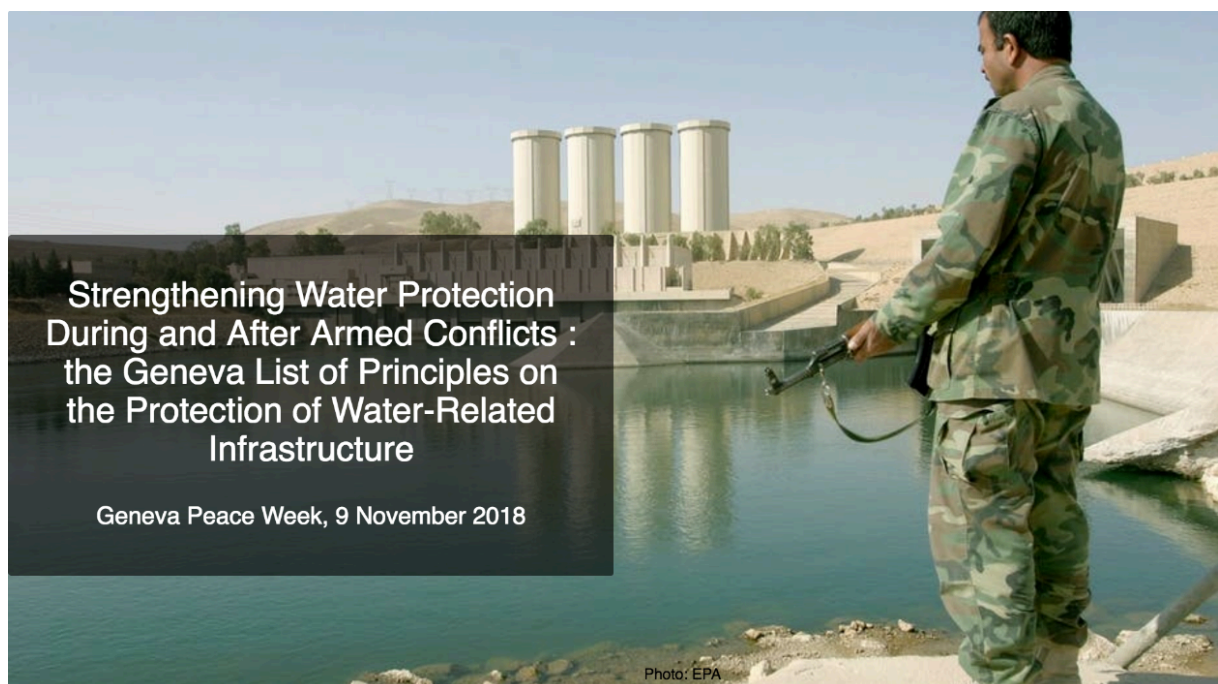


Figure 11 : Slide titre de la story map réalisée pour le Geneva Water Hub

Tableau 3 : Jeu de données créé pour le projet avec le Geneva Water Hub

Country	District/	City	Date	Latitude	Longitude	Type_issue	Type_event	aqueduct	Damage_type	Caused_by	Environmental_damage	Impact_on_population	People_in	Description	Source	Original_publication
Colombia	Arauca	Arauca	06.07.12	7.090278	-70.758889	Armed conflict	Bomb attack	Oil pipeline	Destroyed	FARC	No	Water supply cut	120000	Caño Limón-C	OOSKAnews	Yes
Colombia	Cundinamar	Bogota	07.02.13	4.711111	74.072222	General	Possible attack	Water systems		FARC				Local authori	OOSKAnews	Yes
Syria	Damascus	Damascus	27.08.13	33.513056	36.291944	Infrastructure	Possible Pollution	Water systems	Contaminated	Undefined	Yes	Possible water supply cut			OOSKAnews	No
Iraq	Al-Anbar	Haditha	27.06.14	34.206944	42.355	Infrastructure	Possible Humanit	Dam	Possible destructic	ISIS	Possible flooding and loss	Possible flood		Haditha Dam	OOSKAnews	Yes
Colombia	Meta	Fuente de Oro	29.07.14	3.466667	-73.616667	Armed conflict	Bomb attack	Aqueduct	Destroyed	FARC	No	Water supply cut	16000		OOSKAnews, col	Yes
Iraq	Ninive	Mosul	04.08.14	36.630278	42.823056	Infrastructure	Change of contro	Dam		ISIS		risk of flooding and loss of water resource		Mosul Dam	OOSKAnews	Yes
Colombia	Antioquia		09.09.14			Armed conflict	Bomb attack	Cment supply pli	Partially destroyed	FARC	No				OOSKAnews	Yes
Iraq	Ninive	Mosul	23.10.14	36.630278	42.823056	Armed conflict	Battle	Dam		ISIS				Mosul Dam	OOSKAnews	No
Iraq	Ninive	Mosul	19.12.14	36.34	43.13	Infrastructure	Pollution	Water reservoir		ISIS					OOSKAnews	No
Ukraine	Donetsk	Donetsk	27.01.15	48.002778	37.805278	Armed conflict	damaged pipelin	Canal						Seversky Don	OOSKAnews	No
Colombia	Arauca	Arauca	21.04.15	7.090278	-70.758889	Armed conflict	Bomb attack	Oil pipeline	Destroyed	FARC	No	Water supply cut	15000	Caño Limón-C	OOSKAnews	Yes
Iraq	Al Anbar	Ramadi	18.05.15	33.434444	43.265278	Armed conflict	Change of contro	Dam		ISIS		Water supply cut		Ramadi Dam	OOSKAnews	Yes
Iraq	Al Anbar	Ramadi	02.06.15	33.434444	43.265278	Infrastructure	Intentional Cutoff	Dam	Stop functioning	ISIS		Wate Supply Cut		Ramadi Dam	OOSKAnews	Yes
Syria	Ariha	Ariha	02.06.15	35.816667	36.6	Infrastructure	Pollution	Wells	Contaminated	Syrian Regim	No				OOSKAnews, W	Yes
Colombia	Huila	Algeciras	08.06.15	2.533333	-75.316667	Armed conflict	Bomb attack	Water plant	Destroyed	FARC	No	Water supply cut	13000		OOSKAnews	Yes
Colombia	Putumayo	Puerto Asis	09.06.15	0.516667	-76.5	Infrastructure	Pollution	Water reservoir	Contaminated	FARC	River				OOSKAnews	No
Colombia			10.06.15			Armed conflict	Bomb attack	Oil pipeline	Destroyed	FARC	River	Water supply cut		Caño Limón-C	OOSKAnews	No
Colombia	Nariño	Nariño	11.06.15	1.166667	-77.266667	Infrastructure	Pollution	Water reservoir	Contaminated		River				OOSKAnews	No
Colombia		Catatumbo	18.06.15	7.262608	-73.301064	Armed conflict	Bomb attack	Oil pipeline	Destroyed	FARC	River	Water supply cut	16000	Caño Limón-C	OOSKAnews	No
Syria	Darayya	Moadamiyah	18.06.15	33.46	36.19	Humanitarian	Humanitarian reachout			No		Water supply returns	40000		OOSKAnews, ICF	No
Colombia	Putumayo		24.06.15			Armed conflict	Bomb attack	Oil pipeline	Destroyed	FARC	River			Caño Limón-Coveñas Oil pipeli	OOSKAnews	Yes
Ukraine	Donbass		08.07.15			Infrastructure	Reparation	water supply sys	Restored	International Committee of the Red Cross (ICRC)					OOSKAnews	Yes
Syria	Aleppo	Aleppo	18.07.15	36.2	37.15	Infrastructure	Intentional Cutoff	Water systems	Stop functioning	Al Nusra	No	Water supply cut			OOSKAnews	Yes
Syria	Aleppo	Aleppo	20.07.15	36.2	37.15	Infrastructure	Water supply ret	Water systems	Restored	No		Water supply returns			OOSKAnews	Yes
Ukraine	Donetsk	Horiivka	07.08.15	48.3	38.05	Infrastructure	Ceasefire for rap	Water systems	Restored	Organization for Security and Cooperation in Europe's Special Monitoring Mission (OSCE SMM)					OOSKAnews	Yes
Ukraine	Horiivka	Mayorsk	07.08.15			Infrastructure	Ceasefire for rap	Water systems	Restored	Organization for Security and Cooperation in Europe's Special Monitoring Mission (OSCE SMM)					OOSKAnews	Yes
Ukraine	Spartak		07.08.15			Infrastructure	Ceasefire for rap	Water systems	Restored	Organization for Security and Cooperation in Europe's Special Monitoring Mission (OSCE SMM)					OOSKAnews	Yes
Syria	Damascus	Damascus	17.08.15	33.513056	36.291944	General	Communication			UN				UN officer co	OOSKAnews	Yes
Ukraine	Luhansk	Luhansk	17.08.15	48.566667	39.333333	Armed conflict	Airstrike	Water plant	destruction	Undefined		Water supply cut			OOSKAnews	No
Syria	Damascus	Yarmouk	19.08.15	33.466667	36.3	Health	Typhoid epidemic			No					OOSKAnews	No
Ukraine	Donetsk	Donetsk	21.08.15	48.002778	37.805278	Armed conflict	Airstrike	Water plant	cut off power dup	Undefined		Water supply cut			OOSKAnews	No
Ukraine	eastern Ukraine		18.09.15			Armed conflict	Battle	pipelines	Partially destroyed	Ukrainian troops and Russian separati		Water supply cut			OOSKAnews	Yes
Syria	Al-Thawrah	Al-Thawrah	22.09.15	35.836667	38.548056	Infrastructure	Pollution	Water systems	Contaminated	ISIS	No	Water supply cut			OOSKAnews, dai	No
Syria	Damascus	Yarmouk	24.09.15	33.466667	36.3	Health	Typhoid epidemic			No					OOSKAnews	Yes
Syria	Raqqa	Raqqa	04.11.15	35.95	39.0167	Armed conflict	Airstrike	Water systems	Destroyed	Russia Syria	No	Water supply cut			OOSKAnews, syr	No
Syria	Aleppo	Aleppo	03.12.15	36.2	37.15	Armed conflict	Airstrike	Water plant	Destroyed	Undefined	No	Water supply cut	3500000		OOSKAnews, Re	No
Syria	Aleppo	Aleppo	15.12.15	36.2	37.15	Humanitarian	Humanitarian reachout			No		Water supply returns	700000		OOSKAnews, Eu	No
Ukraine	Luhansk	Luhansk	07.01.16	48.566667	39.333333	Infrastructure	damaged pipelin	Pipeline	Partially destroyed						OOSKAnews	No

2.2.3 Bilan

Ce travail en collaboration avec le GWH m'a permis de participer à la création d'un jeu de données, un travail méticuleux qui est important puisqu'il est à la base de tout projet ayant une composante spatiale. La création du projet ainsi que la publication des données dans MapX m'ont permis de me familiariser encore un peu plus avec la plateforme MapX.

Ce travail m'a en outre permis d'assister à plusieurs réunions entre l'équipe de MapX et celle du GWH et d'ainsi être au centre de la collaboration entre l'équipe de MapX et celle du GWH. J'ai ainsi dû travailler en équipe, en restant à l'écoute des différentes attentes de l'équipe collaboratrice du GWH.

2.3 Tests de l'outil de superposition PixOp de MapX

2.3.1 Introduction

MapX est en développement continu et il n'est donc pas étonnant d'y voir apparaître des améliorations ainsi que de nouvelles fonctionnalités avec le temps. Lors de mon stage un nouvel outil a été incrémenté dans MapX. Il s'agit d'un outil de calcul d'intersection, permettant de faire de l'analyse spatiale dans MapX en calculant la surface d'intersection de couches vectorielles affichées sur la carte. Contrairement au calcul de surface que l'on peut exécuter dans un SIG, la surface de superposition des couches calculée par l'outil de MapX varie en fonction du niveau de zoom, puisqu'elle se calcule en fonction d'une grille qui dépend de ce niveau de zoom.

J'ai été chargée de participer au testing de cet outil expérimental en une journée, afin de faire une première évaluation rapide de cette nouvelle fonctionnalité de MapX.

2.3.2. Méthode

Pour ce faire, j'ai comparé les surfaces de superpositions des couches calculées dans MapX par l'outil PixOp et dans QGIS, puis calculé l'erreur associée au calcul généré par l'outil de MapX par rapport au résultat obtenu dans QGIS. Les tests ont été faits sur des couches aux géométries plus ou moins complexes et à différentes échelles.

Six tests ont été effectués sur différentes couches dans MapX et QGIS en prenant par exemple une superposition de couches simples dans un petit pays (Figure 12) et une superposition de couches plus complexe à l'échelle d'un grand pays (Figure 13).

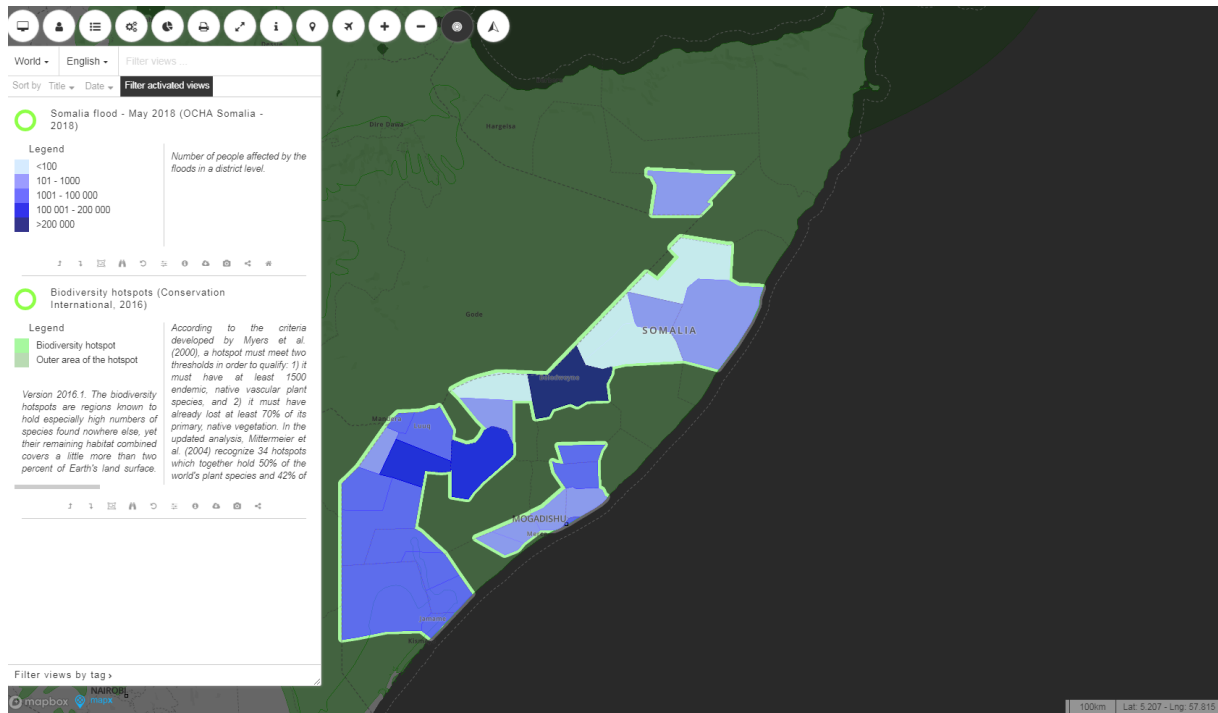


Figure 12 : Test de l’outil d’overlap de MapX, permettant de mettre en évidence les chevauchements vectoriels entre couches simples à l’échelle d’un petit pays

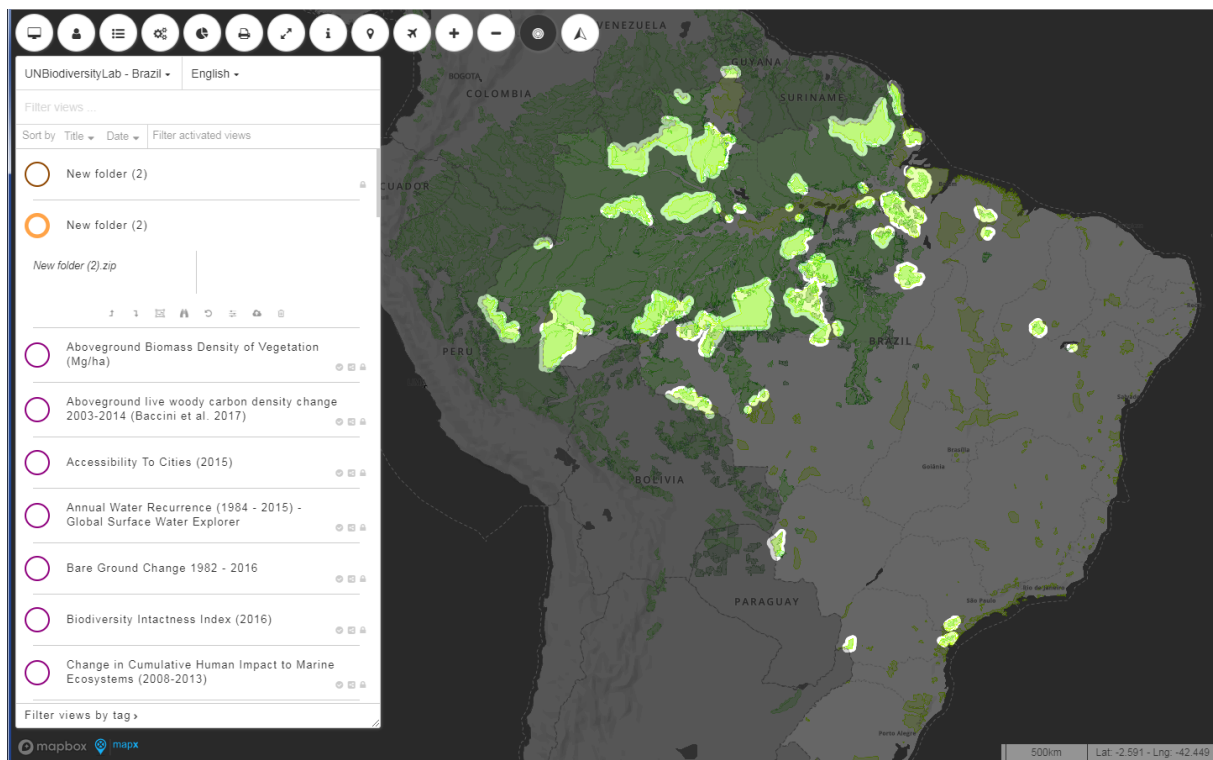


Figure 13 : Test de l’outil d’overlap de MapX, permettant de mettre en évidence les chevauchements vectoriels entre couches relativement complexes à l’échelle d’un grand pays

2.3.3 Résultats

Ces tests nous montrent que la complexité des couches a une influence importante sur la précision de de l’outil de MapX. Les résultats sont très précis pour les couches simples, mais pour les couches plus complexes, l’imprécision est plus grande (1 à 12% d’erreur parmi les tests effectués).

Le niveau de zoom a également un effet sur la précision de l'outil. En effet, lorsque l'on dézoome dans MapX, la géométrie des couches est simplifiée, ce qui influence la surface calculée.

2.3.4 Bilan

Cet outil est donc très puissant et bien adapté pour des analyses spatiales concernant des couches simples. Par contre si la géométrie des couches est complexe, cet outil se révèle moins précis. Il faut donc être vigilant lors de l'utilisation de cet outil sur des couches adaptées.

2.4 Incidence des erreurs topologiques dans les couches WDPA et KBA sur le calcul de surface de polygones

2.4.1 Introduction

Le calcul de surface de polygones est fréquemment utilisé dans l'analyse spatiale de données. Or il se peut que des erreurs topologiques soient présentes dans des couches existantes, faussant les calculs de surface.

Des erreurs topologiques ont été observées dans deux couches fréquemment utilisées : Celle sur les aires protégées « World Database on Protected Areas » (WDPA) ainsi que celles des aires clés de biodiversité « Key Biodiversity Areas » (KBA). Ces erreurs sont exprimées par le chevauchement de polygones au sein de chaque couche. J'ai donc été chargée de calculer les erreurs que les pays feraient si leurs rapports (dans le cadre de la convention sur la diversité biologique) étaient basées sur ces couches brutes.

2.4.2 Méthode

Afin d'évaluer l'erreur pouvant découler du calcul de surface à partir de ces couches brutes, j'ai comparé la surface totale des polygones de ces couches dans des zones définies avec et sans chevauchement des polygones (Figure 14).

Les couches ont ainsi été traitées dans ArcGIS. J'ai clippé chaque couche sur une zone définie, dans ce cas deux pays : la RDC et le Brésil), projeté les données, puis calculé la géométrie ainsi que la somme de la surface des polygones. J'ai systématiquement calculé la somme des surfaces avec la couche dissoute (afin d'éliminer toute superposition de polygones) et non-dissoute (couche brute). Enfin, j'ai comparé les résultats découlant des couches dissoutes et non-dissoutes.

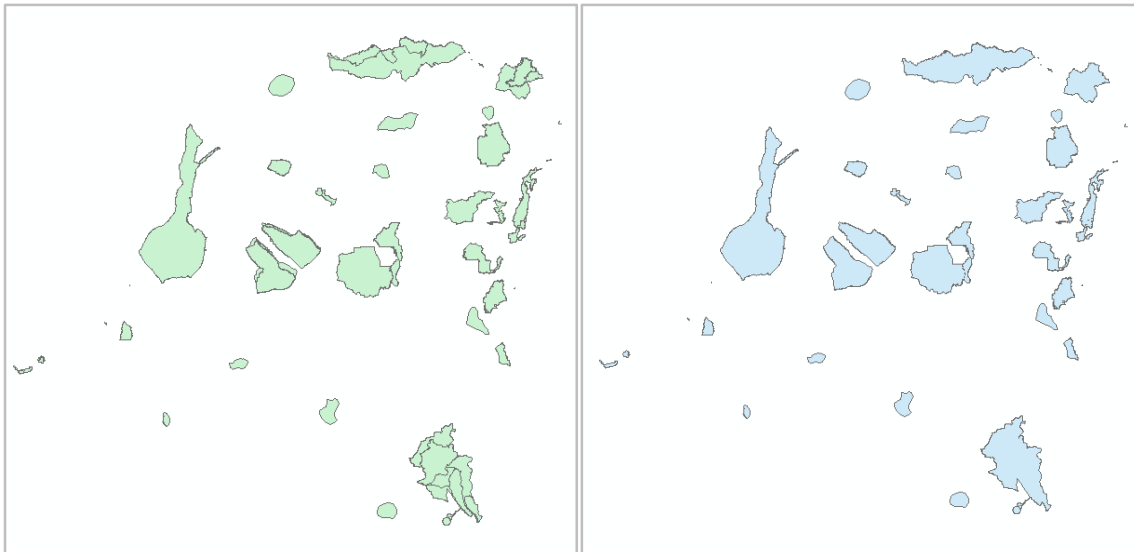


Figure 14 : Couche WDPA en RDC non-dissoute et dissoute

2.4.3 Résultats

En ce qui concerne la couche WDPA, le calcul de surface avec la couche dissoute diffère de plus de 33% du calcul avec la même couche en DRC.

Il n'y avait pas de superposition des polygones dans la couche KBA en RDC, j'ai donc fait les calculs au Brésil. La différence entre la couche dissoute et non-dissoute est de 3%.

2.4.4. Bilan

Les résultats montrent que le calcul de surfaces à partir de ces deux couches brutes peut générer des erreurs significatives. Ces erreurs dépendent de l'occurrence de chevauchement entre les polygones de chaque couche dans les zones d'intérêt. Les exemples utilisés dans ce test montrent que la différence entre les données brutes et les données corrigées peut être supérieure à 30%. Ce problème doit être pris avec prudence, car il peut avoir un impact significatif sur l'interprétation des résultats et la prise de décision potentielle en découlant.

3. Bilan général du stage

Ces trois mois et demi de stage m'ont permis d'acquérir de bonnes connaissances en géomatique et d'ainsi compléter ma formation dans le cadre du Certificat complémentaire en Géomatique. Les différentes missions qui m'ont été attribuées m'ont permis de m'atteler à des tâches diversifiées.

Ma mission principale m'a permis de mettre un pied dans le monde de la programmation, avec l'apprentissage du langage Python pour l'exécution des outils dans ArcGIS ainsi que les bases de JavaScript sur Google Earth Engine et avec Highcharts. Elle a également été utile pour le perfectionnement de mes connaissances en SIG. J'ai également appris, au travers de cette mission, à mieux utiliser la plateforme MapX en y publiant des données et en créant une story map. La mission en collaboration avec le GWH quant à elle m'a appris à créer un jeu de données géo-spatiales cohérent ainsi que permis d'assister à toutes les étapes de communication entre l'équipe du GWH et celle de

MapX. Les missions en marge de ces deux principales m'ont été attribuées de manière plus spontanée, en réponse aux besoins de l'équipe MapX et m'ont permis une nouvelle fois de mettre en pratique mes connaissances en géomatique.

J'ai donc acquis une palette de connaissances variée et en lien avec la géomatique mais aussi avec le monde concret du travail.

J'ai parfois rencontré des problèmes inattendus sur lesquels j'ai passé beaucoup de temps, notamment lors de la création des couches de forestcover en RDC dans le cadre de ma mission principale. Heureusement, un bon encadrement ainsi que la présence d'une équipe disponible et à l'écoute m'ont permis de surmonter les difficultés rencontrées.

Il m'a finalement été très agréable de travailler au sein de l'équipe du GRID-Genève et de découvrir ses nombreux projets, afin d'entrevoir l'application des connaissances acquises lors des cours de géomatique à des projets concrets et intéressants.

4. Conclusion

Ce stage de trois mois et demi au sein de l'équipe du GRID-Genève à la Maison Internationale de l'Environnement a donc été une expérience très positive et un complément approprié aux cours proposés dans le Certificat complémentaire en Géomatique.

Il m'a permis d'acquérir une toute première expérience professionnelle dans le domaine de la géomatique et de participer à un projet en développement et touchant à des problématiques environnementales.

Lors ce stage, j'ai créé des couches de couverture forestière recouvertes par les concessions minières de 2013 et 2016 et créé une story map, traitant de l'impact de l'industrie minière sur la forêt, dans le but de sensibiliser les utilisateurs de MapX et de donner des pistes pour le calcul de l'indicateur SDG 15.3.1 J'ai également participé au projet en collaboration avec le GWH, dans le but de créer un outil de communication sous forme de story map pour illustrer les conséquences des conflits armés sur les infrastructures liées à l'eau dans le monde. Toutes les missions m'ont finalement permis de prendre part au développement de MapX.

Références

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. *Science* 342 (15 November): 850–53.

Kipalu, P., Koné, L., Bouchra, S., Vig, S., & Loyombo, W. (2016). *Securing forest peoples' rights and tackling deforestation in the Democratic Republic of Congo: deforestation drivers, local impacts and rights-based solutions*. Forest Peoples Programme.

Pourret, O., Lange, B., Bonhoure, J., Colinet, G., Decrée, S., Mahy, G., Séleck M., Shutcha M & Faucon, M. P. (2016). Assessment of soil metal distribution and environmental impact of mining in Katanga (Democratic Republic of Congo). *Applied Geochemistry*, 64, 43-55.

Annexes

Annexe 1 : Script (Python)

```
##### Example for 20xx (xx= 13, 14, 15, or 16) #####

#### Importing system modules ####
import sys, string, os, arcpy, urllib # is for downloading images from HTTP

arcpy.overwriteoutput = 1

# Retrieve Spatial Analyst license
if arcpy.CheckExtension("Spatial") == "Available":
    print(".....Checking out ArcGIS Spatial Analyst extension")
    arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
else:
    print(".....Unable to get ArcGIS Spatial Analyst extension")
    sys.exit(0)

# Input and scratch workspaces
inputWorkspace = arcpy.env.workspace = "C:\Users\Saskia\Desktop\RDC"
outWorkspace = arcpy.env.scratchworkspace = "C:\Users\Saskia\Desktop\RDC"

arcpy.overwriteOutput=True

arcpy.env.overwriteOutput=True

##### Importing the concessions #####
print("licences")
licence20xx = "C:\Users\Saskia\Downloads\CAMI\CAMI\Licences.gdb\LicenseExport20xx »

#### Importing/creating lossyear and forestcover2000 layers ####
# Download input forestcover2000 dataset (TIFF)
print "7 tiles of forests cover will be downloaded..."
print "..... downloading tile 1"
tile1 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_00N_020E.tif", "tile1.tif")
print "..... downloading tile 2"
tile2 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_10N_020E.tif", "tile2.tif")
print "..... downloading tile 3"
tile3 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_10S_020E.tif", "tile3.tif")
print "..... downloading tile 4"
tile4 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_10N_030E.tif", "tile4.tif")
print "..... downloading tile 5"
tile5 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_00N_010E.tif", "tile5.tif")
print "..... downloading tile 6"
tile6 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_10N_010E.tif", "tile6.tif")
print "..... downloading tile 7"
tile7 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_treecover2000_00N_030E.tif", "tile7.tif")

# Mosaick input forest dataset
print "Mosaicking forestcover2000 in one tile..."
inputForestCover = arcpy.MosaicToNewRaster_management("tile1.tif;tile2.tif;tile3.tif;tile4.tif;tile5.tif;tile6.tif;tile7.tif", outWorkspace, "inputForestCover.tif",
"GEOGCS['GCS_WGS_1984',DATUM['D_WGS_1984',SPHEROID['WGS_1984',6378137.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0,0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]]",
"8_BIT_UNSIGNED", "0.00025", "1", "LAST", "FIRST")

# Download input forest dataset (TIFF)
##print "5 tiles of forests cover will be downloaded..."
print "..... downloading tile 1"
https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_40N_080W.tif
tile1 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_00N_020E.tif", "tile1.tif")
print "..... downloading tile 2"
tile2 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_10N_020E.tif", "tile2.tif")
print "..... downloading tile 3"
tile3 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_10S_020E.tif", "tile3.tif")
print "..... downloading tile 4"
tile4 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_10N_030E.tif", "tile4.tif")
print "..... downloading tile 5"
tile5 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_00N_010E.tif", "tile5.tif")
print "..... downloading tile 6"
tile6 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_10N_010E.tif", "tile6.tif")
print "..... downloading tile 7"
tile7 = urllib.urlretrieve ("https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2016-v1.4/Hansen_GFC-2016-v1.4_lossyear_00N_030E.tif", "tile7.tif")

# Mosaick input forest dataset
print "Mosaicking lossyear in one tile..."
lossyear = arcpy.MosaicToNewRaster_management("tile1.tif;tile2.tif;tile3.tif;tile4.tif;tile5.tif;tile6.tif;tile7.tif", outWorkspace, "lossyear.tif",
"GEOGCS['GCS_WGS_1984',DATUM['D_WGS_1984',SPHEROID['WGS_1984',6378137.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0,0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]]",
"8_BIT_UNSIGNED", "0.00025", "1", "LAST", "FIRST")

#### Forest cover for each year ####
loss20xx<- arcpy.gp.Con_sa(lossyear, "1", "C:\Users\Saskia\Desktop\RDC\loss2013", "0", "\Value">0 AND \Count\<xx »)

# raster calculator: not available in arcpy. forest20xx = forestcover2000 - (forestcover2000 * loss20xx)

#### clipping with mining concessions according to different commodities ####
```

```

#Commodity (ex: All, Au, Cu, Co, Diamant)
licence20xxCommodity = arcpy.SelectLayerByAttribute_management(licence20xx, "NEW_SELECTION", "Resource LIKE '%Commodity%'")
diss_licence20xxCommodity = arcpy.Dissolve_management(licenses20xxCommodity, "licence20xxCommodity_shp")
Commodity_20xx = arcpy.gp.ExtractByMask_sa(forest20xx, diss_licence20xxCommodity, "H:\RDC2\Au_20xx.tif")

#### Calculation of the surface of forest covered by mining concessions (in function of the commodities) ####

#Commodity (ex: All, Au, Cu, Co, Diamant)
# projection of the layer
Commodity_20xx_proj = arcpy.ProjectRaster_management(Commodity_20xx, Commodity_20xx_proj,
"PROJCS['WGS_1984_UTM_Zone_35S',GEOGCS['GCS_WGS_1984',DATUM['D_WGS_1984',SPHEROID['WGS_1984',6378137.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0.0],U
NIT['Degree',0.0174532925199433]],PROJECTION['Transverse_Mercator'],PARAMETER['False_Easting',500000.0],PARAMETER['False_Northing',1000000.0],PARAMETER['
Central_Meridian',27.0],PARAMETER['Scale_Factor',0.9996],PARAMETER['Latitude_Of_Origin',0.0],UNIT['Meter',1.0]], 'NEAREST', "28.4953218571217
28.4953218571217", "", "",
"GEOGCS['GCS_WGS_1984',DATUM['D_WGS_1984',SPHEROID['WGS_1984',6378137.0,298.257223563]],PRIMEM['Greenwich',0.0],UNIT['Degree',0.0174532925199433]]")
# Create new attribute (type = float) and calculate surface of forest in each pixel
surface = arcpy.AddField_management(Commodity_20xx_proj, "surface", "FLOAT", "", "", "", "NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
arcpy.CalculateField_management(Commodity_20xx_proj, "surface", "!Value!* !Count!* 28.30292445 * 28.30292445 / 1000000 / 100", "Python", "")
# Sum all values => overall surface of forest in the country
arcpy.Statistics_analysis(Commodity_20xx_proj, "H:\RDC2\Output2\Surface20xxCommodity.dbf", "surface SUM", "")

```

Annexe 2 : Script Javascript

```

//Example for 20xx (xx= 13, 14, 15, or 16)
var countries = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB/20xx");
var gfcImage = ee.Image("UMD/hansen/global_forest_change_20xx");
var forest = gfcImage.select(['treecover2000']);
var lossYear = gfcImage.select(['lossyear']);
var DRC = countries.filter(ee.Filter.eq('cc', 'CG'));
var table20xx = ee.FeatureCollection("users/saskiahogendijk/Licence20xx");

// Create an image where pixels between 1 and xx-1 get the value 1
// and all other pixels get the value 0
var lossInFirst13 = lossYear.gte(1).and(lossYear.lte(xx-1));

// Now create an image like the forest image, except with zeros
// where the lossInFirst image has the value 1.
var forestAt2013 = forest.where(lossInFirst13.eq(1), 0);
var vis = {'min': 0, 'max': 100, 'palette': '000000, 00FF00'};

//Polygons display
// Create an empty image into which to paint the features, cast to byte.
var empty = ee.Image().byte();
// Paint all the polygon edges with the same number and width, display.
var outline = empty.paint({
  featureCollection: DRC,
  color: 2,
  width: 3
});

//Polygons display for Licence20xx
// Create an empty image into which to paint the features, cast to byte.
var empty2 = ee.Image().byte();
// Paint all the polygon edges with the same number and width, display.
var licence20xx = empty2.paint({
  featureCollection: table20xx,
  color: 2,
  width: 3
});

var clipped = forestAt20xx.clip(DRC);
var clipped20xx = clipped.clip(table20xx);

// Display images
Map.addLayer(clipped20xx, vis, 'Forest in 20xx in DRC');

// Export the image, specifying scale and region.
Export.image.toDrive({
  image: clipped20xx,
  description: 'Forest_20xx_DRC',
  scale: 30,
  skipEmptyTiles: 'true',
  maxPixels: 110000000000
});

```

