

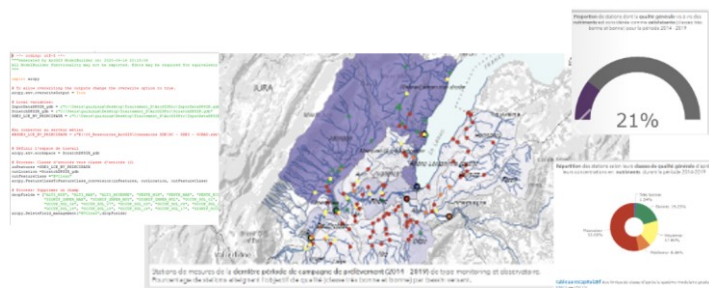
Certificat complémentaire en géomatique

Mémoire de stage

Traitement et visualisation de la qualité des cours d'eau à l'échelle des bassins versants genevois : nutriments et métaux

Utilisation des technologies ESRI : ArcGIS Pro, applications Operations Dashboard et StoryMaps

Office Cantonal de l'eau



Mathilde Guidini

Juin 2020

Superviseurs : Fabrice Roth, Frédéric Bachmann

Enseignant chargé du suivi académique : Prof. Anthony Lehmann

Résumé

Ce rapport présente un stage effectué en géomatique au sein de l'Office Cantonal de l'eau. L'objectif est d'explorer les potentialités des technologies ArcGIS et leurs imbrications pour la création et la visualisation de deux indicateurs de la qualité des cours d'eau : les nutriments et les métaux.

Le géotraitement des données se base sur des scripts Python exécutables dans ArcGIS Pro. Les outils principaux de visualisation utilisés sont les applications Operations Dashboard et Classic Story Maps disponibles sur le portail cartographique de l'État de Genève.

La création de tableaux de bord offre une vue synthétique des indicateurs par la combinaison d'éléments graphiques, cartographiques et textuels. La mise en récit de cette information géographique à travers une Story Map permet de contextualiser ces tableaux de bord.

Ces deux outils interactifs, malgré certaines limites de configuration, présentent l'avantage d'une mise à jour annuelle des différents éléments graphiques et cartographiques grâce à l'automatisation du géotraitement. De plus, ils sont complémentaires aux informations disponibles sur la qualité des cours d'eau à Genève.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Fabrice Roth pour les explications sur le fonctionnement des données, pour sa disponibilité et son soutien qui m'ont aidé à orienter mon travail dans les moments de doute et pour son suivi. Je remercie aussi Frédéric Bachmann pour son aide et son écoute lors du stage. Je suis reconnaissante envers François Pasquini et Gilles Mulhauser pour leurs remarques qui ont permis de faire avancer la réflexion générale dans le cadre de mon master. Sans oublier Anthony Lehmann qui m'a mise en relation avec l'OCEau, et ainsi permis d'obtenir ce stage. Finalement, merci à mon entourage pour leur oreille attentive, leurs avis constructifs, ainsi que leur soutien malgré la distance, dans cette période de travail solitaire. De même, je remercie mon ami Dany pour son soutien moral et pour la relecture de mon travail.

Contenu

Résumé	1
Remerciements.....	2
Table des illustrations.....	5
Acronymes	6
1. Introduction	7
1.1. Présentation de l'OCEau	7
1.2. Contexte	7
1.3. Objectifs et problématique.....	9
2. Présentation des données.....	10
2.1. Couches d'entités et tables sur la qualité des cours d'eau : éléments majeurs et métaux	10
2.2. Contenu textuel.....	11
3. Méthodologie.....	11
3.1. Traitement des données sources et préparation des couches diffusables.....	12
3.1.1. Création de l'espace de travail.....	13
3.1.2. Nettoyage de la couche des bassins versants.....	13
3.1.3. Nettoyage des tables de mesures et de la couche des stations de mesures.....	14
3.1.4. Création de la couche de qualité des stations pour la dernière période de mesures	14
3.1.5. Généralisation de la qualité par bassin versant pour la dernière campagne.....	17
3.1.6. Création d'une couche de qualité toute mesure	17
3.1.7. Comparaison de la qualité entre deux périodes de mesures : quantification de l'évolution de la qualité	19
3.1.8. Résumé des couches publiables	21
3.2. Publication des données.....	21
3.2.1. Publication des classes d'entités depuis ArcGis Pro sur le portail GEODE	21
3.2.2. Images	22
3.3. Création de cartes web.....	23
3.3.1. Couches utilisées	23
3.3.2. Symbologie et superposition des couches.....	24
3.3.3. Configuration de la fenêtre contextuelle	25
3.3.4. Enregistrement et partage de la carte web	25
3.4. Construction de tableaux de bord : application Operations Dashboard	26

3.4.1.	Design d'un tableau de bord.....	26
3.4.2.	Description des éléments.....	26
3.4.3.	Interactivité et actions entre éléments.....	29
3.4.4.	Métadonnées du tableau de bord.....	30
3.5.	Raconter une histoire cartographique : Classic Story Maps.....	30
4.	Résultats.....	31
4.1.	Tableau de bord indicateur : nutriments dans les cours d'eau.....	32
4.1.1.	Aspect général.....	32
4.1.2.	Evaluation de l'état et de la tendance de l'indicateur.....	33
4.2.	Tableau de bord indicateur : métaux dans les cours d'eau.....	34
4.2.1.	Duplication et construction d'un nouveau tableau de bord.....	34
4.2.2.	Exemple d'interprétation générale.....	35
4.3.	Story Map : structuration pour la visualisation des Dashboards.....	36
5.	Discussion.....	38
5.1.	Critique des résultats.....	38
5.1.1.	Scripts python.....	38
5.1.2.	Operations Dashboard.....	39
5.1.3.	Story Map.....	41
5.2.	Réflexions concernant le déroulement du stage.....	42
6.	Conclusion et perspectives.....	43
	Bibliographie.....	45
	Annexes.....	46
	Annexe 1 : Scripts python.....	46
	Annexe 2 : Image des limites de classes pour les métaux.....	46
	Annexe 3 : Organisation des couches dans le portail GEODE pour l'indicateur sur les métaux et la création carte web sur la qualité des cours d'eau durant la dernière campagne vis-à-vis des métaux.....	47

Table des illustrations

Figure 1. Diagramme de réflexion des indicateurs DPSIR (drivers, pressures, state, impacts, responses) autour de la thématique de l'eau potable. Données collectées durant le stage, tableaux de bord développés, et indicateurs présentés dans ce rapport.....	8
Figure 2. Structuration du projet d'indicateurs DPSIR Eau du mémoire personnel et objectifs du stage à l'OCEau.....	9
Figure 3. Diagramme de synthèse de la méthodologie générale pour le traitement et la visualisation des indicateurs.....	12
Figure 4. Création de trois géodatabases pour la structuration du géotraitement.....	13
Figure 5. Extrait du script python MajeursDC : intersection des stations de mesures avec les bassins versants, et utilisation du UpdateCursor pour l'attribution manuelle de bassins versants aux stations exclues.....	15
Figure 6. Processus de géotraitement pour la création des couches des stations de mesures et des bassins versants pour la dernière période de monitoring pour les éléments majeurs.....	16
Figure 7. Processus de géotraitement pour la création de la couche toutes mesures, et de la couche pour l'évolution de qualité entre 2 périodes de mesures pour les éléments majeurs.....	18
Figure 8. Extrait du script MajeursDC : tri et suppression des entités de même code mesure et création d'une liste comprenant les codes mesure des stations similaires entre les deux périodes de monitoring.....	19
Figure 9. Visualisation de la perte de stations entre les deux périodes de mesures pour les éléments majeurs.....	20
Figure 10. Limites de classes permettant d'apprécier la qualité des cours d'eau vis-à-vis des nutriments et des matières organiques utilisées par le SECOE.....	22
Figure 11. Extrait de la visionneuse de carte : création de la carte web des nutriments dans les cours d'eau pour la dernière période de monitoring.....	25
Figure 12. Disposition générale des différents éléments constitutifs d'un tableau de bord pour la création d'une visualisation des indicateurs nutriments et métaux dans les cours d'eau.....	27
Figure 13. Extrait de la page du contenu Dashboard : nutriments dans les cours d'eau.....	30
Figure 14. Résultat du tableau de bord pour l'indicateur des nutriments dans les cours d'eau.....	33
Figure 15. Résultat du tableau de bord pour l'indicateur des métaux dans les cours d'eau.....	35
Figure 16. Onglet 1 de la Story Map : présentation de la qualité des cours d'eau.....	36
Figure 17. Onglet 2 de la Story Map : présentation des bassins versants et des SPAGE. Application de visualisation des limites naturelles des eaux de surface (les bassins versants) et des limites de planification (les SPAGE).....	37
Figure 18. Onglet 3 de la Story Map : tableau de bord récapitulatif de la qualité des cours d'eau.....	38
Figure 19. Extrait du COVID-19 Dashboard de l'Université Johns Hopkins : comparaison de la version desktop et mobile.....	39
Figure 20. Illustration des limites de configuration du diagramme de série.....	40

Acronymes

AGOL	ArcGIS Online
ESRI	Environmental Systems Research Institute
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OCEau	Office Cantonal de l'Eau
OEaux	Ordonnance fédérale sur la protection des eaux
UNIGE	Université de Genève
SECOE	Service de l'écologie de l'eau
SITG	Système d'information du territoire genevois
SMG	Système modulaire gradué
SPAGE	Schéma de protection et d'aménagement des eaux
SQL	Structured Query Language
SVG	Scalable Vector Graphic

1. Introduction

1.1. Présentation de l'OCEau

L'Office cantonal de l'eau (OCEau) a pour but de préserver le fonctionnement du cycle de l'eau et les prestations écosystémiques du milieu aquatique à l'échelle du canton de Genève et des territoires connexes, à travers des partenariats transfrontaliers¹. Trois services se divisent différents enjeux liés à la ressource en eau : l'un s'occupe de la question de la planification (assainissement et gestion intégrée), un second de l'écologie des eaux (analyses des cours d'eau), et le dernier gère la renaturation et la pêche.

Ce stage en géomatique s'est déroulé sur une durée de quatre mois, de janvier à avril 2020. Il a été réalisé plus précisément au service de la planification de l'eau (SPDE), dans le secteur Gestion intégrée des eaux, sous la supervision de Fabrice Roth.

1.2. Contexte

Face aux défis environnementaux, l'État de Genève, l'Université de Genève et l'HEPIA souhaitent développer un observatoire, un laboratoire, et un hub sur l'environnement genevois. Ce projet nommé GE-EN-VIE (Genève - Environnement – Qualité de vie) a pour but de se doter d'outils d'aide à la décision stratégique et politique, par la mise en place d'indicateurs, d'expérimentations, et de supports à la communication sur l'environnement. L'observatoire a comme objet de rassembler les données concernant différentes thématiques environnementales (biodiversité, climat, développement territorial, eau, énergie) à l'échelle du territoire Genevois afin de définir des indicateurs pertinents pour apprécier l'évolution des politiques publiques et de communiquer sur les enjeux environnementaux.

Ce travail de géomatique s'inscrit dans mon travail de mémoire du master en science de l'environnement (MUSE) dont l'objectif est de sélectionner un ensemble d'indicateurs pertinents sur l'hydrosystème à l'échelle du canton de Genève et les visualiser à l'aide de tableaux de bord.

La dernière discussion avec les parties prenantes a permis de recentrer la sélection d'indicateurs autour de l'idée de construire une histoire autour de la question de l'eau potable. La figure 1 présente la dernière version d'une proposition d'indicateurs structurés selon la logique de chaîne causale du cadre conceptuel DPSIR (Driving force – Pressure – State – Impact – Response). Ces indicateurs restent généraux et permettront d'être utilisés pour raconter d'autres histoires, par exemple l'eau comme réservoir de biodiversité.

¹ OCEau. Consulté en avril 2020 sur <https://www.ge.ch/organisation/office-cantonal-eau-oceau>

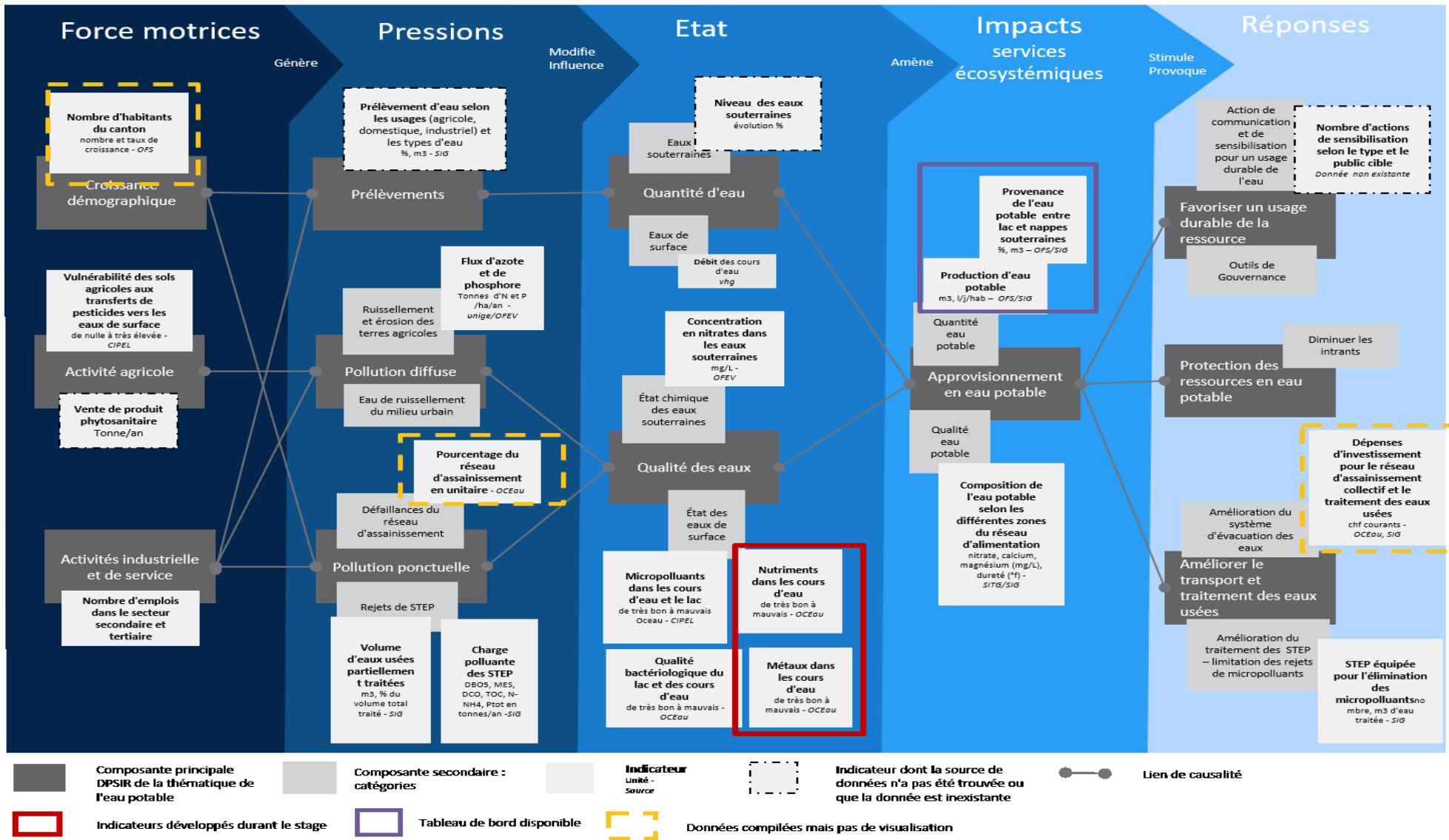


Figure 1. Diagramme de réflexion des indicateurs DPSIR (drivers, pressions, state, impacts, responses) autour de la thématique de l'eau potable. Données collectées durant le stage, tableaux de bord développés, et indicateurs présentés dans ce rapport.

1.3. Objectifs et problématique

L'objet général de ce stage est de construire des outils de communication afin de valoriser les données disponibles à travers des indicateurs. Deux types d'outils ont été sélectionnés : tout d'abord la visualisation synthétique des indicateurs et données pertinentes associées est communiquée à travers des tableaux de bord interactifs. Dans un second temps, l'utilisation de récit cartographique permet de présenter et de contextualiser les tableaux de bord (figure 2).

Un objectif préalable à cette entreprise était la recherche de données disponibles pour la création de différents indicateurs du système DPSIR Eau Potable. Différentes données ont été collectées (figure 1), cependant elles ne seront pas toutes développées dans ce rapport.

Parmi ces données, le travail sur la qualité des cours d'eau a été défini comme prioritaire afin de valoriser les mesures et analyses réalisées par le SECOE (Service de l'écologie de l'eau) qui visent à qualifier l'état de la ressource en eau d'un point de vue qualitatif. Elles concernent l'analyse des prélèvements physico-chimiques permettant d'apprécier les cours d'eau vis-à-vis de la concentration en nutriments et en métaux. Ces données ont été choisies en raison de la possibilité de créer des indicateurs qui évoluent spatialement et temporellement.

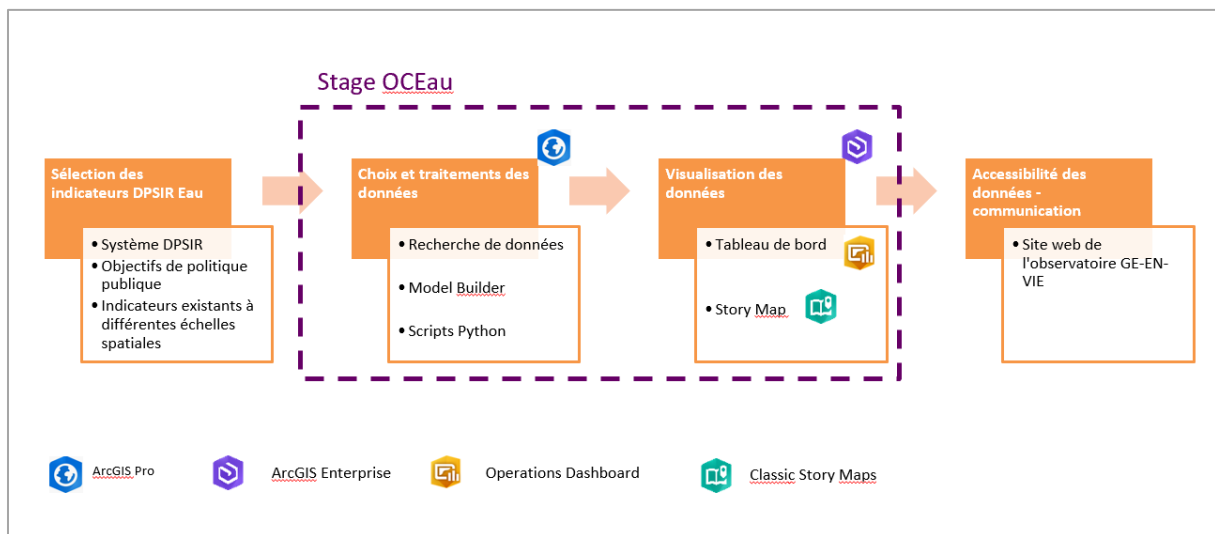


Figure 2. Structuration du projet d'indicateurs DPSIR Eau du mémoire personnel et objectifs du stage à l'OCEau.

Afin de créer des indicateurs, les données sources de qualité doivent être préalablement géotraitées, la programmation de scripts python permet d'automatiser ce processus, afin qu'il soit reproductible pour un nouvel indicateur et la mise à jour annuelle facilitée.

Ces indicateurs doivent être visualisables en ligne. La visualisation de données est un processus pouvant se définir selon trois critères : il se base sur des données qualitatives et quantitatives, son résultat est une image représentative des données brutes, et ce résultat doit être lisible par un lecteur dans le but de communiquer sur les données (Azzam, 2013).

Les technologies ESRI sont utilisées pour le traitement et la visualisation des données et plus particulièrement le logiciel de bureau ArcGIS Pro et les applications en ligne disponibles sur le

portail cartographique ArcGIS Entreprise de l'Etat de Genève : Operations Dashboard et Classic Story Maps.

La problématique est la suivante : comment les technologies ArcGIS peuvent être utilisées afin de valoriser les données de qualité des cours d'eau au moyen de tableaux de bord et de récit cartographique ?

Ce travail répond à une question technique sur les applications utilisées et permet d'amorcer une réflexion sur leur pertinence comme outils de communication.

2. Présentation des données

2.1. Couches d'entités et tables sur la qualité des cours d'eau : éléments majeurs et métaux

La surveillance des cours d'eau genevois est réalisée par le SECOE et repose sur un échantillonnage de stations réparties à travers les différents bassins versants du canton. Chaque année un secteur est étudié, six ans sont nécessaires pour couvrir l'ensemble du territoire. Les prélèvements et les analyses permettent d'apprécier la qualité des cours d'eaux d'un point de vue physico-chimique, bactériologique et biologique.

Les données physico-chimiques récoltées font l'objet d'un processus de traitement permettant de produire les données de base pour ce travail : les tables *HYB_MAJEURS_ANNEE* et *HYB_METAUX_ANNEE* consultables dans la base de donnée métier de l'OCEau *DC-SDE3-OCEAU.sde* (tableau 1).

Pour les éléments majeurs, l'appréciation générale de qualité est disponible dans le champ *WORSTCASE* et prend en compte les indices de qualité de cinq éléments : carbone organique dissous, ammonium, nitrite, nitrate et orthophosphate selon le principe de l'élément déclassant. Pour les métaux, l'appréciation générale se base sur l'indice de qualité de six métaux : cadmium, cuivre, chrome, nickel, plomb et zinc. Les différents indices de qualité se basent sur les valeurs de la concentration du percentile 90.

La classe d'entités *HYB_STATIONS_MESURE* permet de spatialiser les mesures disponibles dans les tables. Et la couche *LCE_BV_PRINCIPALES* est utilisée pour la généralisation des indicateurs à l'échelle des bassins versants. Ces données ont pour système de coordonnées géographiques la référence suisse CH1903+ LV95.

Tableau 1. Présentation des données sources du géotraitement.

Nom	Description	Type	Source	Mise à jour
SDE3.HYB_MAJEURS_ ANNEE	Mesures de différents paramètres physico-chimiques depuis 1969 : débit, température, conductivité, Ph, saturation, alcalinité, DBO. Indice de qualité de très bon à mauvais pour COD, N-NH2, N-NH4, N-NO3, P-PO4 basé sur les valeurs du percentile 90. Appréciation générale de la qualité (WORSTCASE) de très bon à mauvais	Table	DC - SDE3 - OCEAU.sde	Annuelle 2019
SDE3.HYB_METAUX_ ANNEE	Mesures de différents métaux depuis 1995 et appréciation de la concentration (de très bon à mauvais) pour Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn et WORSTCASE	Table	DC - SDE3 - OCEAU.sde	Annuelle 2018
SDE3.HYB_STATIONS_ MESURES	Stations de mesures enrichies de différentes caractéristiques propres au lieu	Classe d'entités points	DC - SDE3 - OCEAU.sde	Annuelle 2019
SDE3.LCE_BV_PRINCI PAUX	Périmètres des bassins versants principaux	Classe d'entités polygone	DC - SDE3 - OCEAU.sde	Irrégulière

2.2. Contenu textuel

Une partie du contenu textuel de l'application Story Map est issue de deux publications de l'OCEau sur l'Etat des rivières² et sur les micropolluants organiques présents dans les cours d'eau³.

3. Méthodologie

Ce travail se subdivise en deux grandes parties : tout d'abord le traitement des données sources dans ArcGIS pro est abordé. La seconde partie concerne la visualisation des données dans le portail ArcGIS Enterprise de l'État de Genève, nommé portail cartographique GEODE (figure 3). Ce dernier permet de partager l'information géographique avec d'autres membres

² OCEau (2018), Etat des rivières Genevoises : Point de situation 2012 – 2017.

³ OCEau (2019), Micropolluants organiques dans les eaux de surface du canton de Genève : point de situation 2011 – 2016.

de l'État de Genève ou publiquement⁴. Le géotraitement repose sur des scripts Python permettant l'automatisation et la reproductibilité du processus. Les couches produites sont publiées sur le portail GEODE, puis utilisées pour créer des cartes web qui sont implémentées dans des applications. Deux types d'applications ont été utilisés, la première est Operations Dashboard qui permet de créer des tableaux de bord. Ces derniers s'utilisent pour construire une infographie claire autour de l'indicateur. La seconde application est Classic Story Maps, elle permet la mise en récit de ces tableaux de bord

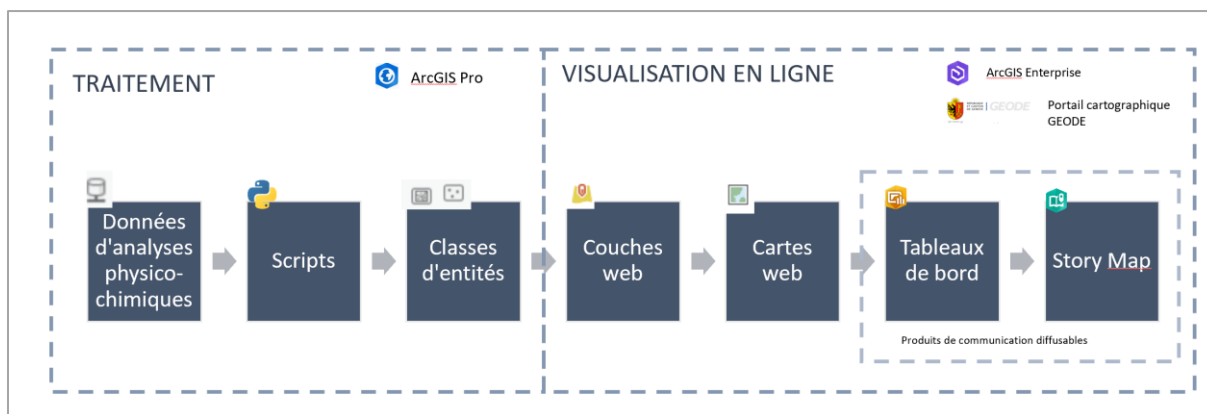


Figure 3. Diagramme de synthèse de la méthodologie générale pour le traitement et la visualisation des indicateurs.

3.1. Traitement des données sources et préparation des couches diffusables

La mise en place d'un géotraitement des données s'est construite dans la perspective de la visualisation de ces données dans le tableau de bord. Afin d'élaborer la réflexion, l'utilisation de ModelBuilder dans ArcGIS Pro a permis d'automatiser un enchaînement d'outils aboutissant à la création de couches finales. Cependant, ModelBuilder admet des limites telles que le temps d'exécution, des dérèglements, et une reproductibilité limitée, de ce fait les différents modèles ont été exportés en script Python. Il est à noter que la version d'ArcGIS Pro de l'État de Genève (2.2.0) ne permet pas cette exportation en fichier .py, il a été nécessaire d'utiliser la version plus récente de l'UNIGE (3.6.8). Ensuite, les scripts ont été complétés, modifiés et améliorés dans la console IDLE (Integrated Development and Learning Environment). Ils sont disponibles dans la boîte à outils du projet *EauDPSIR.tbx*, et ils sont exécutés depuis ArcGIS Pro.

Le géotraitement s'est d'abord porté sur la création des couches pour l'indicateur nutriments dans les cours d'eau, puis le processus a été dupliqué pour l'indicateur des métaux. Au total, cinq scripts ont été créés, un pour nettoyer la couche des bassins versants, et deux scripts pour chaque indicateur. Les premiers permettent d'illustrer la disparité spatiale de la qualité vis-à-vis des nutriments (*MajeursDC.py*) et des métaux (*MétauxDC.py*) durant la dernière

⁴ ArcGIS. *Qu'est ce que le portail ArcGIS Enterprise ?* Consulté en mai 2020 sur : <https://enterprise.arcgis.com/fr/portal/latest/administer/windows/what-is-portal-for-arcgis-.htm>

période de monitoring pour les différentes stations de mesures et une généralisation à l'échelle des bassins versants. Et les seconds (*MajeursTM.py* et *MetauxTM.py*) permettent d'apprécier l'évolution temporelle de qualité et de calculer un taux d'évolution des stations de qualité satisfaisante entre les deux dernières périodes de mesures.

Les différents outils utilisés sont décrits avec précision dans la documentation en ligne de ArcGIS Pro⁵. Ces outils sont disponibles dans le script python en tant que fonction dans ArcPy.

3.1.1. Création de l'espace de travail

Dans le projet ArcGIS Pro *EauDPSIR.aprx*, trois géodatabases sont créées afin d'organiser le traitement des données (figure 4). La géodatabase *InputDataDPSIR.gdb* regroupe les données brutes qui proviennent de la base de données métier de l'OCEau *DC – SDE3 – OCEAU.sde*. Puis, *ScratchDPSIR.gdb* regroupe toutes les couches de données intermédiaires générées lors de l'exécution des scripts. *FinalDataDPSIR.gdb* se compose quant à elle de toutes les couches d'entités finales qui seront publiées sur le portail ArcGIS Enterprise.

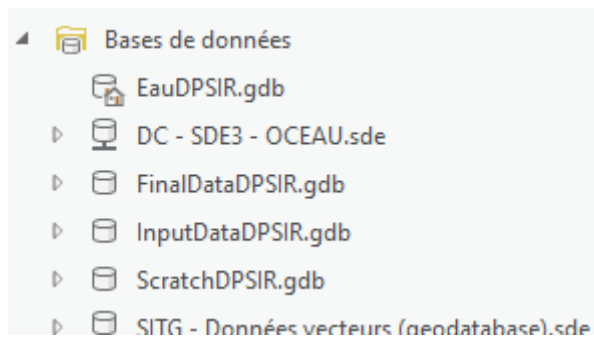


Figure 4. Création de trois géodatabases pour la structuration du géotraitement.

3.1.2. Nettoyage de la couche des bassins versants

Le périmètre des bassins versants est l'espace géographique pertinent pour exposer la qualité des cours d'eau. La couche des stations de mesures dans la base de données métier *SDE3.HYB_STATIONS_MESURES* n'associe pas de bassin versant à chaque station, ce qui nécessite une intersection avec la couche *LCE_BV_PRINCIPAUX*. De même, les statistiques et généralisations de qualités par bassin versant nécessitent une couche nettoyée. En effet, *LCE_BV_PRINCIPAUX* comporte beaucoup de champs inutiles pour le géotraitement, notamment sur les caractéristiques d'occupation du sol non actualisées, ou encore des descriptions sur la pente et l'altitude. Ainsi, un script permet de nettoyer cette couche avant de l'utiliser par la suite dans les scripts du traitement des qualités pour les éléments majeurs et les métaux. Ce script doit être exécuté en premier, car la couche *BVClean* résultante est une donnée nécessaire dans les autres scripts.

⁵ ArcGIS. *Référence des outils ArcGIS Pro*. Consulté de février à avril 2020 sur <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>

3.1.3. Nettoyage des tables de mesures et de la couche des stations de mesures

Préalablement à l'utilisation des données, il est important de supprimer les champs qui ne sont pas utiles pour le processus de traitement et de garder les informations pouvant être intéressantes pour un utilisateur lors de l'interrogation de ces couches dans les tableaux de bord. Cette étape se retrouve dans les quatre scripts de traitement des éléments majeurs et des métaux.

Pour les tables des mesures *HYB_MAJEURS_ANNEE* et *HYB_METAUX_ANNEE*, tous les percentiles 80 sont supprimés, car ils ne sont pas pris en compte pour l'attribution de l'appréciation générale de qualité par stations (champs *WORSTCASE*) qui se base sur les indices découlant des champs percentiles 90. De même, tous les champs sur les nombres d'échantillons réalisés par année sont supprimés. Pour les métaux, seuls ceux auxquels un indice de qualité a été attribué sont présents, toutes les autres concentrations sont supprimées.

Pour la couche des stations de mesures *HYB_STATIONS_MESURES*, certaines caractéristiques de la station sont supprimées ainsi que les *CODE_DC* et *ANNEE_DC* des paramètres de qualité autres que celui traité dans le script.

3.1.4. Création de la couche de qualité des stations pour la dernière période de mesures

Le schéma du flux de traitement est le même pour générer les couches de qualité de la dernière période de campagnes de mesures des éléments majeurs et des métaux, seuls les noms des champs et des couches sont modifiés. La figure 6 présente ce géotraitement pour les éléments majeurs. Dans la suite de ce travail, afin d'éviter la répétition sur le nom des couches produites, l'utilisation du # est à remplacer par *metaux* ou *majeurs* selon le script/indicateur.

Comme expliqué préalablement, le monitoring des rivières n'est pas réalisé sur tout le territoire genevois tous les ans. Ainsi afin d'apprécier la qualité des cours d'eau actuellement et d'avoir une couverture d'échantillons complète, il est nécessaire d'avoir les données de l'année *n* (correspondant aux dernières mesures) à l'année *n-5* ce qui permet d'avoir les données pour un cycle de monitoring de 6 ans. Pour les éléments majeurs, les dernières mesures datent de 2019, et pour les métaux de 2018.

La première étape est de joindre la table des mesures à la classes d'entités des stations, afin d'obtenir une couche associant les dernières mesures réalisées par station. La jointure utilise le champ *CODE_DC_PHYCHI* pour les majeurs et le *CODE_DC_METAUX* pour les métaux à joindre au *CODE_ANNEE* de la table des mesures. Il est à noter qu'il est important de vérifier que le *CODE_DC_PHYCHI* soit à jour, ce n'était pas le cas pour 9 stations.

Ensuite, la couche créée `#DC_join` doit être nettoyée des stations qui ont des mesures inférieures à l'années n-5. Le but est de garder uniquement les stations actives durant la dernière période de monitoring et qui sont de type monitoring ou observatoire. La fonction `arcpy.SelectLayerByAttribute_management` permet d'écrire une clause en langage SQL.

Troisièmement, un bassin versant est associé à chaque station de mesure en utilisant la fonction `arcpy.Intersect_analysis` entre les stations (`#DC_JoinClean`) et les bassins versants (`BVClean`). Il est apparu visuellement que trois stations étaient exclues de l'intersect car elles se situent en dehors des périmètres de la couche des bassins versants. Afin de remédier à cela, ces stations sont sélectionnées à l'aide d'une clause dans la fonction `arcpy.SelectLayerByAttribute_management`, une nouvelle couche est produite (`#DC_stationsOut`), et elle est ensuite combinée à la couche d'intersection (`#DC_intersect`). Puis à l'aide d'un `UpdateCursor`, le champ `BV_PRINCIPAL` est mis à jour dans la couche `#DC_Merge` en attribuant, pour les 3 stations, le bassin versant correspondant (figure 5). Lorsque la couche des stations comportera un champ renseignant le bassin versant d'appartenance, cette étape pourra être supprimée.

```
# Intersecter la couche de mesures avec celle des bassins versants : affilier un bassin versant à chaque point de mesure
arcpy.Intersect_analysis(["MajeursDC_JoinClean", BVClean], "MajeursDC_Intersect", "ALL")

# Sélectionner les stations exclut par l'intersect
whereClause = "CODEMESURE = 'R1K153P0' or CODEMESURE = 'R3K96P0' or CODEMESURE = 'R2K27000P0' "
Selection = arcpy.SelectLayerByAttribute_management("MajeursDC_JoinClean", "NEW_SELECTION", whereClause)
outFeatureClass = "MajeursDC_StationsOut"
outLocation = ScratchDPSIR_gdb
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion(Selection, outLocation, outFeatureClass)

# Combiner les 2 couches
arcpy.Merge_management(["MajeursDC_Intersect", "MajeursDC_StationsOut"], "MajeursDC_Merge")

# Attribution d'un bassin versant aux trois stations exclut de l'intersect
fc = "MajeursDC_Merge"
with arcpy.da.UpdateCursor(fc, ['CODEMESURE', 'BV_PRINCIPAL']) as cursor:
    for row in cursor:
        if row[0] == 'R1K153P0':
            row[1] = 'Rhône-Léman rive droite'
        elif row[0] == 'R3K96P0':
            row[1] = 'Arve'
        elif row[0] == 'R2K27000P0':
            row[1] = 'Rhône'
        cursor.updateRow(row)
```

Figure 5. Extrait du script python MajeursDC : intersection des stations de mesures avec les bassins versants, et utilisation du `UpdateCursor` pour l'attribution manuelle de bassins versants aux stations exclues.

Quatrièmement, des champs sont ajoutés `i_NUM` avec `i` le nom de l'élément ou du worstcase (fonction `arcpy.AddFields_management`) pour permettre d'améliorer la visualisation des diagrammes à secteurs dans l'application Operation Dashboard. Pour chaque indice de qualité, un numéro de 1 à 5 est attribué en utilisant un bloc de code dans la fonction `arcpy.CalculateFields_management`. Puis, pour chaque station, dans des nouveaux champs `i_OBJ`, le chiffre de 1 est attribué si la station à un indice de bon ou de très bon vis-à-vis de l'appréciation générale et des différents éléments.

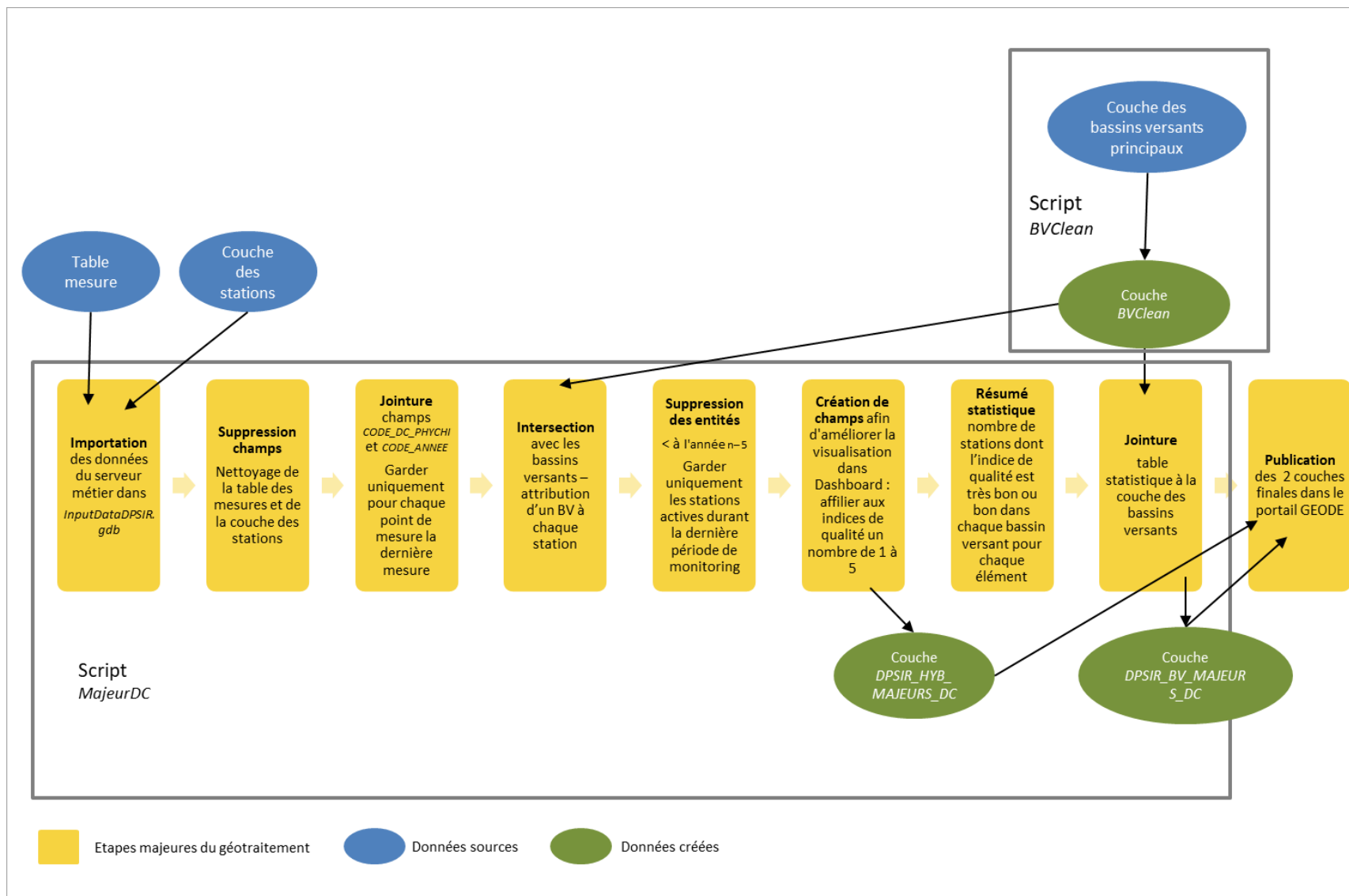


Figure 6. Processus de géotraitement pour la création des couches des stations de mesures et des bassins versants pour la dernière période de monitoring pour les éléments majeurs.

3.1.5. Généralisation de la qualité par bassin versant pour la dernière campagne

L'idée est de créer des statistiques par bassin versant permettant d'avoir le nombre et le pourcentage de stations atteignant l'objectif de qualité, c'est-à-dire un indice de qualité très bon ou bon vis-à-vis de l'appréciation générale ainsi que pour les différents éléments. Cette étape est réalisée dans les mêmes scripts *MajeursDC* et *MetauxDC* (figure 6).

La fonction *arcpy.Statistics_analysis* permet de créer une table statistique (*#DC_ObjBV*) faisant la somme des 1 pour les champs *i_OBJ* par bassin versant. Cela permet de calculer le nombre de stations dont l'objectif est atteint par bassin versant. Cette table statistique est par la suite jointe à la couche des bassins versants au préalable nettoyée, permettant d'obtenir la couche *BV_#DC*. Cette dernière, ainsi que la couche *#DC_Merge*, sont exportées dans la géodatabase *FinalDataDPSIR_gdb* sous des noms plus parlants, *DPSIR_BV_#_DC* pour la couche des bassins versant et *DPSIR_HYB_#_DC* pour la couche des stations.

3.1.6. Création d'une couche de qualité toute mesure

Cette étape est traitée dans les scripts *MajeursTM* et *MetauxTM* (figure 7). La réflexion générale reste la même que pour la création de la couche des stations de la dernière campagne.

Dans cette partie la jointure se fait à l'inverse que dans les scripts *MajeursDC* et *MetauxDC*. C'est la couche des stations qui est jointe à la table des mesures en utilisant les champs *CODEMESURE*. Ainsi pour chaque ligne de mesure sont associées les caractéristiques des stations et les coordonnées x et y. Ces deux derniers champs sont nécessaires pour spatialiser la table (*#TM_table*) en utilisant la fonction *arcpy.MakeXYEventLayer_management*.

Ensuite, c'est le même processus que pour le script *#DC* qui est réalisé, c'est-à-dire l'intersection avec les bassins versants, l'ajout des stations exclues et leur attribution d'un bassin versant à l'aide d'un code dans la couche *#TM_Merge*. Puis, des champs sont rajoutés pour améliorer la visualisation, et les atteintes d'objectifs décrits dans la partie 3.1.4.

La couche d'entités résultante permet d'avoir la couche finale *DPSIR_HYB_#_TM* qui rassemble toutes les mesures avec un bassin versant associé, ainsi que l'atteinte des objectifs.

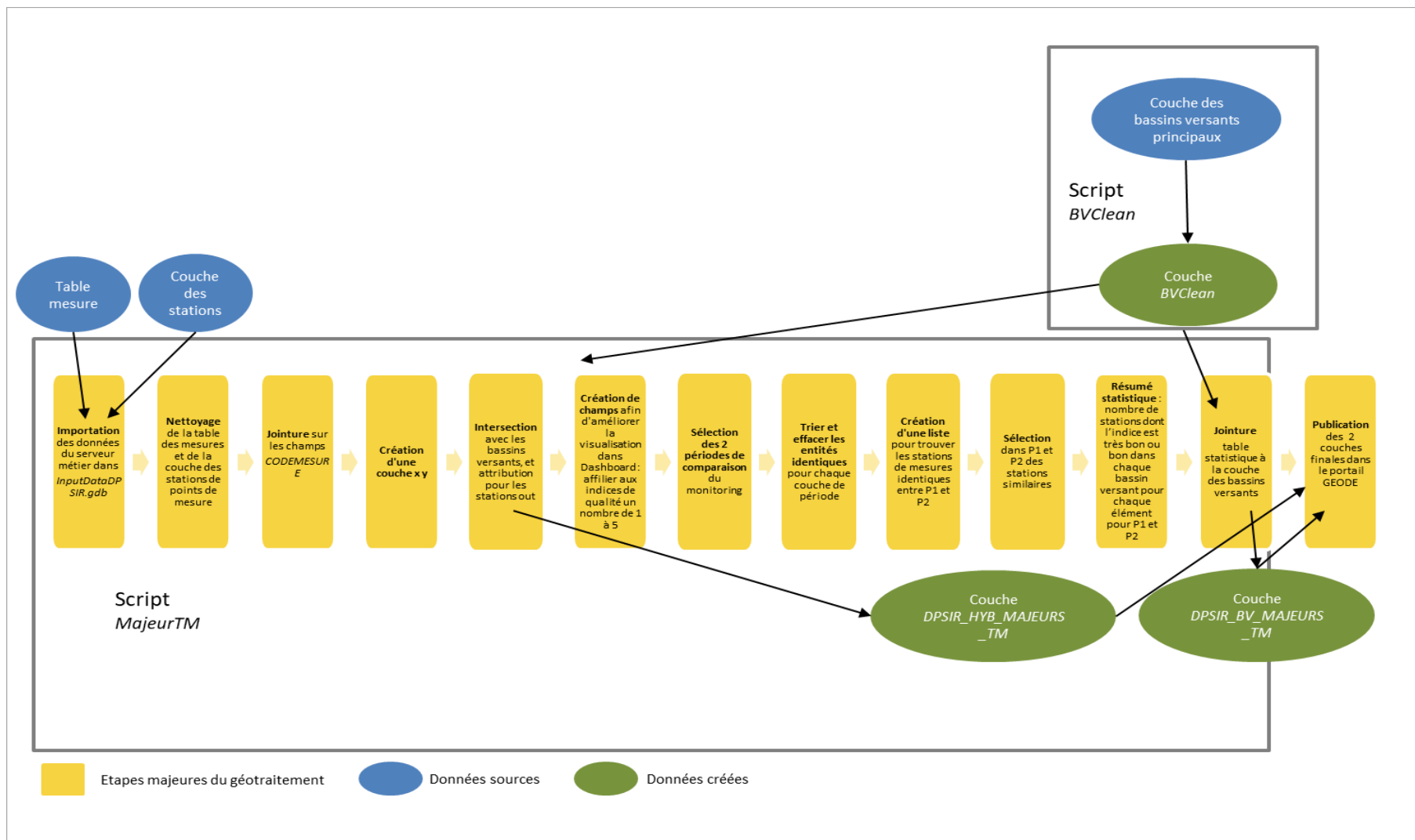


Figure 7. Processus de géotraitement pour la création de la couche toutes mesures, et de la couche pour l'évolution de qualité entre 2 périodes de mesures pour les éléments majeurs.

3.1.7. Comparaison de la qualité entre deux périodes de mesures : quantification de l'évolution de la qualité

Dans cette seconde partie des scripts *MajeursTM* et *MetauxTM*, l'idée est d'extraire à partir de la couche recensant toute mesure (*#TM_Merge*), deux périodes de mesures. Soit la période P1 (n ; n-5) la plus récente ou n est l'année des dernières mesures disponibles, et la période P2 (n-6 ; n-11). Cette étape utilise la fonction *arcpy.SelectLayerByAttribute_management*, avec une clause différente pour les deux périodes.

Ensuite, les deux couches sont triées d'après le *CODEMESURE* et l'*ANNEE* à l'aide de la fonction *arcpy.Sort_management*, puis les doublons sont supprimés avec la fonction *arcpy.DeleteIdentical_management* (figure 8). Cela permet de garder uniquement la mesure la plus récente par station, si cette dernière a plusieurs mesures durant la période. Il est à noter qu'il est nécessaire de disposer d'une licence advanced pour utiliser ces deux fonctions.

Puis une liste est créée, elle va être remplie lorsque le code mesure de P1 est aussi présent dans P2. Cette recherche utilise un *SearchCursor* sur les deux couches de période. Cette liste va par la suite servir dans une clause pour sélectionner uniquement les stations similaires entre P1 et P2

```
# Trier les deux couches P1 et P2 par ordre croissant le code de mesure et décroissant l'année et supprimer les doublons :
# permet de garder pour chaque code de mesure la valeur de l'année la plus récente
# evite d'avoir plusieurs ligne de mesure pour une même station
sort_fields = [{"CODEMESURE", "ASCENDING"}, {"ANNEE", "DESCENDING"}]
arcpy.Sort_management("MajeursTM_P1", "MajeursTM_P1Sort", sort_fields)
arcpy.DeleteIdentical_management("MajeursTM_P1Sort", [{"CODEMESURE"}])
arcpy.Sort_management("MajeursTM_P2", "MajeursTM_P2Sort", sort_fields)
arcpy.DeleteIdentical_management("MajeursTM_P2Sort", [{"CODEMESURE"}])

# Création d'une liste contenant les codes de mesures des stations présentes dans la période 1 et 2
codeList = []
with arcpy.da.SearchCursor("MajeursTM_P1Sort", "CODEMESURE") as cursor:
    for rowP1 in cursor:
        with arcpy.da.SearchCursor("MajeursTM_P2Sort", "CODEMESURE") as cursor:
            for rowP2 in cursor:
                if rowP1 == rowP2 and rowP1[0] not in codeList :
                    codeList.append(rowP1[0])
# afficher le nombre de stations communes entre les 2 périodes
nbcodeListe = len(codeList)
arcpy.AddMessage("Nombre de stations communes entre P1 et P2 : " + str(nbcodeListe))

# sélectionner dans la classe d'entités de la période 1 les stations dont le code de mesure est inclut dans la liste des code
# garder uniquement dans les couche P1 et P2 les stations similaires
# création d'une clause parcourant toute la liste contenant les codes de mesures
whereClause = "CODEMESURE IN ("
for code in codeList:
    whereClause = whereClause + ""'+ str(code) +',"
whereClause = whereClause[:-1] + ")"

#sélection dans la couche P1 les stations similaires avec p2, et enregistrement dans une nouvelle couche
MajeursTM_joinSelect = arcpy.SelectLayerByAttribute_management("MajeursTM_P1Sort", "NEW_SELECTION", whereClause)
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion(MajeursTM_joinSelect, ScratchDPSIR_gdb, "MajeursTM_P1Clean")
#sélection dans la couche P2 les stations similaires avec p1, et enregistrement dans une nouvelle couche
MajeursTM_joinSelect = arcpy.SelectLayerByAttribute_management("MajeursTM_P2Sort", "NEW_SELECTION", whereClause)
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion(MajeursTM_joinSelect, ScratchDPSIR_gdb, "MajeursTM_P2Clean")
```

Figure 8. Extrait du script *MajeursDC* : tri et suppression des entités de même code mesure et création d'une liste comprenant les codes mesure des stations similaires entre les deux périodes de monitoring

La figure 9 cartographie la perte de stations liées au nettoyage afin d'avoir des stations similaires entre les deux périodes. Pour les majeurs, la période P1 perd 16 stations et la période P2, 1 station. Pour P1, cette perte représente 12% des stations et pour P2 0,8%. Afin de garder une homogénéité dans la comparaison, cette perte apparait acceptable. Pour les métaux, 80 stations sont similaires entre P1 et P2, c'est une perte de 29 stations pour P1, et

de 6 stations pour P2. Cette perte est relativement importante, et équivaut à 26% des stations pour P1 et à 7,5% pour P2.

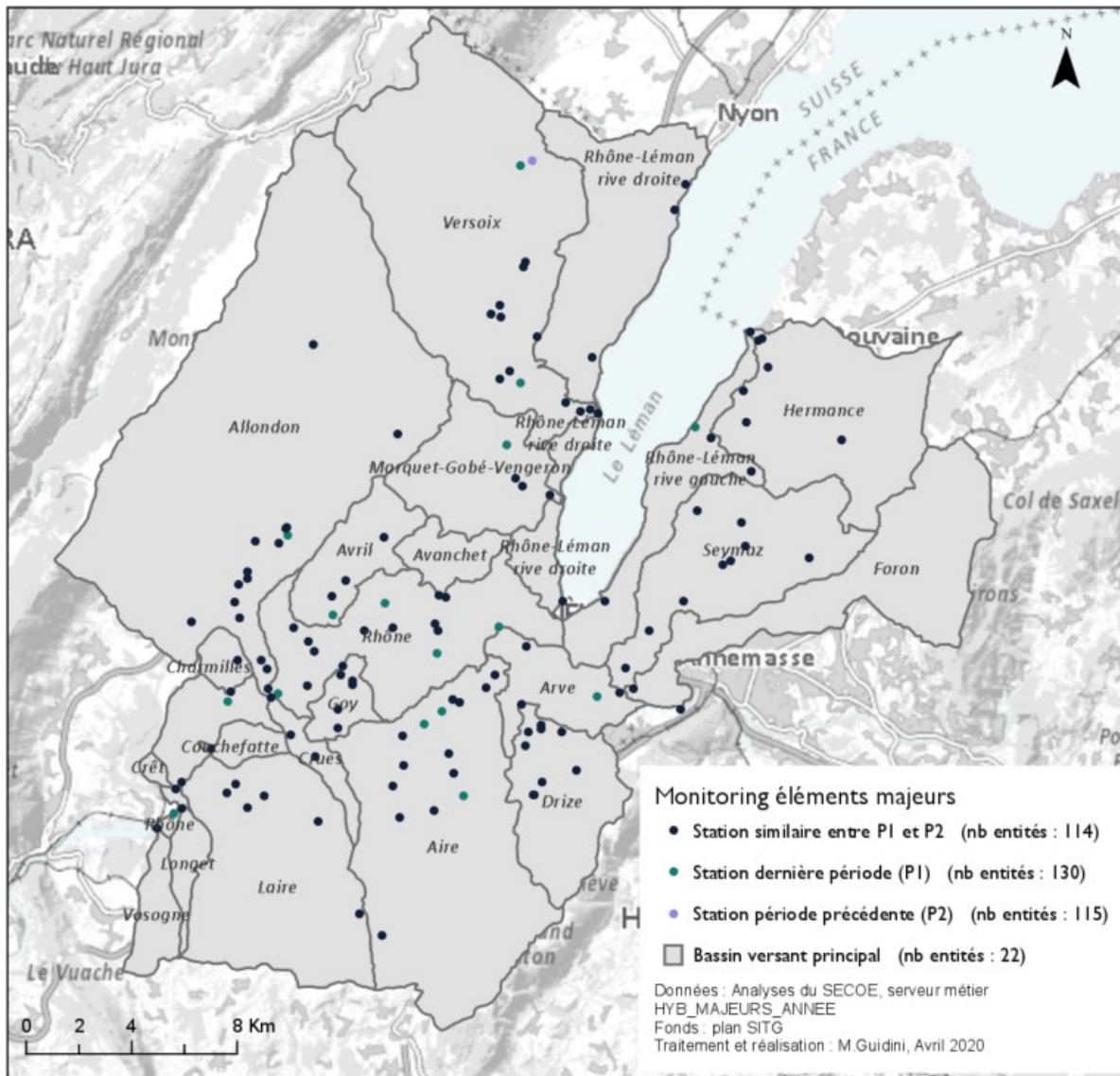


Figure 9. Visualisation de la perte de stations entre les deux périodes de mesures pour les éléments majeurs.

Pour finir, l'idée est de faire des statistiques comme précédemment (partie 3.1.5) par bassin versant pour les deux périodes de mesure, puis de joindre ces deux tables afin d'obtenir une table répertoriant le nombre de stations atteignant les objectifs pour les champs appréciation générale et les éléments en P1 et en P2 (#TM_P1P2_ObjBV). Enfin cette table est jointe à la couche des bassins versants, et permet d'obtenir la couche finale DPSIR_BV_#_EVOLUTION.

3.1.8. Résumé des couches publiables

Quatre couches finales par indicateur vont être publiées sur le portail GEODE (tableau 2 et annexe 3). Les couches *DPSIR_HYB_MAJEURS_DC* et *DPSIR_HYB_METAUX_DC* correspondent aux mesures de la dernière période de campagnes de monitoring.

Les couches *DPSIR_BV_MAJEURS_DC* et *DPSIR_BV_METAUX_DC* correspondent aux périmètres des bassins versants principaux complété par les champs de proportion d'atteinte d'objectifs par rapport à l'appréciation générale et les différents paramètres pris en compte respectivement les éléments majeurs et les métaux. Pour les couches *DPSIR_BV_MAJEURS_EVOLUTION* et *DPSIR_BV _METAUX_EVOLUTION*, c'est le même périmètre avec les mêmes statistiques pour les deux dernières périodes de campagnes de mesures, en comparant les mêmes stations entre P1 et P2.

Les couches *DPSIR_HYB_MAJEURS_TM* et *DPSIR_HYB_METAUX_TM* recensent les mesures des stations depuis 1969 pour les majeurs et 1995 pour les métaux.

3.2. Publication des données

3.2.1. Publication des classes d'entités depuis ArcGis Pro sur le portail GEODE

Avant toute publication, il est nécessaire d'être connecté au portail cartographique dans ArcGIS Pro. Les classes d'entités sont publiées sur le portail GEODE grâce à l'outil *Partager en tant que couche web*. Il est nécessaire de copier les entités sous forme de couche d'entités, il y a la création d'un service d'entité accompagnant cet élément dans le portail. Le service et la couche d'entités (feature layer) sont hébergés pour l'instant dans mon espace personnel GUIDINIM.

Il est possible de renseigner les détails de l'élément, ce qui constitue les premières métadonnées telles que le résumé et les balises.

Par la suite, les couches d'entités peuvent être renommées dans le portail pour permettre une meilleure compréhension avec un nom un peu plus parlant, le service de définition gardera le même nom synthétique utilisé lors de la publication. Le détail des couches avec leur nom plus explicite dans le portail est disponible dans le tableau 2 pour les nutriments et dans l'annexe 3 pour les métaux.

Les couches doivent être partagées avec le ou les groupes d'utilisateurs qui pourront avoir accès aux données (groupe RM-EAU, portail Etat, public) afin qu'elles puissent être visibles et/ou utilisées par d'autres utilisateurs.

Lors de la mise à jour annuelle de la couche, les scripts devront être relancés, et les couches d'entités créées remplaceront ces couches web en utilisant l'outil *remplacer la couche web* dans ArcGIS Pro. Il sera nécessaire de modifier le résumé et la description de la couche par la nouvelle dernière année de campagne de mesures.

3.2.2. Images

Préalablement, deux images ont été créées afin de récapituler les limites de classes permettant d'apprécier la qualité d'une station et de définir si l'objectif de qualité est atteint.

Le tableau récapitulatif pour les éléments majeurs (figure 10) se base sur le système modulaire gradué (SMG) de l'Office Fédérale de l'Environnement (OFEV) du module analyse physico-chimique (OFEV, 2010). Le SECOE utilise à Genève cinq éléments afin de définir une classe de qualité pour une station en appliquant le principe de l'élément déclassant.

Le tableau récapitulatif pour les métaux (figure annexe 2) est basé sur les limites de classes utilisées pour le SECOE concernant six métaux, et l'appréciation générale se base aussi sur le principe de l'élément déclassant. La définition de seuils d'objectifs de qualité se base sur les concentrations énoncées dans l'annexe 2 de l'Ordonnance sur la protection des eaux⁶

Ces deux images sont publiées et partagées publiquement, elles disposent d'une URL et pourront ainsi être par la suite utilisées dans les tableaux de bord.

Objectif de qualité	Appréciation	Concentration des éléments (mg/L)				
		COD	Ammonium	Nitrite	Nitrate	Orthophosphate
Atteint	Très bonne	jusqu'à < 2,0	jusqu'à < 0,08	jusqu'à < 0,05	jusqu'à < 1,5	jusqu'à < 0,02
	Bonne	2,0 à < 4,0	0,08 à < 0,4	0,05 à < 0,10	1,5 à < 5,6	0,02 à < 0,04
Non atteint	Moyenne	4,0 à < 6,0	0,4 à < 0,6	0,10 à < 0,15	5,6 à < 8,4	0,04 à < 0,06
	Médiocre	6,0 à < 8,0	0,6 à < 0,8	0,15 à < 0,20	8,4 à < 11,2	0,06 à < 0,08
	Mauvaise	8,0 et plus	0,8 et plus	0,2 et plus	11,2 et plus	0,08 et plus

N.B : limites de classes utilisés par le SECOE d'après le système modulaire gradué module analyse physico-chimique de l'OFEV pour l'application des exigences de l'Ordonnance sur la protection des eaux (annexe 2)

Figure 10. Limites de classes permettant d'apprécier la qualité des cours d'eau vis-à-vis des nutriments et des matières organiques utilisées par le SECOE.

Il est à noter, que certains des bassins versants genevois sont transfrontaliers avec la France. Les limites de classes sont celles énoncées par la Suisse et ne sont pas similaires à celles utilisées dans le système et d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau) en France. Ainsi la quantification du nombre de stations atteignant l'objectif de qualité, ou le simple fait de voir une station en rouge pour un même élément, ne sont pas comparables entre la France et la Suisse. A titre d'exemple, pour les orthophosphates, la concentration limite entre la classe de qualité bonne et moyenne est de 0,5 mg/L d'après le SEQ-Eau⁷ et de 0,04mg/L d'après le SECOE. Ainsi la limite de concentration d'une qualité acceptable pour les orthophosphates est 12,5 fois supérieure en France par rapport à la Suisse.

⁶ Confédération suisse. *Ordonnance sur la protection des eaux de 1998* (Etat le 1^{er} avril 2020). Consulté en mai 2020 sur <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19983281/index.html>

⁷ Wikipedia SEQ-Eau. Consulté en avril 2020 sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/SEQ-Eau>

3.3. Création de cartes web

Dans le portail GEODE, l'application Map viewer (visionneuse de carte) permet la création de cartes web. Les différentes couches sont ajoutées et organisées, les apparences sont modifiées, l'objectif est de présenter l'information géographique de manière structurée, lisible et sans surcharge d'information.

3.3.1. Couches utilisées

La carte web a pour objet de représenter la qualité des stations de mesures de la dernière période de monitoring et la généralisation de l'atteinte de la qualité générale par bassin versant. Deux cartes sont créées, une pour les métaux et une autre pour les nutriments, et ce à partir des couches créées et publiées sur le portail.

Le tableau 2 résume les sources des couches utilisées pour la création de la carte des nutriments. Pour les métaux ce tableau est disponible dans l'annexe 3. A partir d'une même couche web (feature layer), il est possible de représenter un autre champ en la copiant dans la carte web. Ceci permet d'avoir une couche représentant l'appréciation générale de qualité et d'autres couches propres à chaque élément composant cette appréciation. De même, les noms des couches sont modifiés en fonction de ce qui est représenté.

De plus, pour contextualiser ces données, deux couches open data qui ne sont pas hébergées sur le portail GEODE mais sur le AGOL (ArcGIS Online) du SITG sont ajoutées : un fond de carte et le tracé hydrologique agrégé.

Tableau 2. Organisation des couches dans le portail GEODE pour l'indicateur nutriments dans les cours d'eau - construction de la carte web de la qualité des cours d'eau vis-à-vis des nutriments lors de la dernière campagne de mesures.

Hébergement	Nom du service définition	Nom de la feature layer	Filtre dans la couche web	Symbologie (attribut ; style)	Carte web nutriments : nom des couches
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_HYB_MAJEURS_DC	DPSIR - QUALITE DES EAUX : ELEMENTS MAJEURS DERNIERE CAMPAGNE		Appréciation générale symboles uniques	Appréciation générale qualité nutriments
				Indice 90 COD symboles uniques	Carbone organique dissous
				Indice 90 N-NH4 indexé symboles uniques	Ammonium
				Indice 90 N-NO2 symboles uniques	Nitrite
				Indice 90 N-NO3 symboles uniques	Nitrate
				Indice 90 P-PO4 symboles uniques	Orthophosphate
			Type de station est 'Observatoire'	emplacement (un seul symbole)	Station observatoire
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_BV_MAJEURS_DC	DPSIR - QUALITE EAU ELEMENTS MAJEURS BASSINS VERSANTS DC		Part des stations de qualité satisfaisante totaux et montants (couleur)	Bassin versant principal : qualité nutriments
SITG	LCE_GRAPHE_EAU_AGGREGE	GRAPHE DE L'EAU - AGGREGE	OBJECTID n'est pas 266, 280, 79, 66, 337	emplacement (un seul symbole)	Cours d'eau
SITG	PLAN_SITG_GRISSSTXT	PLAN_SITG_GRISSSTXT			Plan SITG gris
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_HYB_MAJEURS_TM	DPSIR - QUALITE DES EAUX : ELEMENTS MAJEURS TOUTES MESURES			
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_BV_MAJEURS_EVOLUTION	DPSIR - QUALITE EAU ELEMENTS MAJEURS BASSINS VERSANTS EVOLUTION			

3.3.2. Symbologie et superposition des couches

La représentation de l'information doit respecter les règles de représentations cartographiques, le choix du bon mode de représentation prend en compte le type de données, dans quel support et pour quel public la carte finale sera diffusée (Aschan-Leygonie et al., 2019).

Pour les différentes couches de qualité par station, les couleurs utilisées pour les cinq classes de qualité reprennent les normes utilisées dans diverses publications de l'OCEau et sur le SITG, c'est-à-dire bleu, vert, jaune, orange, rouge. Une couche supplémentaire représentant uniquement les stations observatoires a été ajoutée afin de les mettre en valeur (figure 11).

La couche des bassins versants représente le pourcentage de stations par bassin qui atteint l'objectif de qualité générale. Cette variable est représentée en variant la couleur selon un dégradé de violet dans lequel le pourcentage le plus élevé sera le violet plus foncé. Cette couleur a été choisie afin de contraster avec les cinq couleurs des catégories. La méthode de discrétisation choisie est celles des intervalles égaux, elle permet ainsi de comparer les deux couches produites dans chacune des cartes pour les nutriments et les métaux. De plus, une étiquette est rajoutée sur le nom des bassins versants afin qu'il soit visible.

Le fond de carte est nécessaire pour un repérage dans l'espace, le choix de celui en noir et blanc a été fait pour ne pas surcharger visuellement la carte avec d'autres couleurs. L'utilisateur peut par ailleurs choisir un autre fond de carte dans le tableau de bord.

Il est possible de jouer sur la transparence des couches, pour les cours d'eau cela permet de diminuer leur visibilité tout en gardant cette information qui est nécessaire. De même pour la couche des bassins versants, la transparence permet de visualiser le fond de carte.

Les couches sont ordonnées afin d'organiser l'information. De plus, les couches de qualité propres à chaque élément ne sont pas sélectionnées sur la carte web, ceci permet par la suite dans l'application Operations Dashboard de ne pas afficher la légende redondante des classes de qualité, et ce sera à l'utilisateur de choisir d'afficher ou non, l'une après l'autre, ces couches qui se superposent.

Il est intéressant d'enregistrer les couches des bassins versants et des stations afin de garder la symbologie, l'idée est de pouvoir réutiliser ces couches dans d'autres applications sans devoir refaire le style.

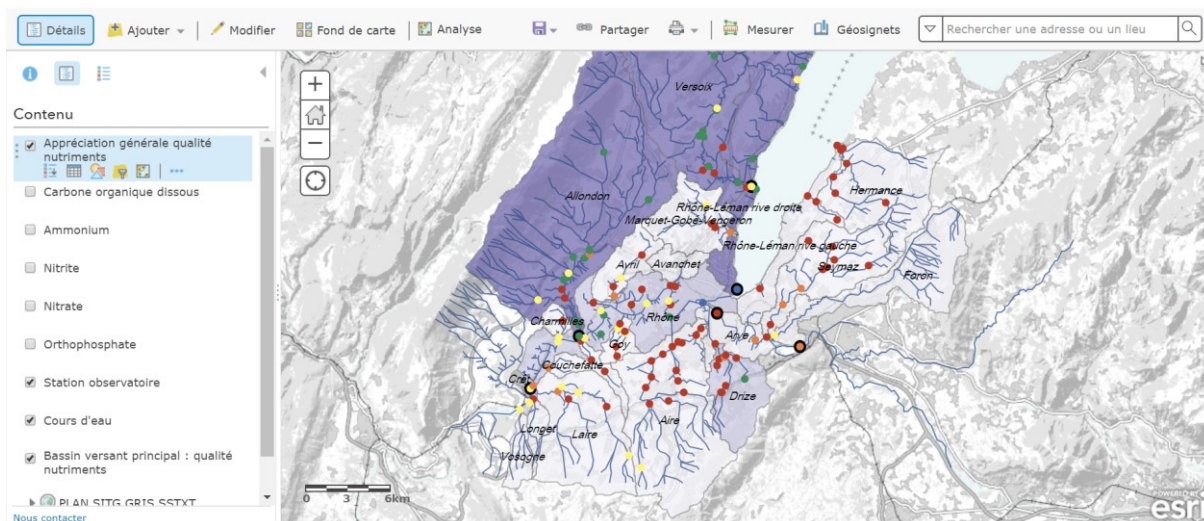


Figure 11. Extrait de la visionneuse de carte : création de la carte web des nutriments dans les cours d'eau pour la dernière période de monitoring.

3.3.3. Configuration de la fenêtre contextuelle

La fenêtre contextuelle s'affiche lorsque l'utilisateur clique sur une entité d'une couche. Une bonne configuration de cette fenêtre permet de garder les informations importantes et complémentaires les plus lisibles possibles pour la compréhension des données. Il est possible de choisir le titre de la fenêtre, par exemple pour la couche des points de mesures, c'est le nom de la station. De même, la disposition, le nom et l'affichage des champs sont modifiables. Par exemple, il a été choisi ne pas afficher les champs qui sont uniquement utiles pour la configuration des éléments dans le tableau de bord.

3.3.4. Enregistrement et partage de la carte web

Le partage de la carte web dans une application permet de compléter ces données cartographiques par d'autres types d'éléments et de permettre à d'autres utilisateurs d'explorer les données.

3.4. Construction de tableaux de bord : application Operations Dashboard

La première application utilisée est Operations Dashboard, elle est configurable et ne nécessite aucun code. Cette application permet de créer des tableaux de bord incluant sur une même page différents types d'éléments graphiques, cartographiques et textuels afin de synthétiser l'information et d'avoir une image représentative des données. Cet outil de visualisation interactif permet de communiquer sur ces données de façon efficace, claire et précise.

Le fonctionnement détaillé de l'application est décrit dans le site web dédié, qui a été une source précieuse dans la construction du Dashboard⁸.

3.4.1. Design d'un tableau de bord

Lors de l'élaboration d'un tableau de bord, il est important de garder à l'esprit certains principes de design applicables à la visualisation des données⁹. L'idée générale est de construire les éléments les plus clairs possible et de les assembler de façon harmonieuse et cohérente. Le tableau de bord doit présenter un équilibre entre les différents éléments, ces derniers doivent être variés afin d'apporter différents types d'informations tout en gardant une certaine unité. Cette dernière passe par la répétition du choix de couleurs afin de connecter les informations. Ce choix se base sur les couleurs de la carte web, les mêmes couleurs de catégories de qualité sont utilisées, et le violet a été choisi pour visualiser lorsque l'objectif est atteint, en contraste avec le gris lorsqu'il n'est pas atteint. Afin de ne pas surcharger le visuel avec d'autres couleurs, les arrière-plans des éléments et les couleurs des polices restent sobres.

3.4.2. Description des éléments

Un tableau de bord est constitué de différents éléments permettant d'apporter des informations complémentaires à la carte précédemment créée. Elle se situe au centre, l'équilibre général du dashboard est de type radial, les différents éléments sont disposés autour afin d'attirer le regard sur l'objet cartographique. La figure 12 présente la disposition générale des différents éléments utilisés, les informations présentées et les sources des données. Seuls les éléments utilisés sont présentés, mais l'application propose aussi des listes, des sélecteurs de chiffres et un volet latéral.

⁸ ArcGIS. *Dashboards*. Consulté de janvier à juin 2020 sur <https://doc.arcgis.com/fr/dashboards/>

⁹ *iDashboards*. *What are the 9 Principles of Design?* Consulté en mars 2020 sur <https://www.idashboards.com/blog/2017/07/26/data-visualization-and-the-9-fundamental-design-principles/>

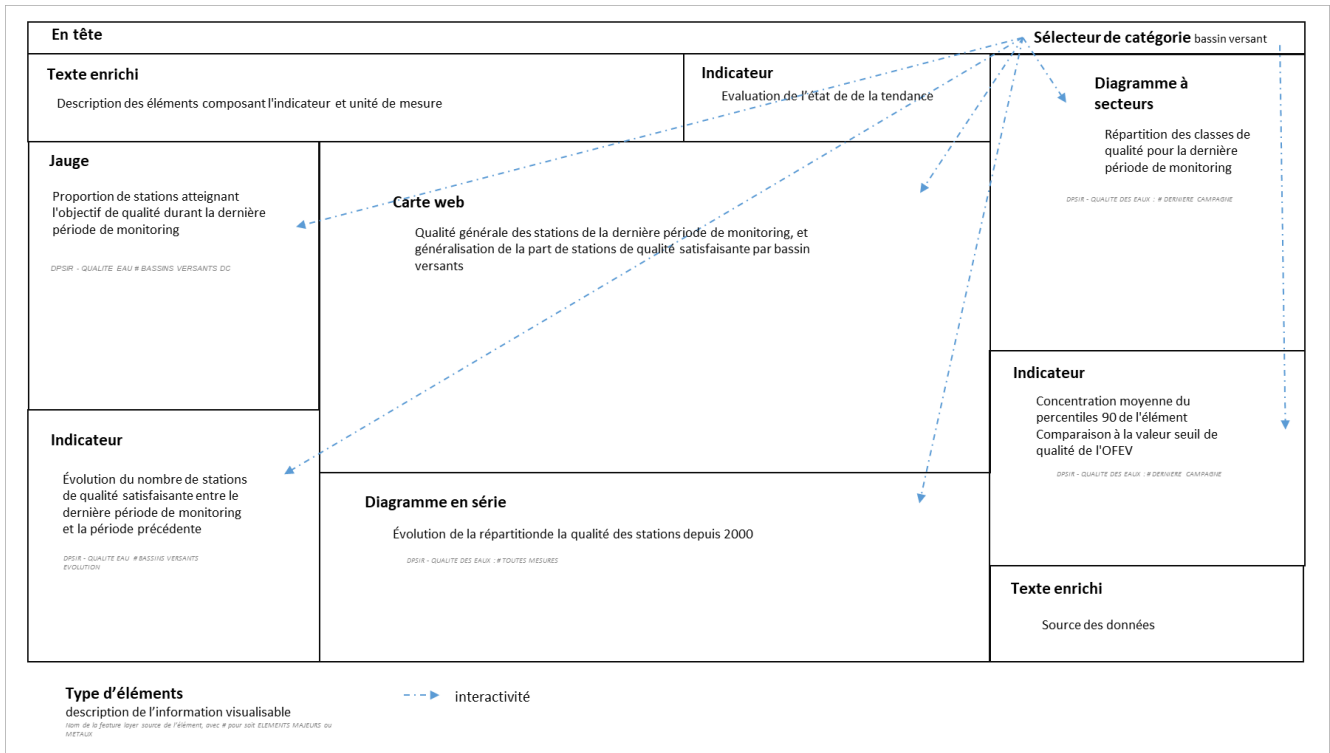


Figure 12. Disposition générale des différents éléments constitutifs d'un tableau de bord pour la création d'une visualisation des indicateurs nutriments et métaux dans les cours d'eau.

a. En-tête et sélecteur

L'en-tête se situe en haut du tableau de bord. Le nom de l'indicateur et une icône personnalisée par une URL du logo du canton de Genève. De même, le sélecteur de catégorie des bassins versants est ajouté, il permet de choisir un, plusieurs, ou tous les bassins versants à l'aide d'un menu déroulant. Les catégories d'origine proviennent de la couche de qualité par bassin versant, et sont de type *fonctionnalités sélectionnées*.

b. Carte web

L'élément cartographique utilise la carte créée dans l'application Map Viewer présentée dans la partie 3.3. La configuration de cet élément inclut une petite description des éléments principaux de la carte, et tous les outils cartographiques sont activés, tels que l'affichage de la légende, le choix de visibilité des couches, la possibilité de changer le fond de carte et le zoom avant/arrière. De même, l'activation des fenêtres contextuelles est importante afin de permettre à l'utilisateur d'avoir accès aux informations propres à chaque entité de la carte.

c. *Diagramme à secteurs*

Cet élément permet de représenter la quantité de stations dans chaque catégorie du champ *Appréciation générale* (anciennement le *WORSTCASE*), et des différents paramètres de l'indicateur pris en compte dans l'appréciation générale. C'est pour ce diagramme qu'il a été rajouté dans le script des champs attribuant des nombres de 1 à 5 aux indices de qualité (*worst numéro*, et *i numéro* avec *i* est le nom du paramètre choisi) afin de permettre de trier dans un ordre croissant les catégories et donc rester dans la logique d'affichage de très bon à mauvais. Sans cette astuce, il n'est pas possible de choisir l'ordre des catégories manuellement.

De plus, il est préférable de choisir un style en "donuts" que "pie slices" en augmentant le rayon intérieur¹⁰. En effet, il est plus complexe pour l'œil humain de comparer des angles, c'est pourquoi le fait de courber les angles permet une meilleure perception des proportions.

Les couleurs des catégories reprennent la palette du bleu au rouge définie dans la carte web. Les catégories sont labélisées, et donc aucune légende n'est nécessaire. Il est à noter que dans la version utilisée, le modèle de pourcentage n'est pas modifiable.

d. *Diagramme de série*

Le diagramme de série permet de représenter une série fractionnée par un champ. Le fait de fractionner les années par le champ du total de l'appréciation générale et trier par l'année permet de représenter l'évolution du nombre de stations par année et la quantité de stations pour chacune des classes de façon empilée. La source de la donnée est la couche des stations toute mesure, et elle est filtrée pour ne représenter que les stations depuis 2000 pour les stations monitoring et observatoire. Afin d'essayer d'afficher les catégories dans l'ordre, que ce soit dans la légende ou dans l'empilement des classes, le champ de fractionnement est *worst numéro*. Le choix des couleurs de catégories reprend le même code couleur du bleu au rouge.

e. *Indicateur*

Cet élément permet de quantifier un phénomène rapidement de façon simple et facilement interprétable, il utilise une valeur calculée dépendante d'une donnée source. Une valeur de référence peut être renseignée soit manuellement, soit par l'utilisation d'une statistique d'un autre champ. Il existe des calculs prédéfinis tels que l'évolution en pourcentage entre la valeur et la référence. C'est ce qui est utilisé afin de représenter l'évolution du nombre de stations de qualité satisfaisante entre deux périodes de mesures.

¹⁰ Nyenhuis D. (16 janvier 2019) *Pie Charts : Dos and Don'ts*. Consulté en mars 2020 sur <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/mapping/pie-charts-dos-and-donts/>

Afin de présenter une information quantitative complémentaire aux indices de qualité, les concentrations moyennes des paramètres constitutifs des indicateurs sur les nutriments et les métaux sont visualisables. L'utilisation du seuil de référence défini dans le SMG de l'OFEV et dans l'OEaux permet de voir si cette concentration moyenne est considérée comme de qualité atteinte ou non.

La mise en forme conditionnelle permet de créer deux styles, soit un lorsque la valeur est au niveau de la référence ou au-dessus, et un autre lorsque la valeur est au-dessous de la référence. Cette possibilité permet de différencier l'icône lorsque l'évolution est positive ou négative. De même, cela permet de choisir des couleurs différentes pour voir si la concentration moyenne d'un élément est au-dessous ou au-dessus des seuils définis par l'OEaux. Le code couleur est celui du violet/gris.

L'icône peut être personnalisée en utilisant le code d'un fichier SVG (Scalable Vector Graphic), ainsi que le choix du modèle de pourcentage.

f. Jauge

Cet élément permet de présenter l'état actuel de l'indicateur (nutriment ou métaux dans les cours d'eau), c'est l'unité de mesure afin de définir le pourcentage de stations dont la qualité est considérée comme satisfaisante vis à vis de l'appréciation générale ou des différents paramètres. Le code couleur utilisé est violet/gris.

3.4.3. Interactivité et actions entre éléments

De manière générale, l'interaction se définit comme un dialogue entre un utilisateur humain et le système de visualisation au-dessus d'un objet d'intérêt central : la donnée (Dimara, 2020)

Dans l'application Operations Dashboard, l'interactivité inclut un événement qui va engendrer une ou des actions depuis un élément source vers un ou des éléments cibles¹¹.

Dans la version utilisée du portail, seul le sélecteur peut être source d'actions sur les autres éléments : carte, indicateur, jauge, diagramme de série, digramme à secteurs. Il existe trois types d'actions : filtrer, cliquer, zoomer.

L'ajout des actions se fait depuis le sélecteur de catégorie. Les différentes couches de qualité, le bassin versant et les cours d'eau vont être filtrées spatialement sur la carte lorsque l'utilisateur choisit un ou des bassins versants, de même ils vont cliquer afin d'attirer l'œil de l'utilisateur. Pour les actions de filtre sur les diagrammes, jauges et indicateurs ; le filtre se

¹¹ GIS Operations Dashboards : Designing & Building, Strategies & Tips . Mark Scott NYS GeoCon 24/09/2019. Disponible sur : <https://www.nysgis.net/Docs/NYGeoCon2019/Ops-Dashboard-Design-Strategies-and-Tips-NYSGIS-Sept-24-2019.pdf>

fait sur le champ source et cible *bassin versant principal*. Il est important pour les jauges et les indicateurs d'évolution de qualité de choisir de filtrer la valeur et la référence.

3.4.4. Métadonnées du tableau de bord

Comme tout élément du contenu du portail GEODE, une description peut être rajoutée. C'est ici que pour l'instant figure le contenu de l'indicateur brièvement (figure 13).

DPSIR - Qualité des eaux : nutriments Modifier

Vue d'ensemble Paramètres

Modifier la miniature

Tableau de bord pour l'indicateur nutriments dans les cours d'eau (Projet GE-EN-VIE, DPSIR Modifier eau)

par GUIDINIM

Dernière modification: 15 juin 2020

Supprimer des favoris Dashboard

Afficher le tableau de bord

Modifier le tableau de bord

Partager

Métadonnées

Description Modifier

Nom de l'indicateur : *Nutriments dans les cours d'eau*

Description : Indicateur composite prenant en compte les classes de qualité de 5 paramètres : carbone organique dissous (COD), ammonium (NH4), nitrite (NO2), nitrate (NO3) et orthophosphate (PO4). L'évaluation de la classe générale de qualité se fait selon la méthode de l'élément déclassant.

Unité : *Proportion des stations suivies par le SECOE sur le territoire genevois dont la qualité générale en nutriments est classée bonne ou très bonne, selon les critères d'évaluation du SMG de l'OFEV*

Échelle : bassin versant genevois

Différents éléments composent le dashboard : carte pour la dernière période de mesures, jauge d'évaluation, indicateur d'évolution entre les deux dernières périodes de mesures, diagramme en série d'évolution de la qualité depuis 2000, diagramme en secteurs de la répartition des classes de qualité, concentration moyenne pour les 5 éléments.

Contraintes d'accès et d'utilisation Modifier

Ajoutez des restrictions spéciales, des clauses d'exclusion de responsabilité, des termes et conditions, ou des limitations quant à l'utilisation du contenu de l'élément.

Détails

★★★★★ (0) vues : 145

Création : 23 avril 2020

Taille : 88 KB

Partagé avec: **L'élément n'est pas partagé.**

Propriétaire

GUIDINIM

Dossier

GUIDINIM Déplacer

Balises Modifier

DPSIR, ELEMENTS MAJEURS, HYDROBIOLOGIE, NUTRIMENTS

Crédits (Attribution) Modifier

[Indiquer la source de cet élément.](#)

Figure 13. Extrait de la page du contenu Dashboard : nutriments dans les cours d'eau.

3.5. Raconter une histoire cartographique : Classic Story Maps

La seconde application utilisée comme outil de communication sur les données est Classic Story Maps. Elle permet de mettre en forme un récit autour de l'information géographique, il existe plusieurs modèles d'applications de Story Maps utilisables pour différents buts. Afin de réaliser une narration efficace, cinq principes de construction doivent être gardés à l'esprit¹² : communiquer avec son public, attirer les gens avec des concepts clés, choisir la meilleure expérience utilisateur, créer des cartes faciles à lire et mettre l'accent sur la simplicité.

¹² ESRI. *Les cinq principes d'une narration efficace*. Consulté en avril 2020 sur <https://storymaps-classic.arcgis.com/fr/five-principles/>

Le modèle de l'application choisi est Story Map SeriesSM, elle permet de présenter une série d'informations ou le lecteur navigue via des onglets¹³. Différents éléments peuvent être inclus, tels que des cartes web, du contenu textuel dans un volet latéral, des images et des vidéos. L'ajout des tableaux de bord et autres applications produites dans le portail est possible en utilisant leur lien URL de partage de l'élément.

Le récit a pour objectif de présenter les tableaux de bord produits concernant les deux indicateurs de la qualité des cours d'eau. Le but de faire comprendre à un public non spécialiste la notion de qualité des cours d'eau, comment est-elle définie et à quelle échelle spatiale.

4. Résultats

Trois principaux outils de visualisation interactifs des données préalablement traitées à l'aide des scripts python ont été produits. Soit, deux tableaux de bord reprenant les mêmes principes de construction pour deux indicateurs de qualité des cours d'eau : les nutriments et les métaux (tableau 3). Le troisième outil de visualisation est une Story Map qui permet de contextualiser et de présenter les deux tableaux de bord produits. L'idée est de faire comprendre simplement ce qu'on entend par la qualité des cours d'eau, et la notion de bassin versant. Le territoire du bassin versant est l'unité géographique utilisée dans le tableau de bord, il est important de familiariser l'utilisateur avec cet espace pour qu'il comprenne l'échelle des données de qualité présentées.

Tableau 3. Présentation des indicateurs créés : unité, échelles spatiales, évolution temporelle et catégorie DPSIR.

Indicateurs nom	Unité de mesure	Echelle spatiale : Bassin versant	Evolution temporelle	Catégorie DPSIR
Nutriments dans les cours d'eau	Proportion de stations dont l'objectif de qualité est atteint, soit une classe de qualité bonne ou très bonne	Point de qualité pour la dernière période de campagnes	2 dernières périodes de monitoring (2019-2014) et (2013 – 2008)	Etat
Métaux dans les cours d'eau	Proportion de stations dont l'objectif de qualité est atteint, soit une classe de qualité bonne ou très bonne	Point de qualité pour la dernière période de campagnes	2 dernières périodes de monitoring (2018-2013) et (2012 – 2007)	Etat

¹³ ESRI. *Story Map Series*. Consulté en mars 2020 sur <https://storymaps-classic.arcgis.com/fr/app-list/map-series/>

4.1. Tableau de bord indicateur : nutriments dans les cours d'eau

4.1.1. Aspect général

Le premier tableau de bord produit est présenté dans la figure 14, il comporte les différents éléments précédemment décrits dans la partie méthodologique. Il a été construit sur un écran d'ordinateur de 23 pouces, ce qui a une grande incidence sur le résultat visuel final.

L'idée est de présenter la qualité générale des cours d'eau vis-à-vis des nutriments à travers la carte et les différents graphiques. L'empilement des éléments 4 et 7 (figure 14), et la possibilité de voir les couches de qualité pour les différents éléments (6) permettent d'approfondir et de comprendre pourquoi la qualité de l'eau vis-à-vis des nutriments est plutôt mauvaise à l'échelle de l'ensemble des bassins versants du canton. En général, c'est l'orthophosphate qui est le paramètre déclassant de la qualité des stations. De même pour l'élément 5, il est possible de voir l'évolution pour les différents paramètres. En général, la tendance est positive, mais il est à noter que le nombre stations de qualité satisfaisante vis-à-vis des nitrates est en diminution, même si sur l'ensemble des bassins versants la concentration moyenne est inférieure à la limite d'exigences de qualité de l'OFEV (onglet NO3 de l'élément 8).

L'image produite et publiée pour les limites de classes utilisées est disponible en cliquant sur *tableau récapitulatif* dans l'élément 7.

Deux diagrammes de série (élément 9) ont été créés afin de différencier les stations du monitoring et les stations observatoire. Le graphique pour les stations du monitoring n'est pas comparable d'une année à l'autre dû à la cyclicité du monitoring de 6 ans, de ce fait ce graphique n'est utile que lorsqu'un bassin versant est sélectionné.

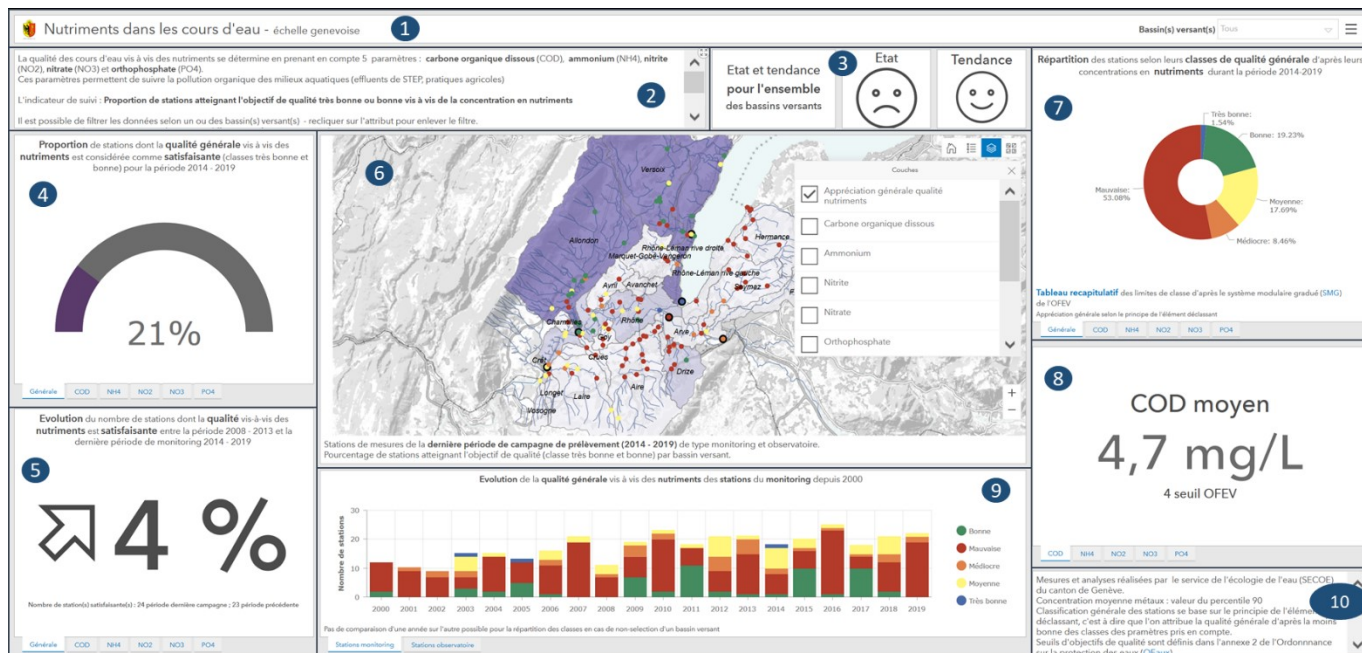


Figure 14. Résultat du tableau de bord pour l'indicateur des nutriments dans les cours d'eau. Disponible sur : <https://app2.g2.ch/tergeportal/apps/opsdashboard/index.html#/4f3938c4ec1946c6bf6af7ebd3965fe9>

4.1.2. Evaluation de l'état et de la tendance de l'indicateur

Les icônes pour d'état et de tendance sont un bidouillage de l'élément indicateur afin d'avoir deux informations principales en « un clin d'œil » (figure 14, élément 3). Ces icônes personnalisées, utilise le fichier SVG d'images gratuites téléchargées sur le site flaticon¹⁴.

La création des smileys (heureux, neutre et pas content) est une proposition qui se base la méthode d'évaluation de l'OFEV afin de qualifier l'état et la tendance des indicateurs de compte-rendu sur l'environnement en trois catégories (OFEV, 2018). L'évaluation de l'état de la qualité des cours d'eau se base sur les valeurs limites définies par l'Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) vis-à-vis des exigences de qualités. Il n'y a aucun objectif chiffré énoncé clairement vis-à-vis du pourcentage de stations devant atteindre une qualité satisfaisante vis-à-vis des nutriments, j'ai choisi un objectif de 75 % des stations pour qualifier l'état de bon, et inférieur à 40% pour qualifier de mauvais, mais c'est à discuter. Pour l'évaluation de la tendance, l'idée est de comparer l'évolution visée et l'évolution observée. En ce qui concerne l'évolution visée, je n'ai pas trouvé d'objectif chiffré et daté, il est cependant estimé que la proportion de stations qui atteignent les objectifs de qualités doit être en augmentation. L'évolution observée se base sur la comparaison des stations de qualité satisfaisante entre les deux dernières périodes de monitoring. La variation de qualité est exprimée en pourcentage de stations supplémentaires qui atteignent les objectifs de qualité durant la période la plus récente. D'après la variation, il est possible d'apprécier l'évolution de l'indicateur de qualité. Enfin pour apprécier la tendance il faut comparer l'évolution visée qui doit être positive et l'évolution observée qui pour l'ensemble des bassins

¹⁴ <https://www.flaticon.com/>

versants est de +4%, donc d'après le document ce pourcentage est au-dessus des 3% et est donc considéré comme une augmentation. Ainsi l'évolution observée et l'évolution visée vont dans la même direction, il est possible de dire que la tendance est positive.

Les objets smiley ne peuvent être modifiés selon le bassin versant, il n'est pas possible pour l'élément indicateur d'avoir comme source d'action un autre indicateur. De plus, la mise en forme conditionnelle d'un indicateur ne permet que deux possibilités. Ainsi ces éléments seront probablement enlevés du tableau de bord, et ils figureront sur la page internet de l'indicateur du site de l'observatoire GE-EN-VIE.

4.2. Tableau de bord indicateur : métaux dans les cours d'eau

4.2.1. Duplication et construction d'un nouveau tableau de bord

La construction de ce second tableau de bord reprend exactement la même disposition que celui des nutriments (figure 15). Il est possible de dupliquer le dashboard des nutriments en utilisant *enregistrer sous* qui permet de créer une copie de l'élément. Cette copie va être modifiée en utilisant comme donnée source des éléments, les couches web et la carte web des métaux créés au préalable. Cependant, cette reconfiguration des éléments du tableau de bord avec ces nouvelles données va faire perdre certaines parties de la configuration de l'élément. C'est par exemple le cas pour les diagrammes en anneau et en série. De même, lorsque la donnée source est modifiée, les étiquettes et les couleurs des catégories sont perdues. Finalement, le texte descriptif et des sources, les titres des graphiques, des jauges, et des indicateurs doivent être modifiés, ainsi que le lien vers le tableau récapitulatif des limites de classe pour les différentes concentrations en métaux. Pour les métaux, l'indicateur prend en compte 6 métaux, de ce fait un élément supplémentaire est empilé pour la jauge d'atteinte de qualité, l'indicateur d'évolution, le diagramme de répartition des classes et les valeurs moyennes des métaux.

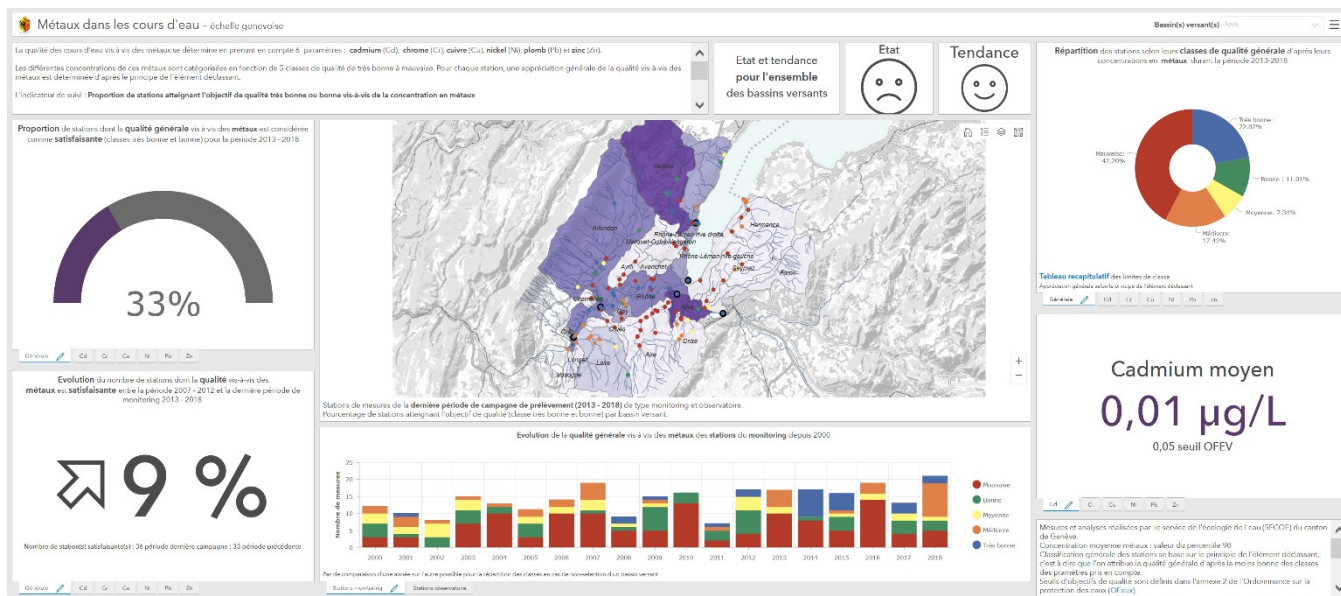


Figure 15. Résultat du tableau de bord pour l'indicateur des métaux dans les cours d'eau. Disponible sur : <https://app2.ge.ch/terqeoportale/apps/opsdashboard/index.html#/e27392d7b3324639bad63c1ca66ab31a>

4.2.2. Exemple d'interprétation générale

Ce tableau de bord permet de montrer qu'un tiers des stations atteignent l'objectif de qualité des cours d'eau pour les métaux à l'échelle genevoise, cette part est plus importante par rapport aux nutriments. Cet état général vis-à-vis des métaux est considéré comme mauvais, mais la tendance est positive. En effet, l'évolution des stations de bonne et très bonne qualité est en augmentation de 9 % lorsque l'on compare les mêmes stations entre deux périodes de monitoring, soit 3 de plus. En regardant, pour chaque métal, son diagramme de répartition des classes de qualité, sa jauge d'atteinte des objectifs de qualité, et sa couche dans la carte web, il est visible que généralement le cuivre est le métal posant problème : sa concentration moyenne sur l'ensemble des bassins versants étant deux fois supérieure à l'exigence de qualité énoncé dans l'OEau. La carte web permet de voir que le pourcentage de stations de qualité satisfaisante est supérieur à 50 % dans les bassins versants de l'Allondon, la Versoix, le Rhône et l'Arve. Et à contrario, dans les bassins versants de l'Aire, de la Drize, et de la Seymaz par exemple, ce pourcentage est égal à 0. Le sélecteur des bassins versants permet à l'utilisateur d'affiner ses analyses, car les différents éléments statistiques et cartographiques vont être modifiés, et cela va permettre de faire des descriptions pour un ou plusieurs bassin(s) versant(s).

4.3. Story Map : structuration pour la visualisation des Dashboards

La création d'une Story Map de type Series permet de présenter les deux tableaux de bord produits dans des onglets différents. L'idée de cette Story Map est de construire un récit afin de comprendre ce qu'est la qualité des cours d'eau, permettant ainsi de mieux décrypter les tableaux de bord spécifiques pour deux indicateurs de la composante physico-chimique de la qualité.

Le premier onglet présente et explique la notion de qualité des cours d'eau (figure 16). Le contenu textuel se situe à gauche de l'écran, des liens hypertexte ont été rajoutés vers les rapports de monitoring, et des brochures plus générales sur l'état des rivières et sur les micropolluants, produites par l'OCEau. L'image ajoutée est un prototype d'une infographie qui permettrait d'illustrer les différentes composantes pour l'évaluation de la qualité des rivières à Genève.

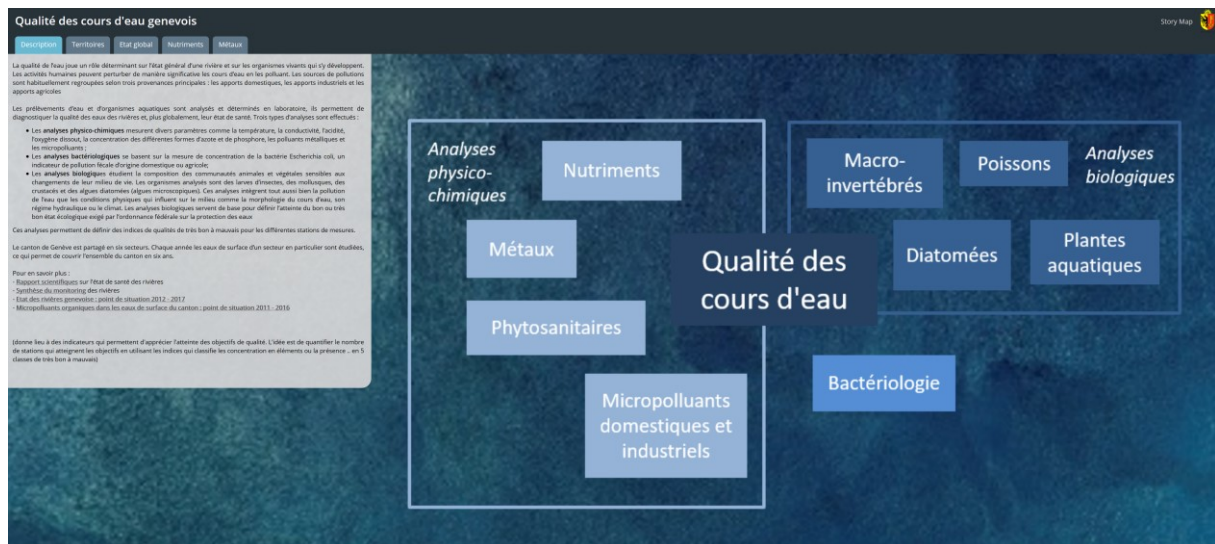


Figure 16. Onglet 1 de la Story Map : présentation de la qualité des cours d'eau. Disponible sur : <https://app2.ge.ch/tergeoportal/apps/MapSeries/index.html?appid=eb1fb1bb637749289fe10b8eac0c2528>

Le second onglet (figure 17) a pour objectif de présenter et de visualiser l'imbrication de deux espaces pertinents de la ressource en eau : l'espace naturel des eaux de surface (le bassin versant), et un espace de planification (les SPAGE). Les périmètres des SPAGE correspondent aux périmètres des secteurs de monitoring, qui comprennent plusieurs bassins versants. Le contenu sur la partie gauche comprend un texte et une vidéo expliquant la notion de bassin versant et de l'importance de la gestion de l'eau à cette échelle. Cette vidéo québécoise¹⁵ est un exemple, elle pourrait être adaptée pour Genève afin de présenter l'imbrication des bassins versants genevois dans celui du Léman, du Rhône et de la Méditerranée, ainsi que l'importance de la gestion de l'eau à travers des documents de planification au-delà des limites communales et cantonales. La partie droite est une application web présentant une

¹⁵ AGIRO (2014) *La gestion de l'eau par bassin versant*, disponible sur <https://youtu.be/iNNsJk0tMWA>

carte web composée de trois couches hébergées sur le AGOL du SITG : les SPAGE¹⁶, les bassins versants principaux¹⁷ et les cours d'eau agrégés¹⁸. Ainsi, si ces couches sont modifiées en amont, l'actualisation sera faite dans l'application. Cette application permet d'ajouter des fonctionnalités par rapport à l'élément carte web dans la Story Map. En effet, il est possible de choisir les couches visibles et de gérer leur opacité, de choisir un autre fond de carte, ou de rechercher un lieu. Les couches sont interrogeables : en cliquant sur une entité de la couche des SPAGE, il y a un lien disponible vers le document adopté par exemple. La compréhension et la recherche de bassin versant permettra par la suite à l'utilisateur de filtrer les données du Dashboard vis-à-vis d'un ou de plusieurs bassin(s) versant(s).

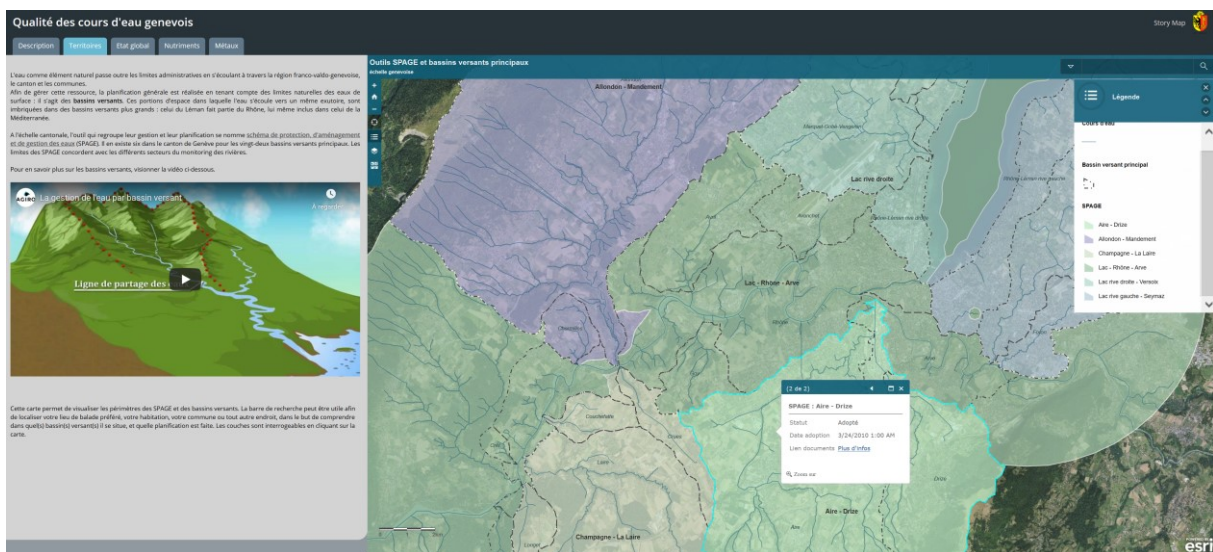


Figure 17. Onglet 2 de la Story Map : présentation des bassins versants et des SPAGE. Application de visualisation des limites naturelles des eaux de surface (les bassins versants) et des limites de planification (les SPAGE).

Le troisième onglet présente un tableau de bord récapitulatif des différentes composantes de la qualité des cours d'eau (figure 18). Trois éléments sont repris des tableaux de bord spécifiques à chaque indicateur : la jauge exprimant le pourcentage de stations de qualité satisfaisante, le diagramme à secteurs pour comprendre la répartition des classes de qualité, et l'indicateur sur l'évolution de la qualité entre les deux dernières périodes de monitoring. Même s'il n'existe pas encore de Dashboard pour les autres composantes, ils figurent sur cet onglet afin de donner une idée de ce à quoi pourrait ressembler une page synthétisant l'aspect global de la qualité des cours d'eau.

¹⁶ AGOL SITG. *LCE_DOCUMENTS_SPAGE*, disponible sur <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=4fed28af5a1440aca306b76673896540>

¹⁷ AGOL SITG. *LCE_BV_PRINCIPAUX*, disponible sur <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=f7c35ee8dc2c487d8d9cad89a59ee852>

¹⁸ AGOL SITG. *LCE_GRAPHIE_EAU_AGGREGEE*, disponible sur <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=e5d237ceb97d407082006d9b2fb48735>

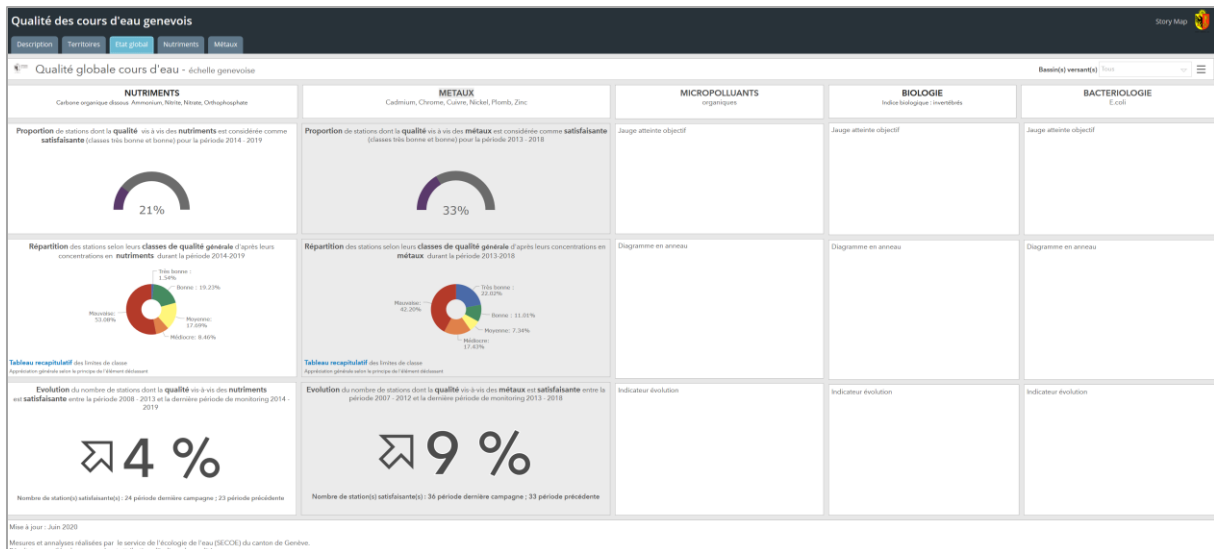


Figure 18. Onglet 3 de la Story Map : tableau de bord récapitulatif de la qualité des cours d'eau.

Enfin, les deux derniers onglets incluent les deux tableaux de bord créés pour les indicateurs sur les nutriments et les métaux.

5. Discussion

5.1. Critique des résultats

5.1.1. Scripts python

Les scripts créés ont utilisé les données disponibles en local en raison de la crise sanitaire. Par la suite, la boîte à outils comportant les scripts créés doit être mise dans le projet ArcGIS PRO présent dans l'emplacement réseau (S:) du dossier *DPSIR Eau*. Les chemins vers les données sources seront modifiés afin d'utiliser les couches et tables mises à jour de la base de données métier de l'OCEau, de même les paramètres du script seront définis.

Pour chaque indicateur, deux scripts ont été créés afin de différencier le traitement permettant d'avoir les données pour la dernière campagne de monitoring de 6 ans, et un autre traitement permettant d'avoir la couche toutes mesures ainsi que l'évolution de qualité par bassin versant entre deux périodes. Ce fonctionnement en deux scripts a permis de décomposer les résultats souhaitables sur le tableau de bord. Il pourrait être intéressant de regrouper les deux scripts en un pour chaque indicateur, ce qui permettrait en exécutant un seul script d'avoir toutes les couches nécessaires pour l'actualisation du tableau de bord.

5.1.2. Operations Dashboard

Les deux tableaux de bord produits permettent d'avoir une image synthétique de l'état et de la tendance des deux indicateurs sur la qualité des cours d'eau tout en permettant une compréhension des paramètres déclassant de la qualité générale pour chaque indicateur. L'application Operations Dashboard permet de créer relativement facilement des tableaux de bord sans programmation en utilisant des éléments préconfigurés et personnalisables. Cependant certaines limites sont à prendre en compte, à l'image du manque d'adaptabilité à la taille de l'écran ou encore le manque de configuration de certains éléments.

a. Utilisation sur des écrans de plus petite taille

La première grande limite de l'application Operations Dashboard est que son apparence dépend de la taille de l'écran sur laquelle il a été assemblé. Lorsque les tableaux de bord sont affichés sur un écran d'ordinateur portable de 14 pouces, les éléments perdent en lisibilité, les graphiques deviennent tout petits, tandis que les titres restent de la même taille par exemple. Le tableau de bord se positionne dans la hauteur et la largeur de la taille de l'écran, il n'y pas de défilement à la verticale possible. Ainsi lorsque l'on construit sur un grand écran, il est possible de mettre plus d'éléments pertinents, mais lorsque la visualisation est faite sur un plus petit écran la perte de lisibilité est très importante.

Cette application n'est pas responsive, il n'est pas possible de consulter confortablement ces tableaux de bord sur une tablette ou un téléphone, il est nécessaire de créer deux applications. Un exemple d'actualité est le tableau de bord sur le COVID-19 réalisé avec Operations Dashboard de l'Université John Hopkins¹⁹ qui a créé deux dashboards, une version pour l'ordinateur, et une autre qui permet une meilleur visualisation sur le téléphone ou les éléments sont empilés (figure 19)

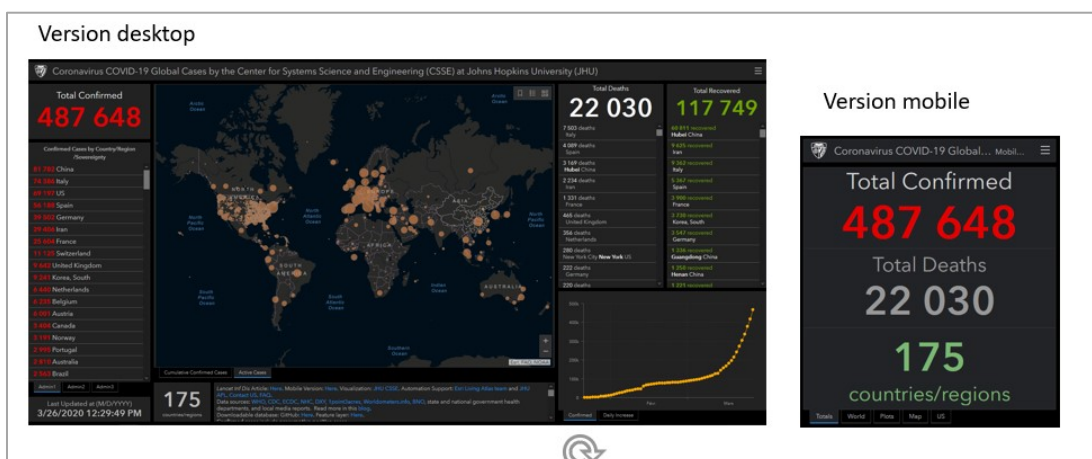


Figure 19. Extrait du COVID-19 Dashboard de l'Université Johns Hopkins : comparaison de la version desktop et mobile.

¹⁹ Center for Systems Science and Engineering (CSSE), (2020). COVID-19 Dashboard, Johns Hopkins University, consulté le 14 Avril 2020 sur <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

De ce fait il faut faire des choix, ce travail présente un tableau de bord visualisable sur un ordinateur de bureau qui a été réalisé afin de tenter d'avoir les informations les plus complètes pour apprécier l'état et la tendance des indicateurs. Il sera par ailleurs possible par la suite d'éliminer certains éléments pour une visualisation plus optimale sur des écrans de plus petite taille.

b. Limites de configuration des éléments

La configuration du diagramme de série ne permet pas d'afficher et d'empiler les données selon les catégories de qualité, même avec l'utilisation champs *worst numéro* attribuant un nombre de 1 à 5 aux catégories (figure 20). L'empilement dans le graphique et l'apparition des classes de qualité dans la légende se fait dans l'ordre décroissant du nombre de mesures dans chaque catégorie. Cette configuration illogique lorsque les catégories doivent respecter un ordre, pose des problèmes visuellement vis-à-vis d'une interprétation simple du graphique. Il pourrait être judicieux d'enlever ce graphique en attendant des améliorations pour la configuration de cet élément dans l'application.

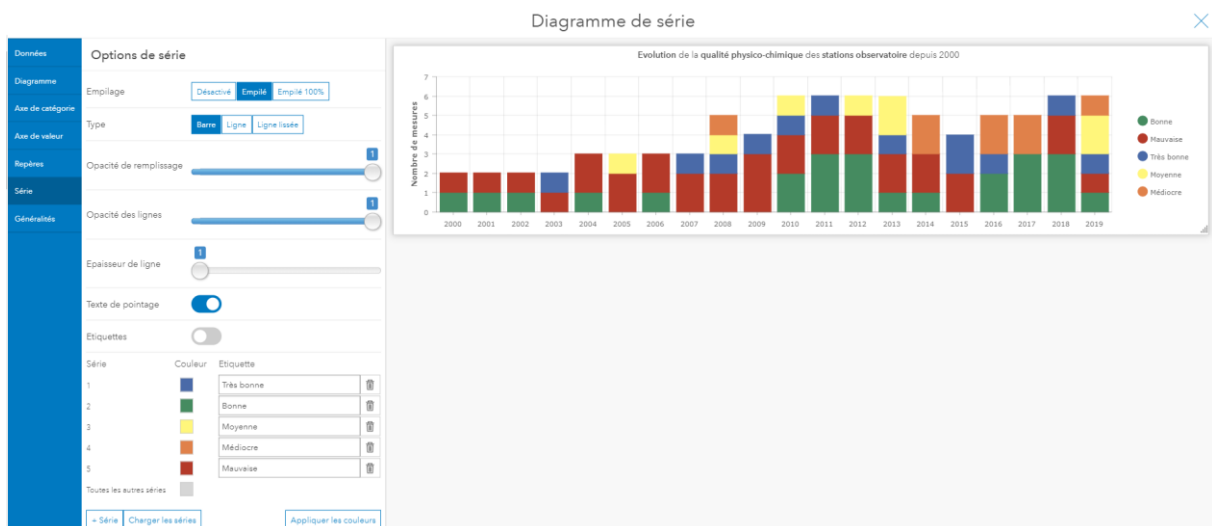


Figure 20. Illustration des limites de configuration du diagramme de série.

La mise en forme conditionnelle des éléments indicateurs n'est possible que pour deux conditions. Ainsi lorsque la valeur est égale à la référence (élément 5, figure 14) et donc qu'il n'y a ni augmentation ou diminution mais stagnation, c'est le signe d'augmentation qui apparaît. Il serait intéressant d'avoir la configuration pour une troisième condition permettant de choisir une autre icône. De plus, les indicateurs ne peuvent dépendre de la valeur d'autres indicateurs présents sur le dashboard, ce qui ne permet pas au smiley de changer lorsqu'un bassin versant est sélectionné.

D'autre exemple d'un manque de configuration, il n'est pas possible de configurer le format des pourcentages pour le diagramme à secteurs et sur la carte web la recherche d'adresse n'est pas encore disponible.

c. Ce qui pourra exister dans la nouvelle version

La version de l'application Operations Dashboard sur le portail GEODE n'est pas la plus récente en raison de la mise à jour sur un temps plus long du portail ArcGIS Enterprise comparé au AGOL du SITG et de l'UNIGE. Ainsi différentes fonctionnalités et personnalisation sont décrites sur le site internet de l'application mais ne sont pas encore disponibles.

Lors de la mise à jour, il sera possible de rajouter du contenu intégré tel que des documents, des images, des vidéos et d'autres applications directement dans le dashboard. De même l'interactivité sera améliorée, plus d'éléments pourront être sources d'action²⁰. Par exemple lorsqu'un utilisateur cliquera sur une catégorie d'un diagramme de série ou à secteurs, la carte sera filtrée et affichera uniquement les stations de cette classe de qualité.

De plus, l'élément carte pourra être mieux personnalisé, la recherche d'adresse pourra être activée, l'échelle cartographique affichée et les couleurs de l'action clignoter choisies.

d. Vers un tableau de bord simplifié

Le modèle de tableau de bord créé est le plus complet possible, pour fournir une compréhension générale de l'indicateur et comprendre quels paramètres font défaut pour atteindre une qualité satisfaisante pour chaque indicateur. Cependant, le choix de tous ces éléments peut être discutable pour un public novice. Je suis partie de l'idée qu'il vaut mieux être le plus complet possible, afin de permettre à des gens de creuser le sujet, plutôt que de rester trop en surface ce qui les laisserait en manque de compréhension vis-à-vis de la qualité de l'eau. Ce choix a été fait dans la mesure où il est plus facile de retirer des éléments que d'en rajouter.

De même, les titres des jauge, indicateurs d'évolution et des diagrammes en secteur sont peut-être trop techniques, et pas assez synthétiques. Par exemple, le fait de préciser la période du monitoring, pourrait être simplifié en « situation en 2019 ».

5.1.3. Story Map

La création d'une Story Map de format Series permet une visualisation structurée en onglets des deux tableaux de bord produits, complétée d'un tableau de bord récapitulatif de la qualité des cours d'eau, et d'une application de visualisation de carte pour comprendre la notion de bassin versant et de SPAGE.

Les fonctionnalités de l'élément carte web sont limitées dans l'application Story Map Series, il n'est pas possible de choisir l'affichage des couches. De ce fait, une application de visualisation de la carte a été créée afin d'avoir un peu plus de fonctionnalités, comme le choix et la gestion de l'opacité des couches. Cependant, cela ajoute de la complexité, et un

²⁰ ArcGIS. *ArcGIS Dashboards : Actions*. Consulté en avril 2020 sur <https://doc.arcgis.com/fr/dashboards/create-and-share/actions.htm>

utilisateur débutant avec les applications cartographiques pourrait ne pas utiliser ces fonctionnalités, voir se sentir dépassé.

Différents modèles de Story Map existent, notamment le type Cascade qui aurait pu être pertinent pour ce travail. Il permet de créer un récit avec une visualisation en défilement. Les contenus pouvant être rajoutés sont quasi similaires que pour le modèle Série. Le modèle Cascade permet de créer des récits un peu plus épurés visuellement et plus narratifs pour un public non spécialiste. Cependant la Story Map Cascade n'a pu être qu'explorée, mais pas utilisée correctement à cause d'un bug d'affichage ne permettant pas de faire défiler les éléments sur la partie gauche lors de la configuration, empêchant ainsi de réorganiser ou de supprimer des éléments.

De plus, les applications Story Map sont open source, elles peuvent être hébergées sur un autre serveur web afin d'avoir une URL personnalisée. Le code source peut être téléchargé, ce qui permet de faire des modifications de style plus poussées que dans l'application préconfigurée²¹.

5.2. Réflexions concernant le déroulement du stage

La première moitié du stage a eu lieu en présentiel, ce qui m'a permis de mieux saisir le fonctionnement de l'OCEau et les attentes institutionnelles, tout en ayant un accès privilégié aux données. Le lien avec les spécialistes occupant différents postes au sein de cette institution a été une importante source de connaissances.

La seconde moitié du stage s'est déroulée durant une période très particulière liée à la crise sanitaire du COVID-19. Durant cette période, l'apport humain d'un stage a donc été limité. Ayant habituellement besoin d'expliquer mon cheminement de vive voix à mon entourage, afin de me remettre en question et d'avancer, j'ai dû exceptionnellement faire face à ce travail seule. Sans ce regard extérieur, j'ai eu parfois le sentiment de faire du sur place et j'ai ressenti le fait de devoir collaborer par téléphone ou visioconférence comme un frein. L'adaptation m'a donc demandé un certain temps, d'autant plus que les technologies n'étaient pas toutes disponibles.

Sur le plan technique, j'ai eu l'occasion de découvrir et maîtriser ArcGIS pro, de perfectionner mon niveau débutant en python, de connaître le portail cartographique GEODE, ainsi que d'approfondir les applications Operations Dashboard et Story Maps.

Finalement, j'ai pris conscience du fait que le lien entre différents indicateurs se construit sur le long terme. Tout le travail de traitement et de visualisation est long à mettre en place avant d'avoir un résultat satisfaisant, que ce soit esthétiquement ou au niveau de la justesse des données. C'est pourquoi, j'ai diminué les attentes envers le travail que je devais réaliser afin

²¹ Owen Evans (24 mars 2017). *An introduction to hosting your own Story Map*. Consulté en mars 2020 sur <https://medium.com/story-maps-developers-corner/an-introduction-to-hosting-your-own-story-map-e2450181ad2f>

d'aboutir à un résultat complet sur deux indicateurs. Les autres données collectées durant ce stage seront présentées dans mon travail de mémoire de master.

6. Conclusion et perspectives

Ce travail a permis de construire deux indicateurs concernant la qualité des cours d'eau : les nutriments et les métaux. La mesure de ces composantes se base sur les objectifs de qualité définis dans l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux, permettant d'apprécier le pourcentage de stations dont la qualité est considérée comme satisfaisante.

Le traitement des données sources avec un script python permet la reproductibilité de la réflexion et une mise à jour annuelle facilitée des tableaux de bord. Ces derniers sont un bon outil de visualisation des indicateurs offrant une vue synthétique sur les données et une interactivité de l'utilisateur avec ces dernières, permettant l'interprétation spatiale et graphique. L'application Operations Dashboard malgré une mauvaise adaptation à la taille de l'écran de visualisation et des manques de configuration d'éléments, offre l'avantage d'être utilisable sans programmation et une personnalisation satisfaisante. De même, les applications explorées sont incluses dans la suite ArcGIS Enterprise de l'Etat de Genève, ne permettant aucune rupture entre le traitement avec ArcGIS pro et la visualisation sur le portail cartographique GEODE.

Les deux tableaux de bord produits sont un nouvel outil de communication sur l'état qualitatif de la ressource en eau à Genève pour l'OCEau. Ils sont complémentaires aux données disponibles sur le SITG qui nécessitent un certain traitement de l'utilisateur pour arriver à des interprétations, de même qu'aux rapports de monitoring très complets et détaillés, ainsi qu'aux publications de vulgarisation de l'information qui ne sont pas publiés chaque année. Cet outil peut être utile pour des personnes travaillant ou s'intéressant aux questions de qualité de l'eau. La Story Map créée permet de présenter les tableaux de bord avec une mise en contexte, mais elle doit être vue comme un produit intermédiaire de structuration d'idées devant être améliorée avec la collaboration de spécialistes du sujet.

Le choix a été fait de créer un tableau de bord reflétant le plus fidèlement possible les données. Une question peut se poser au sujet de la communication de ces résultats. En effet, les objectifs concernant la qualité générale des cours d'eau étant atteints pour seulement 1/3 des stations pour les métaux et 21% pour les nutriments, il est prudent de présenter ces informations avec tact afin d'éviter des interprétations hâtives. Une piste qui a été explorée dans ce travail est d'évaluer la tendance, qui est souvent positive, et d'avoir des informations détaillées sur chaque paramètre afin de comprendre le ou lesquels font défaut pour l'appréciation générale.

Ce travail ouvre différentes perspectives. Tout d'abord, il pourrait être reproductible pour d'autres composantes de la qualité des cours d'eau tels que les micropolluants organiques, l'IBCH ou la bactériologie. L'idée est de compléter les deux indicateurs produits dans ce travail par d'autres afin de pouvoir apprécier d'une façon plus globale la qualité des cours d'eau.

D'autre part, les tableaux de bord produits vont être disponibles pour le public sur le site web de l'observatoire GE-EN-VIE. Cela va donner probablement lieu à des modifications des tableaux de bord, afin de redistribuer l'information entre ces différents supports. Enfin la création de Story Map de type Cascade est souhaitable pour la construction d'un récit plus narratif et compréhensible pour un public non spécialiste.

Bibliographie

Azzam, T., Evergreen, S., Germuth, A. A., & Kistler, S. J. (2013). Data visualization and evaluation. In T. Azzam & S. Evergreen (Eds.), *Data visualization, part 1. New Directions for Evaluation*, 139, 7–32

ArcGIS Dashboards [consulté de janvier à juin 2020] <https://doc.arcgis.com/fr/dashboards/>

Aschan-Leygonie, C., Cunty, C., & Davoine, P-A. (2019). *Les systèmes d'information géographique : principes, concepts et méthodes*, Armand Colin.

Center for Systems Science and Engineering (CSSE), (2020). *COVID-19 Dashboard*, Johns Hopkins University, 2020 [consulté le 14 Avril 2020]. Disponible sur <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

Dimara, E., Perin, C., (2020). What is Interaction for Data Visualization?. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 26 (1), pp.119 - 129. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02197062/document>

GIS Operations Dashboards : Designing & Buildind, Strategies & Tips . Mark Scott NYS GeoCon 24/09/2019. Disponible sur : <https://www.nysgis.net/Docs/NYGeoCon2019/Ops-Dashboard-Design-Strategies-and-Tips-NYSGIS-Sept-24-2019.pdf>

ESRI, *Python in ArcGIS Pro* [consulté le 4 Mai 2020] Disponible sur : <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/arcpy/get-started/installing-python-for-arcgis-pro.htm>

Nyenhuis D. (2019) Pie Charts : Dos and Don'ts, publié le 16 janvier 2019, disponible sur <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/mapping/pie-charts-dos-and-donts/>

OCEau,(2018) Etat des rivières Genevoises : Point de situation 2012 – 2017, Direction générale de l'eau, disponible : <https://www.ge.ch/document/etat-rivieres-genevoises-point-situation-2012-2017>

OCEau (2019), Micropolluants organiques dans les eaux de surface du canton de Genève : point de situation 2011 – 2016, disponible <https://www.ge.ch/document/eau-publications-protection-eaux/telecharger>

OFEV (2010), Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : Nutriments. Disponible sur : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/publications/publications-eaux/analyses-physico-chimiques.html>

OFEV (2018), Méthode d'évaluation des indicateurs Disponible <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/etat/indicateurs.html>

Annexes

Annexe 1 : Scripts python

Les cinq scripts créés sont joints en annexe de ce document au format .py




- CleanBV
- Majeurs_DC
- Majeurs_TM
- Métaux_DC
- Métaux_TM

Annexe 2 : Image des limites de classes pour les métaux

Objectif de qualité	Appréciation	Concentration en métaux lourds (ug/L)					
		Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Atteint	Très bonne	jusqu'à < 0,025	jusqu'à < 1	jusqu'à < 1	jusqu'à < 2,5	jusqu'à < 0,5	jusqu'à < 2,5
	Bonne	0,025 à < 0,05	1 à < 2	1 à < 2	2,5 à < 5	0,5 à < 1	2,5 à < 5
Non atteint	Moyenne	0,05 à < 0,075	2 à < 3	2 à < 3	5 à < 7,5	1 à < 1,5	5 à < 7,5
	Médiocre	0,075 à < 0,1	3 à < 4	3 à < 4	7,5 à < 10	1,5 à < 2	7,5 à < 10
	Mauvaise	0,1 et plus	4 et plus	4 et plus	10 et plus	2 et plus	10 et plus

N.B : limites de classes utilisés par le SECOE et objectif de qualité d'après les exigences de l'Ordonnance sur la protection des eaux (annexe 2)

Annexe 3 : Organisation des couches dans le portail GEODE pour l'indicateur sur les métaux et la création carte web sur la qualité des cours d'eau durant la dernière campagne vis-à-vis des métaux

Hébergement	Nom du service définition 	Nom de la feature layer 	Filtre dans la couche web	Symbologie (attribut ; style)	Carte web métaux : nom des couches 
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_HYB_METEAUX_DC	DPSIR - QUALITE DES EAUX : METAUX DERNIERE CAMPAGNE		Appréciation générale symboles uniques	Appréciation générale qualité métaux
				Indice 90 Cd symboles uniques	Cadmium
				Indice 90 Cr symboles uniques	Chrome
				Indice 90 Cu symboles uniques	Cuivre
				Indice 90 Ni symboles uniques	Nickel
				Indice 90 Pb symboles uniques	Plomb
				Indice 90 Zn symboles uniques	Zinc
	Type de station est 'Observatoire'		emplacement (un seul symbole)	Station observatoire	
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_BV_METEAUX_DC	DPSIR - QUALITE EAU METAUX BASSINS VERSANTS DC		Part des stations de qualité satisfaisante totaux et montants (couleur)	Bassin versant principal : qualité nutriments
SITG	LCE_GRAPHE_EAU_AGGREGE	GRAPHE DE L'EAU - AGGREGE	OBJECTID n'est pas 266, 280, 79, 66, 337	emplacement (un seul symbole)	Cours d'eau
SITG	PLAN_SITG_GRIS_SSTXT	PLAN_SITG_GRIS_SSTXT			Plan SITG gris
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_HYB_METEAUX_TM	DPSIR - QUALITE DES EAUX : METAUX TOUTES MESURES			
portail Etat - GUIDINIM	DPSIR_BV_METEAUX_EVOLUTION	DPSIR - QUALITE EAU METAUX BASSINS VERSANTS EVOLUTION			