Section de Génie-Civil : Projet de Master 2022-2023

Développement d'une méthodologie d'application des RSI et RSA au thème des chantiers routiers

23 juin 2023

Étudiant **Bastien Mury**

Référent **Dr. Micaël Tille**

Professeur **Dr. Nikolaos Geroliminis** (LUTS)

Ce projet de master a été réalisé en collaboration et sous la supervision de :

INGENIEURS CONSEILS

Citec Ingénieurs Conseils SA
rue des Jardins 1
CH-1110 Morges

Tél +41 (0)21 802 38 50
Fax +41 (0)22 809 60 01
e-mail: citec@citec.ch
www.citec.ch

Contrôle qualité

Version	Auteur(s)	Vérificateur(s)	Date de validation
R.04009.1	Bastien Mury	Micaël Tille	23 juin 2023

Sommaire

1. Introduction 3
- 1.1. Motivation 3
- 1.2. Contexte 4
- 1.3. Démarche du projet 4
- 1.4. Concept de l'outil 6

2. Contenu de la pré-étude 7
- 2.1. Documentation et normes 7
- 2.2. Base de la méthodologie d'application 10

3. Contexte des études de cas 15
- 3.1. Chantier du tram de Lausanne 15
- 3.2. Chantier du Trabli 19
- 3.3. Chantier de la Route des Nations 22
- 3.4. Chantiers autoroutiers 24
- 3.5. Résumé des chantiers 26

4. Description de l'outil 27
- 4.1. Description générale 27
- 4.2. Processus d'amélioration de l'outil 29

5. Partie 1 de l'outil : analyse des chantiers 32
- 5.1. Outil RSA 32
- 5.2. Outil RSI 33
- 5.3. Autres outils 36
- 5.4. Résumé des documents 38

6. Partie 2 de l'outil : traitement des données 40
- 6.1. Résumé des documents 40
- 6.2. Activation des macros 40
- 6.3. Outil RSA 42
- 6.4. Outil Points critiques 48
- 6.5. Outil RSI 53
- 6.6. QGIS : Localisation des points 59
- 6.7. ArcGIS : Création d'une carte interactive 64

7. Explication des macros 75
- 7.1. Activation du mode Développeur 75
- 7.2. Outil RSA 76
- 7.3. Outil Points critiques 77
- 7.4. Outil RSI 78
- 7.5. Changements de coordonnées 80

8. Partie 3 de l'outil : système de notation 82
- 8.1. Critères de notation 82
- 8.2. Calcul des notes 84
- 8.3. Interprétation des notes 85

8.4. Utilisation de l'outil Excel 86
8.5. Fonctionnement du document et des macros 87

9. Étude de cas 1 : chantier du tram Lausanne Flon – Renens 88
9.1. Planification de l'étude de cas 88
9.2. Résultats des RSI et RSA 88
9.3. Évolution du chantier 104
9.4. Cartographie ArcGIS 105
9.5. Contribution de l'étude de cas 106

10. Étude de cas 2 : chantier du Trabli 107
10.1. Résultats de l'étude de cas 107
10.2. Contribution de l'étude de cas 109

11. Étude de cas 3 : chantier de la Route des Nations 110
11.1. Résultats de l'étude de cas 110
11.2. Contribution de l'étude de cas 111

12. Étude de cas 4 : chantiers autoroutiers 112
12.1. Études de cas réalisées 112
12.2. Contribution de l'étude de cas 112

13. Bilan 114
13.1. Études de cas 114
13.2. Outil 116

14. Conclusion 117

15. Bibliographie 118

Annexes 119
Annexe 1. Macros Word 120
Annexe 2. Macros Excel – Document RSI 151
Annexe 3. Macros Excel – Document RSA 160
Annexe 4. Macros Excel – Document Points critiques 164
Annexe 5. Macros PowerPoint 170

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

1. Introduction

1.1. Motivation

Dans les années 1970, un programme de construction des routes nationales a été mis en place. Des kilomètres d'autoroutes ont été créés afin de répondre aux besoins croissants en termes de mobilité. Cette période est décrite comme étant l'âge d'or de la construction des routes nationales. 50 ans plus tard, les infrastructures sont vieillissantes. Cette situation impose des travaux de maintenance et d'amélioration importants. Cette tendance est également présente sur les routes cantonales ainsi que sur l'ensemble du réseau routier Suisse. La conséquence de cela est la présence de nombreux chantiers sur tous les types de routes en Suisse.

Un chantier doit répondre à différents objectifs. Le but premier est de réaliser les travaux de maintenance de la route et pour cela, il faut permettre aux ouvriers de travailler dans les meilleures conditions possibles. Le deuxième but concerne la disponibilité du réseau pour les usagers. Les routes doivent rester praticables et permettre une circulation fluide en tout temps, y compris en cas de chantier. Enfin, il est crucial d'assurer la sécurité du trafic et des ouvriers lors de chantiers. Ces trois objectifs peuvent sembler contradictoires sur certains points, mais ils doivent être réalisés simultanément. Il est ainsi nécessaire de réaliser de la planification.

Entre mars 1999 et août 2001, trois accidents majeurs ont eu lieu sur des chantiers autoroutiers. Le tunnel du Mont-Blanc, le tunnel de Tauern et le tunnel du St-Gothard ont tous connus des catastrophes faisant respectivement 39, 12 et 11 victimes. 6 ans plus tard, un nouvel accident a eu lieu lors d'un chantier sur l'autoroute A2 à Emmen, causant la mort de 4 ouvriers. Cette accumulation de catastrophes a poussé la confédération à agir. Le 1er janvier 2008, une nouvelle péréquation financière (RPT) est entrée en vigueur. La gestion du réseau routier national relève désormais de la compétence exclusive de la Confédération et donc de l'OFROU. Une nouvelle norme traitant de la sécurité sur les chantiers autoroutiers a ensuite vu le jour en 2015 : la norme SN 40 885. Cette norme a pour philosophie principale la sécurité des employés d'entretien et l'adaptation des chantiers aux exigences de la circulation. Il est possible de retirer deux points de cette évolution. Premièrement, **la sécurité dans les chantiers routiers est un thème actuel** qui était devenu critique. Deuxièmement, les dernières évolutions des normes sont récentes et **des améliorations dans la mise en pratique sont, sans aucun doute, nécessaires.**

Un exemple illustrant ce deuxième point est l'ASTRA bridge. En avril 2022, un pont mobile de 240 mètres a été mis en place sur l'autoroute A1. Il devait permettre à la circulation de passer par-dessus des chantiers, permettant ainsi le maintien de la fluidité du trafic tout en assurant la sécurité routière. Malheureusement, les essais réalisés en amont sur ce pont n'étaient pas suffisants. En effet, certains camions ne pouvaient pas utiliser ce pont à cause de la pente de ce dernier. L'ASTRA Bridge subit actuellement des modifications, mais si ces dernières ne sont pas plus concluantes, les pertes pourraient s'élever à plus de 20 millions de francs. Cette situation aurait pu être évitée avec une meilleure anticipation et une meilleure prise en considération de l'ensemble des facteurs déterminants. Un audit aurait permis de relever le dysfonctionnement du système et d'éviter des pertes de temps et de potentiellement beaucoup d'argent.

L'objectif principal de ce projet consiste donc à améliorer la gestion de la sécurité dans les chantiers routiers en créant un outil spécifiquement conçu pour faciliter cette tâche. Cet outil sera développé en prenant en compte la complexité et l'unicité des chantiers routiers.

1.2. Contexte

Selon l'article 6a de la loi fédérale sur la circulation routière (LCR), les propriétaires d'une route (Confédération, cantons, communes) ont la responsabilité des impératifs de la sécurité routière. Afin de faciliter la mise en application de cet article, des outils ont été créés : les instruments de sécurité de l'infrastructure (ISSI). Ils sont au nombre de 6 et peuvent avoir deux approches différentes : proactives (agir avant la survenance d'un accident) ou réactives (réaction à la suite d'un accident). Les six outils sont listés ci-dessous :

- RIA : Road Safety Impact Assessment (proactif)
- RSA : Road Safety Audit (proactif)
- RSI : Road Safety Audit (proactif)
- BSM : Black Spot Management (réactif)
- NSM : Nework Safety Management (réactif)
- EUM : Einzelunfallstellen-Management (réactif)

Deux de ces outils sont particulièrement intéressants dans le cadre de ce projet : le RSA et le RSI. L'objectif d'un RSA est d'identifier des déficits de sécurité présents dans les projets d'infrastructures routières. Il doit prendre en compte les intérêts de l'ensemble des usagers de la route (véhicules, piétons, deux roues) dans le but de corriger, si nécessaire, au plus vite les éléments du projet qui présentent des déficits de sécurité. Le RSI a exactement le même objectif : détecter des potentiels déficits de sécurité. La différence majeure est que l'inspection ne se fait pas sur un projet, mais sur une infrastructure routière existante. Ces deux types d'inspection sont régies par des normes : la SN 641 722 pour les RSA et la SN 641 723 pour les RSI.

Comme expliqué dans la motivation de ce projet, le but est de développer un outil permettant d'améliorer la sécurité routière dans le cas complexe des chantiers routiers. Le cas particulier des chantiers est très peu développé dans les outils RSI et RSA. Ces derniers peuvent cependant servir de base à la création d'un nouvel outil d'amélioration de la sécurité qui serait spécifique aux chantiers. La création et la mise en application de ce nouvel outil sont donc les objectifs principaux de ce Projet de Master.

1.3. Démarche du projet

Pré-étude

Avant de démarrer ce projet, une pré-étude a été réalisée afin d'acquérir les connaissances et les données de base du Projet de Master. Cette pré-étude a été réalisée entre septembre 2022 et janvier 2023. Elle était composée de trois étapes principales.

Premièrement, un travail de documentation a été réalisé. Le but de cette partie était de balayer le thème de la sécurité des chantiers routiers dans sa globalité. Les recherches étaient basées sur les normes VSS existantes, ainsi que sur l'ensemble de la documentation disponible (supports de cours, sites internet). Des entretiens avec des spécialistes du milieu ont également été réalisés afin de comprendre les enjeux de ce sujet de manière plus spécifique. Une recherche sur la situation à l'étranger a permis de compléter le travail de documentation.

Dans un deuxième temps, des méthodes d'application des RSI et des RSA spécifiques aux cas des chantiers routiers ont été imaginées. Une distinction particulière a été faite entre les autoroutes et les routes cantonales/communales. Ce travail a évidemment été fait sur la base de la documentation récoltée dans la première partie. Le résultat de cette deuxième étape est utilisé comme base de travail au Projet de Master.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Finalement, une première réflexion a été menée sur la forme de cet outil. L'objectif est de le rendre le plus simple et pratique à l'utilisation, tout en ne perdant pas la qualité d'analyse requise à une inspection.

Projet de Master

Le Projet de Master se déroule du lundi 20 février 2023 au vendredi 23 juin 2023, sur une durée de 17 semaines. Il est réalisé au sein de l'entreprise de mobilité Citec, en étroite collaboration avec des professionnels du secteur. Le déroulement du projet peut être divisé en plusieurs parties principales.

La première partie vise à finaliser l'outil développé lors de la pré-étude. Des documents d'analyse des chantiers sont créés, et un système de traitement des données est mis en place pour faciliter la publication et l'analyse des résultats. Un travail de mise en forme est également effectué afin de rendre les documents clairs et faciles à utiliser. Cette partie du projet est réalisée en parallèle pour les deux types de chantiers : routiers et autoroutiers. Au cours du projet, l'outil est enrichi de nouvelles fonctionnalités de digitalisation. L'apprentissage de divers éléments tels que les macros Excel ou Word et le logiciel ArcGIS fait donc partie de cette étape.

La deuxième partie consiste à une mise en application concrète de l'outil. Plusieurs chantiers ont été sélectionnés, comprenant trois chantiers routiers (tram de Lausanne, route des Nations, rue du Trabli) et deux chantiers autoroutiers (autoroute A9 et jonction du Grand-Saconnex). L'objectif est de réaliser des RSI et des RSA complets sur ces différents chantiers en utilisant la méthode d'application développée dans ce projet. Le travail couvre l'analyse de la situation jusqu'au traitement des données, permettant ainsi de tester tous les aspects de l'outil. Monsieur Vincent Epiney, chef de projet spécialisé dans les chantiers routiers chez Citec, introduit et supervise ces chantiers, apportant ainsi son expérience aux analyses réalisées.

Il est important de souligner que ces deux premières parties ne sont pas réalisées de manière séquentielle, mais plutôt en parallèle. En effet, l'objectif n'est pas de créer l'outil et de l'utiliser ensuite pour des études de cas. L'objectif est d'utiliser l'expérience pratique acquise grâce aux études de cas pour améliorer l'outil. Ces deux premières parties représentent donc 80% de la durée totale du projet.

La troisième partie du projet vise à rendre l'outil accessible à tous les utilisateurs. Pour cela, un guide d'utilisation complet est créé, permettant à tout futur utilisateur de prendre en main l'outil de manière facile et efficace. La flexibilité de l'outil est également garantie, afin de pouvoir effectuer des modifications si les besoins évoluent à l'avenir.

Enfin, la quatrième partie concerne la finalisation du projet. Cela comprend la rédaction d'un rapport final, ainsi que les dernières corrections apportées à l'outil. Une auto-évaluation de l'outil et de la méthode de création est également réalisée dans cette phase.

Résumé de la démarche

La figure 1 illustre la chronologie des différentes étapes du Projet de Master.

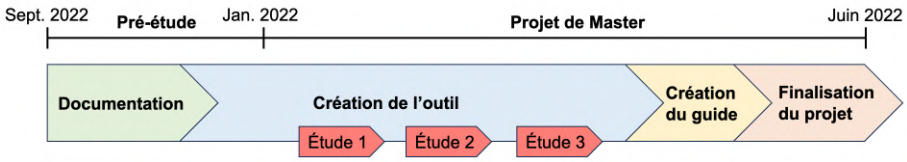


Figure 1 - Chronologie du Projet de Master

1.4. Concept de l'outil

Une description détaillée de l'outil, de son mode d'utilisation et de ses fonctions sera présentée plus tard dans ce rapport, aux chapitres 4, 5, 6 et 8. L'objectif de cette section est de présenter le concept de l'outil dans les grandes lignes.

Le but de l'outil créé dans ce Projet de Master est de permettre une application des RSI et des RSA aux chantiers routiers. L'objectif est de fournir aux utilisateurs un outil facile à utiliser, qui les aide à analyser les chantiers et à synthétiser leurs résultats de manière semi-automatisée. La création de cet outil a commencé durant la pré-étude où une première version a été réalisée. Ensuite, durant l'avancée du projet, l'outil a évolué. Des défauts ont été repérés et corrigés, et des améliorations ont pu être apportées. Plusieurs applications pratiques sur des chantiers réels ont permis de tester l'outil et de l'optimiser.

Plusieurs versions de l'outil ont été créées. Tout d'abord, une distinction particulière est faite entre les chantiers autoroutiers et les chantiers urbains. Les raisons de cette séparation seront expliquées plus tard dans ce rapport. Ensuite, des versions séparées de l'outil existent pour les RSI et les RSA. La manière de réaliser ces deux études étant très différente, des variantes de l'outil ont été créés afin d'être adaptées aux différents besoins. Enfin, des parties additionnelles de l'outil ont été créées dans le but de compléter les RSI et les RSA. Une recherche des points critiques, un guide des panneaux de signalisation et une version de l'outil adaptée aux petits chantiers sont des exemples de ces parties supplémentaires.

Les versions centrales de l'outil sont divisées en trois parties distinctes. La première partie est consacrée à l'analyse des chantiers. Cette partie de l'outil fournit à l'utilisateur une aide à l'analyse du chantier, tant pour les RSI que pour les RSA. Elle prend la forme de listes de thèmes présentées sous forme de tableaux. La deuxième partie de l'outil concerne le traitement des données. Une fois l'analyse du chantier terminée, il est nécessaire de synthétiser les résultats. L'outil de traitement permet à l'utilisateur d'obtenir des rapports et des tableaux de résultats de manière semi-automatisée. Cette partie de l'outil prend la forme de tableurs Excel et de documents Word utilisant des macros. Enfin, la troisième et dernière partie de l'outil est un mode de notation des chantiers. Cette fonctionnalité a été développée exclusivement pour les RSI. En utilisant des concepts d'analyse multicritères, l'outil fournit des notes permettant d'évaluer l'évolution de la situation d'un chantier. Cette partie de l'outil est particulièrement utile pour les chantiers de longue durée, où il est important de suivre l'évolution de la situation au fil du temps.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

2. Contenu de la pré-étude

Le but de la pré-étude était de rassembler un maximum de documentation et de connaissances sur les thèmes des RSI/RSA, des chantiers urbains et autoroutiers et de la sécurité sur les chantiers. Ainsi, une grande partie de cette étape du projet a été consacrée à la recherche d'informations. Sur la base de cette documentation, une première version d'une méthodologie pour l'application des RSI et RSA aux chantiers routiers a pu être créée. Ce chapitre a pour objectif de résumer les différents éléments développés tout au long de cette pré-étude, qui servent de base au Projet de Master.

2.1. Documentation et normes

Liste des normes existantes

La première étape de la documentation est la prise de connaissance des normes existantes en Suisse. Concernant la sécurité routière, deux normes ont été développées par la VSS, l'organisme suisse de normalisation pour le domaine de la route et des transports. La première de ces normes est la **SN 40 885** qui traite de la signalisation des chantiers sur autoroutes et semi-autoroutes. Cette norme a été éditée en 2015 et est donc relativement récente. Ce document de 88 pages est composé de deux parties. La première décrit sous forme de texte les principaux thèmes spécifiques à la sécurité des chantiers, ainsi que les exigences normatives. La deuxième partie est constituée d'une série de schémas représentant des cas standards de chantiers dans le but d'illustrer les différents équipements à mettre en place et les différentes règles à suivre.

La deuxième norme suisse est la **SN 40 886** qui traite de la signalisation des chantiers sur les routes principales et secondaires. En vigueur depuis mars 2019, ce document de 40 pages est également composé de deux parties. La première est à nouveau une description des concepts et des normes sous forme de texte, et la deuxième représente des schémas d'application à certains cas spécifiques de chantiers routiers. Ces deux normes servent de base principale à ce projet.

Deux autres normes également utiles pour ce projet sont les normes **SN 641 722** et **SN 641 723**. Ces deux documents traitent respectivement des RSA et des RSI. Les généralités, les définitions et les procédures de ces outils sont décrites dans ces documents de référence. Ces normes aident à imaginer certains aspects des RSA et RSI qui peuvent être ajoutés à la méthodologie créée dans ce projet, mais qui ne sont pas présents dans les normes de sécurité des chantiers.

En plus des normes officielles, de nombreux documents techniques permettent d'imaginer de nouveaux thèmes importants dans la sécurité des chantiers routiers. L'association SISTRA a sorti un document décrivant les conditions techniques s'appliquant aux travaux d'installation, d'exploitation et de démontage des chantiers routiers. Pour les chantiers autoroutiers, l'OFROU a réalisé des documents d'instructions et de directives. La SUVA et ASTRA ont également sorti des manuels de recommandations.

Entretiens

Dans le processus de documentation sur le sujet de la sécurité des chantiers routiers, un moyen extrêmement efficace d'en apprendre plus est la réalisation d'entretiens avec des spécialistes du milieu. Cette méthode a un avantage particulier : cela permet de comprendre la réalité pratique du terrain qui diffère parfois des recherches théoriques. Durant la pré-étude, trois entretiens ont été organisés. Cette section va résumer les éléments importants de ceux-ci en insistant sur la richesse qu'ils ont pu apporter au travail de documentation.

Entretien avec Monsieur Vincent Epiney (10 novembre 2022)

Vincent Epiney travaille comme chef de projet dans le bureau d'étude en ingénierie Transport et Mobilité Citec. Il est spécialiste en chantiers urbains et a une grande expérience dans le domaine de la sécurité routière. Un entretien d'une heure a pu être organisé avec lui dans le but d'enrichir les recherches. Le thème principal de cet entretien était les chantiers urbains.

Le premier aspect qui est ressorti de cet entretien est que les chantiers urbains sont extrêmement différents des chantiers autoroutiers, et même que les chantiers sur des routes principales hors localité. La principale différence concerne l'unicité de ces chantiers urbains. En effet, chaque chantier se passe dans une situation unique. Cette situation peut générer des problèmes qui n'étaient jamais arrivés dans aucun autre chantier jusque-là. Il est donc beaucoup plus compliqué de réaliser des normes qui soient en tout point applicables à ce type de chantier. Chaque chantier étant un cas particulier, il est difficile de généraliser. Une autre différence entre les chantiers urbains et les chantiers autoroutiers est l'existence d'abus de la part des entreprises de construction ou des usagers. En effet, sur un chantier urbain (et particulièrement sur un chantier de courte durée), les acteurs pourraient avoir tendance à faire passer le côté pratique avant la sécurité. Les normes ne sont pas toujours respectées et la sécurité n'est pas au cœur des préoccupations. Cela peut s'expliquer par un fait simple : le danger n'est pas forcément visible car les accidents ne sont généralement pas mortels. Sur les autoroutes, ce n'est pas le cas. Les véhicules roulent plus vite et le danger est réel et visible. Tous les acteurs sont donc très concernés et les recommandations de sécurité sont extrêmement respectées.

Pour conclure, la mise en application des normes dans un chantier urbain est un défi. La difficulté de généraliser à des chantiers tous différents et le manque de préoccupation des acteurs pour la sécurité sont les raisons de ce défi.

Un autre thème qui est ressorti de ce rendez-vous est la présence de beaucoup de critères à prendre en compte dans les RSI et les RSA qui ne sont pas dans les normes. Ces critères sont beaucoup plus pratiques et nécessitent une expérience dans les chantiers pour pouvoir les imaginer. Un exemple illustrant parfaitement cela est la garantie de capacité. C'est une notion qui désigne la capacité d'un système ou d'un dispositif à remplir sa fonction de manière fiable et efficace. Cette garantie implique que le système ou le dispositif en question doit être conçu de manière à être capable de remplir sa fonction de manière cohérente, même dans des conditions imprévues. Si la garantie de capacité n'est pas respectée, des comportements à risques des usagers peuvent apparaître. Par exemple, un feu de signalisation sur un chantier qui resterait rouge plus de trois minutes a de fortes chances de se faire griller par les usagers. Il faut donc configurer les feux en prenant cela en compte. Un autre exemple concerne les déviations pour les piétons. Si ces déviations sont trop importantes et génèrent de trop grandes pertes de temps, les piétons risquent de couper sur la route et un danger est généré.

Des dizaines d'autres thèmes basés sur la pratique ont également été abordés durant cette discussion, comme la dégradation du marquage dans le temps ou la gestion de la mise en place du chantier. Tous ces thèmes ont pu être pris en compte dans la méthodologie d'application.

Le troisième sujet qui est ressorti de cet entretien concerne les différents types de plans qui sont en général réalisés avant la mise en place d'un chantier. Le plan des contraintes ou le phasage du chantier sont des exemples de ces plans. La construction de la méthodologie d'application des RSA est basée sur ces différents types de plans.

Il est important de souligner que cet entretien n'était que le premier avec Vincent Epiney. En plus de cette discussion durant la pré-étude, Vincent a beaucoup aidé durant le reste du projet. Travaillant à Citec, une collaboration continue a pu être mise

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

en place durant la réalisation du projet. Son expérience et sa disponibilité ont été des atouts majeurs pour mener le projet à bien.

Entretien avec Monsieur Thierry Pucci (21 novembre 2022)

Thierry Pucci a une très grande expérience dans la sécurité des chantiers autoroutiers. Il travaille actuellement à la SIERA (Service intercantonal d'entretien du réseau autoroutier). La SIERA est la plus grande des 11 unités territoriales créées par la confédération. Son but est de gérer l'entretien courant du réseau autoroutier des cantons de Fribourg, Genève et Vaud pour le compte de l'OFROU. Une grande partie de cet entretien a concerné le système de gestion des autoroutes et les différents acteurs impliqués. La compréhension de cela est extrêmement importante pour pouvoir réaliser un projet dans ce domaine.

Un autre thème important abordé lors de cet entretien concerne l'importance des normes. Le respect de ces dernières est primordial car en cas d'accident, l'entreprise sera tenue pour responsable si la conformité aux normes n'est pas assurée. Des risques de procès civil et pénal peuvent exister.

Enfin, quelques critères RSI et RSA spécifiques aux chantiers autoroutiers ont été discutés lors de cet entretien. Des cas particuliers non-présents dans les normes comme la circulation bidirectionnelle dans les tunnels ont été traités. Pour ces cas spécifiques, SIERA a créé ses propres schémas de standardisation qui sont une excellente base pour la méthodologie d'application spécifique aux autoroutes. Différents plans autoroutiers ont également été présentés.

Séance de trafic - Chantier autoroutier de Chexbres (23 novembre 2022)

Grâce à l'invitation de Monsieur Pucci, il a été possible d'assister à une séance de trafic. Cette réunion s'inscrivait dans le projet des chantiers sur l'autoroute A9 qui sont en cours depuis des années. Le but de cette séance était de prévoir la phase d'hiver et les travaux qui arrivent en 2023. Les sujets traités sont basés sur les thèmes de la sécurité, la planification des travaux et la gestion du trafic.

De nombreux acteurs étaient présents à cette séance :

- Le maître d'ouvrage : l'OFROU
- SIERA
- Une entreprise de BAMO (Bureau d'assistance au maître d'ouvrage)
- Un bureau d'ingénieur de mobilité et transport
- La police
- Un bureau d'ingénieur génie civil

Une discussion générale a ensuite eu lieu sur différents sujets, et chaque acteur développe son point de vue et amène son expérience.

Pouvoir assister à cette séance a permis d'encore mieux comprendre le processus de sécurité mis en place lors d'un chantier autoroutier. Une grande partie de cette réunion portait sur le phasage du chantier et une étape importante à analyser dans les RSA en est ressortie : le montage du chantier.

Comparaison avec l'étranger

La dernière étape de la phase de documentation et de recherches concerne la comparaison avec l'étranger. La prise de connaissance des différentes normes suisses et la réalisation d'entretiens avec des acteurs directement impliqués ont permis de comprendre la situation en Suisse sur les thèmes des RSI, des RSA et de la sécurité dans les chantiers. Mais qu'en est-il de l'étranger ? Cette section s'intéresse à cette question.

Sécurité routière

Le thème de la sécurité routière est aujourd'hui traité dans tous les pays disposant d'un réseau routier développé. Ce sont en général les gouvernements qui fixent des règles à ce sujet-là. Le cas de la France est pris comme exemple. Afin d'agir dans les domaines de la mobilité et des infrastructures de transport, l'état a créé le CEREMA. Cet établissement public est sous la tutelle du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. Afin de réglementer les chantiers routiers, CEREMA a sorti des guides traitant de divers sujets critiques : la signalisation temporaire, la gestion des piétons ou encore les études préliminaires.

Il est possible de conclure qu'en général, dans tous les pays semblables à la Suisse, une gestion normative de l'état encadre toujours la sécurité dans les chantiers routiers.

RSI et RSA

L'autre thème principal de cette pré-étude concerne les RSI et les RSA. Sont-ils spécifiques à la Suisse ou est-ce une méthode courante dans le monde ? Avec un minimum de recherche, il est très facile de se rendre compte que les RSI et les RSA existent partout dans le monde, et la problématique de la sécurité routière est devenue globalement considérée. En France, un des guides CEREMA concerne directement les RSI, et un autre concerne les RSA. Un autre guide des RSI existe aussi en Irlande, mais également en Europe, avec un guide développé par l'UNICE (United Nations Economic Commission for Europe) dans le but de standardiser cela. En s'éloignant de l'Europe, des traces de méthodologie RSI existent également en Australie, et un guide d'application des RSI a même été développé pour l'Amérique Latine et les Caraïbes.

RSI/RSA sur les chantiers routiers

Le thème des RSI ou RSA développé spécifiquement pour le thème des chantiers routiers (le but principal de ce projet) semble moins développé dans le monde. Quelques exemples ont tout de même été trouvés. Aux États-Unis, des sites internet ont dressé des listes de conseils à appliquer pour assurer la sécurité des chantiers routiers. Un document sous forme de check-list a même été développé au Texas, mais il concerne la sécurité dans tous les types de chantiers. Au Luxembourg, un recueil de législation traite du thème de l'inspection des chantiers routiers dans le but d'améliorer la sécurité des usagers. Des exemples de relevés RSI sont listés. Finalement, la société mondiale (basée à Sydney) SafetyCulture a développé une application sous forme de liste de contrôle. Cette check-list interactive permet de vérifier tous les thèmes de la sécurité liés aux chantiers routiers.

Pour conclure, les recherches sur la situation à l'étranger ont permis de montrer que les thèmes de la sécurité routière et des RSI/RSA sont des sujets actuels qui génèrent un intérêt partout dans le monde. Tout n'a cependant pas encore été développé partout lorsque ces deux thèmes (chantiers routiers et RSI/RSA) sont mis en commun. Cela donne un sens encore plus fort à ce Projet de Master.

2.2. Base de la méthodologie d'application

Comme mentionné précédemment, la pré-étude était composée de plusieurs parties. La première partie concernait la documentation, et la section précédente traite de ce thème-là. La deuxième partie de la pré-étude concernait la création de la base de la méthodologie d'application. Cette section a pour but de résumer les éléments principaux à retenir de cette étape du projet. L'outil a beaucoup évolué durant le processus du projet. Seuls les éléments pertinents dans la phase finale de l'outil sont présentés dans ce chapitre.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Tableaux de thèmes

Dans le cadre de la pré-étude, une première caractéristique de l'outil qui a été réfléchie concerne la liste des thèmes à observer pour les RSI et RSA, ainsi qu'une classification possible. Il a d'abord été décidé que la méthodologie d'application existe sous quatre versions :

- Méthodologie d'application des **RSI** pour les chantiers des **routes principales et secondaires**.
- Méthodologie d'application des **RSA** pour les chantiers des **routes principales et secondaires**.
- Méthodologie d'application des **RSI** pour les chantiers **autoroutiers**.
- Méthodologie d'application des **RSA** pour les chantiers **autoroutiers**.

Il y a donc une version pour chaque type d'inspection (RSI ou RSA) et pour chaque type de chantier (autoroute ou route cantonale / situation urbaine). Les méthodologies contiennent de nombreux thèmes à observer et il a été décidé de les classer par famille. Ce sont donc quatre familles qui ont été imaginées. La figure 2 résume ces familles.

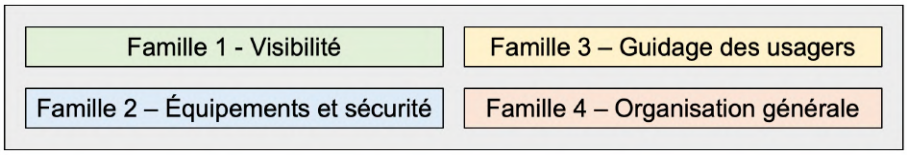


Figure 2 - Familles de classification des thèmes à observer

La liste complète des thèmes par famille est présentée plus tard dans le rapport. Quelques explications sont tout de même données sur le contenu des familles. La **famille 1** englobe les thèmes de la visibilité. La gestion de l'éclairage, de la lisibilité de la route et des accès secondaires sont des exemples de thèmes observés. La **famille 2** traite des équipements mis en place pour le chantier et de la sécurité en général. La largeur des voies de circulation, le tracé de la chaussée et la dégradation de la surface sont des exemples de thèmes présents dans cette famille. Le contrôle de l'installation des éléments de sécurisation (barrières, cônes, etc.) conformément aux normes fait également partie de cette famille. La **famille 3** englobe les thèmes de la gestion du guidage des usagers. Les éléments de signalisation (panneaux, feux de circulation, etc.) et le marquage au sol sont les deux principaux thèmes de cette famille. Mais de plus petits thèmes sont également à observer comme la gestion des piétons ou les accès particuliers (bus, service de voirie, etc.). La **famille 4** englobe les thèmes de l'organisation du chantier. Il s'agit de vérifier que le chantier a été bien élaboré. Les objectifs doivent être clairement fixés, un phasage mis en place, un plan des contraintes réalisé. Lors d'un RSI, ces contrôles se font directement sur le chantier en discutant avec le chef de chantier afin de vérifier que le chantier est structuré. Lors d'un RSA, cette vérification se fait en amont du chantier et permet ainsi de compléter les manquements si des éléments de préparation et d'organisation n'ont pas été réalisés.

Distinction routes – autoroutes

Comme vu précédemment, des méthodologies distinctes existent pour les chantiers autoroutiers et pour les chantiers urbains (routes principales et secondaires). Le choix de séparer ces deux cas de figure a été fait dans la pré-étude comme conséquence logique à la documentation réalisée sur le sujet. Le but de cette section est de lister les principales différences entre ces deux cas de figure afin de justifier la création de méthodologies séparées. La figure 3 contient cette liste.

Chantiers routiers	Chantiers autoroutiers
• Présence de piétons • Présence de personnes à mobilité réduite • Présence de cyclistes • Présence de transports publics • Utilisation de feux de signalisation • Utilisation de palettes à face alternée • Utilisation de barrières simples • Longueurs des files d'attente à gérer • Systèmes de priorité à gérer • Plaques de chantier à gérer • Accès secondaires à gérer • Rétrécissement ponctuels à gérer • Garantie de capacité à gérer	• Présence de bande de ralentissement • Utilisation de signalisation au-dessus de la voie • Utilisation d'amortisseurs de choc mobiles • Utilisation d'installations lumineuses à défilement • Mesures de protection anti-éblouissement à gérer • Entrées et sorties existantes à gérer • Circulation de chantier à gérer • Affiches de chantier OFROU à mettre en place • Tunnels à gérer • Déviations de voies à gérer

Figure 3 - Différences entre les routes et les autoroutes

En plus de cette liste, il est important de rappeler que le comportement des acteurs est très différent en fonction du type de chantier. Sur un chantier autoroutier, la sécurité est au cœur des préoccupations de tous les intervenants car les potentiels accidents ont des dommages souvent importants. À l'inverse, sur un chantier urbain, les entreprises de construction peuvent avoir tendance à faire passer le côté pratique avant la sécurité.

Enfin, les deux types de chantier ont une dernière différence majeure : l'uniformité. Sur les autoroutes, bien que des cas particuliers puissent exister, la structure des chantiers possède des similarités entre chaque chantier, et des modèles de mise en place peuvent facilement être appliqués. En situation urbaine, chaque chantier est une situation presque unique. Il faut réfléchir au cas par cas et trouver des solutions adaptées à chaque situation.

Finalement, la technique de réalisation d'un RSI peut varier en fonction du type de chantier. Cette différence a pu être perçue à la suite des entretiens réalisés avec des ingénieurs ayant de l'expérience dans le domaine des RSI. Il apparaît que la technique optimale pour réaliser un RSI sur une autoroute est de parcourir le chantier une fois en regardant tous les thèmes de sécurité en même temps. Ces chantiers sont relativement longs, il n'est donc pas possible de parcourir la longueur totale des travaux un nombre élevé de fois. L'approche favorisée est donc emplacement après emplacement, en traitant tous les thèmes en même temps. Dans un chantier urbain, la manière de faire est très différente. Ces chantiers étant beaucoup plus localisés, il est tout à fait possible de les parcourir plusieurs fois. La technique optimale semble donc être d'observer un thème à la fois, sur toute la surface du chantier. L'approche favorisée est donc dans ce cas le thème après thème, en observant tout le chantier d'un coup. Cette réflexion faite durant la pré-étude a pu par la suite être testée et confirmée durant les applications pratiques du Projet de Master.

Choix de mise en forme de l'outil

Une fois la liste des thèmes à observer établie, l'étape suivante dans la création de la méthodologie d'application des RSI/RSA consiste à mettre en forme l'outil. Une réflexion sur cela a donc été faite durant la pré-étude. Des changements ont été effectués entre cette première version et la version finale de l'outil, mais le concept principal est resté identique.

Le but est donc d'avoir quelque chose de simple, de clair et d'intuitif. Plusieurs possibilités ont été considérées. Un instrument sous forme de check-list a l'avantage

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

de la simplicité. Cette manière de fonctionner a cependant un défaut majeur, la perte d'informations. La check-list permet de facilement relever un défaut de sécurité, mais cet outil ne permet pas de qualifier l'ampleur du défaut, sa récurrence d'apparition ou sa localisation sur le chantier. C'est donc une autre option qui a été choisie pour la première version de l'outil d'application des RSI/RSA : le tableau. Les figures 4 et 5 donnent un exemple de la mise en forme de ces tableaux.

Famille 1 - Visibilité			
No	**Thèmes**	**Eléments à vérifier**	**Numéro de déficit**
1.1	Eclairage	Des **lampes de chantier** sont présentes sur les barrières et sur les signaux isolés. *Norme : De 0,80 à 1 mètre du sol. Une lampe tous les 1,50 mètre sur les barrières en travers. Une lampe tous les 5 à 20 mètres sur les barrières latérales.*	1, 3
		Un **feux clignotant** est présent au début du chantier.	
		Les **éclairages classiques** ne sont pas obstrués par le chantier	
1.2	Lisibilité	Il n'y a pas de **surplus d'infomations**.	
		Il n'y a pas de **publicité** dans la zone du chantier.	
		Il n'y a pas de potentiels **dangers cachés** par le chantier.	
		La **signalisation existante** n'est pas masquée par le chantier.	2
1.3	Obstacles latéraux	Le **matériel du chantier** n'est pas trop proche de la chaussée.	
		D'autres **obstacles latéreux** ne gènent pas le trafic.	
1.4	Accès secondaires	La visibilité est assurée depuis les **routes tangentes** au chantier.	
Famille 2 - Équipements et sécurité			
No	**Thèmes**	**Eléments à vérifier**	**Numéro de déficit**
2.1			
...			

Figure 4 - Première version de la mise en forme de l'outil - partie 1

Liste des déficits			
No	**Déficit de sécurité**	**Remarque**	**Photo**
1	Absence de lampe de chantier sur une barrière	-	Photo 1 à 15h16
2	Le chantier masque un panneau de limitation de vitesse	Le panneau peut être déplacé	Photo 2 à 15h20
3	Trop de lampes de chantiers sur la barrière latérale	Une lampes tous les 3m, normalement minimum 5m	Photo 3 à 15h23
4			
5			

Figure 5 - Première version de la mise en forme de l'outil - partie 2

Remarque : les phrases en bleu sont un exemple de remplissage du tableau.

Le tableau est composé de deux parties. La première (figure 4) consiste en un listing des différents thèmes classés par famille. Les éléments chiffrés de la norme sont inclus dans ce tableau afin de donner toutes les informations nécessaires à l'utilisateur pour évaluer les déficits. La dernière colonne de ce tableau (*numéro de déficit*) est la seule devant être remplie dans ce tableau. À chaque fois qu'un déficit de sécurité est repéré, un numéro est rentré dans la colonne adéquate. Le déficit peut ensuite être reporté dans le deuxième tableau (figure 5) au numéro correspondant. Dans ce deuxième tableau, le but est de décrire avec plus de précision le déficit de sécurité

repéré. Il est évidemment possible que plusieurs déficits soient repérés sur le même thème, mais à différents emplacements du chantier. Afin d'améliorer la prise d'information, l'utilisateur peut également prendre une carte du chantier et, pour chaque déficit relevé, inscrire le numéro correspondant sur la carte afin de relever la position précise de celui-ci.

Il est important de souligner que cette manière de faire a été gardée pour les RSI dans la version finale de l'outil, mais avec des changements dans le design et dans le nom des colonnes. Pour le RSA, un autre concept a été développé par la suite. Les versions finales des outils seront présentées plus tard dans ce rapport, au chapitre 5.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

3. Contexte des études de cas

Durant ce projet, plusieurs études de cas ont été réalisées. Le but de ces études était de pouvoir tester l'outil sur des cas pratiques afin de repérer des problèmes et d'imaginer des améliorations possibles. L'aspect pratique amené par ces cas concrets est indispensable pour la création d'un outil aussi complet que possible. Ces études de cas prennent logiquement la forme de chantiers. Au total, cinq chantiers ont pu être suivis durant ce Projet de Master. La majorité de ces chantiers sont supervisés par l'entreprise Citec. Le but de ce chapitre est de présenter le contexte de ces différents chantiers et de résumer la valeur qu'ils apportent au projet. Les résultats des études réalisées sur ces chantiers seront présentés plus tard dans ce rapport.

3.1. Chantier du tram de Lausanne

Contexte du projet

La ville de Lausanne a toujours été liée aux tramways. Durant la première moitié du vingtième siècle, c'était l'un des moyens de transport phare de la ville. Dans les années 1910, le réseau de tramways lausannois comptait 13 lignes déployées sur près de 70 kilomètres de voies ferrées. Cependant, ce nombre a diminué sans cesse et en 1964, la dernière ligne de tramway lausannoise a été fermée, laissant la place aux bus.

Mais l'histoire ne s'arrête pas là. 60 ans plus tard, le tramway va faire son retour en ville de Lausanne. Le Projet d'Agglomération Lausanne-Morges (PALM) a développé une stratégie pour la mobilité de demain. Dans cette stratégie, une nouvelle ligne de tramway reliera Lausanne-Flon à Villars-Ste-Croix en passant par la gare de Renens. Le but de ce projet est de développer les transports publics dans l'Ouest Lausannois afin de favoriser le développement de cette région, tout en réduisant la circulation et la congestion en centre-ville.

Les premiers travaux préparatoires ont commencé en 2019 et le chantier devrait durer jusqu'en 2026, année de la mise en service. Le tramway aura un tracé de plus de 7 kilomètres et comptera 16 stations. Circulant à une vitesse de 20 km/h (contre 14 en bus) et ayant une capacité de 300 places (contre 75 en bus), l'offre proposée sera très attirante pour la population. Avec une cadence prévue d'un tramway toutes les 6 minutes, c'est plus de 18 millions de voyageurs qui sont attendus à l'horizon 2030.

Le projet s'inscrit dans une politique écologique et durable. Le trafic motorisé individuel devrait être réduit de 10%, ce qui générera des améliorations au niveau de la qualité de l'air et une diminution des émissions sonores.

Le projet n'a cependant pas été soutenu par tout le monde. Plusieurs oppositions ont été déposées par des commerçants et par des riverains. En effet, les travaux à réaliser sont très importants et les enjeux sont nombreux. Le chantier est routier et urbain, et des décisions stratégiques ont dû être prises pour coordonner les besoins d'accès des usagers des routes avec les exigences en sécurité. Les dernières oppositions ont toutefois été levées en 2023.

Contexte du chantier

Le chantier s'étendant sur des kilomètres, il a été divisé en plusieurs parties. Entre Lausanne-Flon et Renens, dix secteurs différents ont été fixés. Le maître d'ouvrage a attribué le marché en lots séparés, chaque lot correspondant à un secteur du chantier. L'entreprise Citec a obtenu le lot 7 : le secteur Confrérie-Couchirard. L'étude de cas sera donc réalisée uniquement sur cette partie du chantier. La figure 6 illustre la localisation de ce secteur par rapport à l'ensemble du projet entre Lausanne-Flon et Renens.

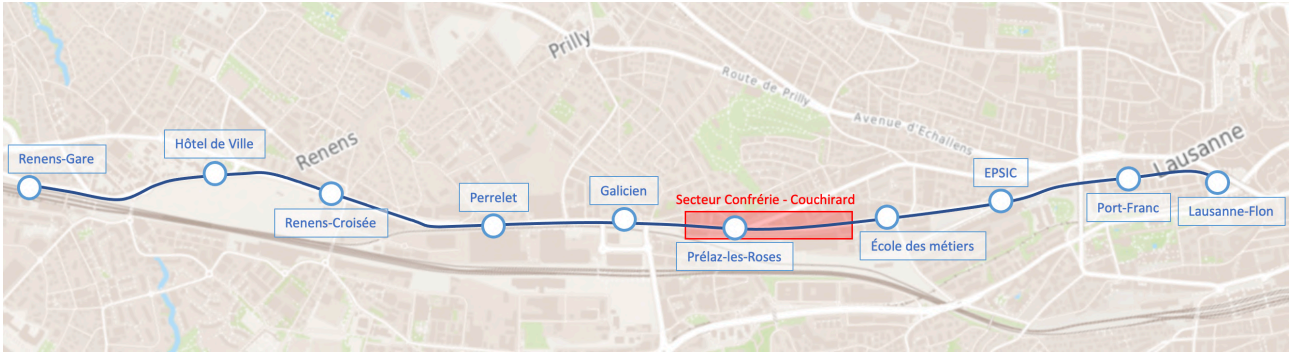


Figure 6 - Localisation du secteur du chantier

Le secteur du lot 7 se situe au Nord de la gare CFF de Prilly-Malley, entre l'Avenue de la Confrérie et la Rue Couchirard. Il s'étend sur une distance d'environ 620 mètres. Le chantier suit l'Avenue de Morges et la Rue de Genève, localisation du futur tracé du tramway. Les travaux sont principalement concentrés sur le carrefour Prélaz-les-Roses qui connecte l'Avenue de Morges, l'Avenue de la Confrérie et la Rue de Genève. Une route d'accès à une station-service Coop Pronto est également située en dessous de ce carrefour.

Une ligne de bus circule le long de la route et il y a également un arrêt (Prélaz-les-Rose). Le secteur a donc une gare à proximité, il possède des arrêts de bus ainsi que plusieurs restaurants le long de la route. Pour ces raisons, un nombre considérable de piétons sont susceptibles d'être présents. Entre 2011 et 2021, 49 accidents avec dommages corporels ont eu lieu dans le secteur. Près de la moitié d'entre eux impliquent des motos. Ce nombre est cohérent par rapport aux statistiques du reste de Lausanne, mais indique tout de même une certaine densité de trafic. La figure 7 illustre la situation du secteur avant le début des travaux.

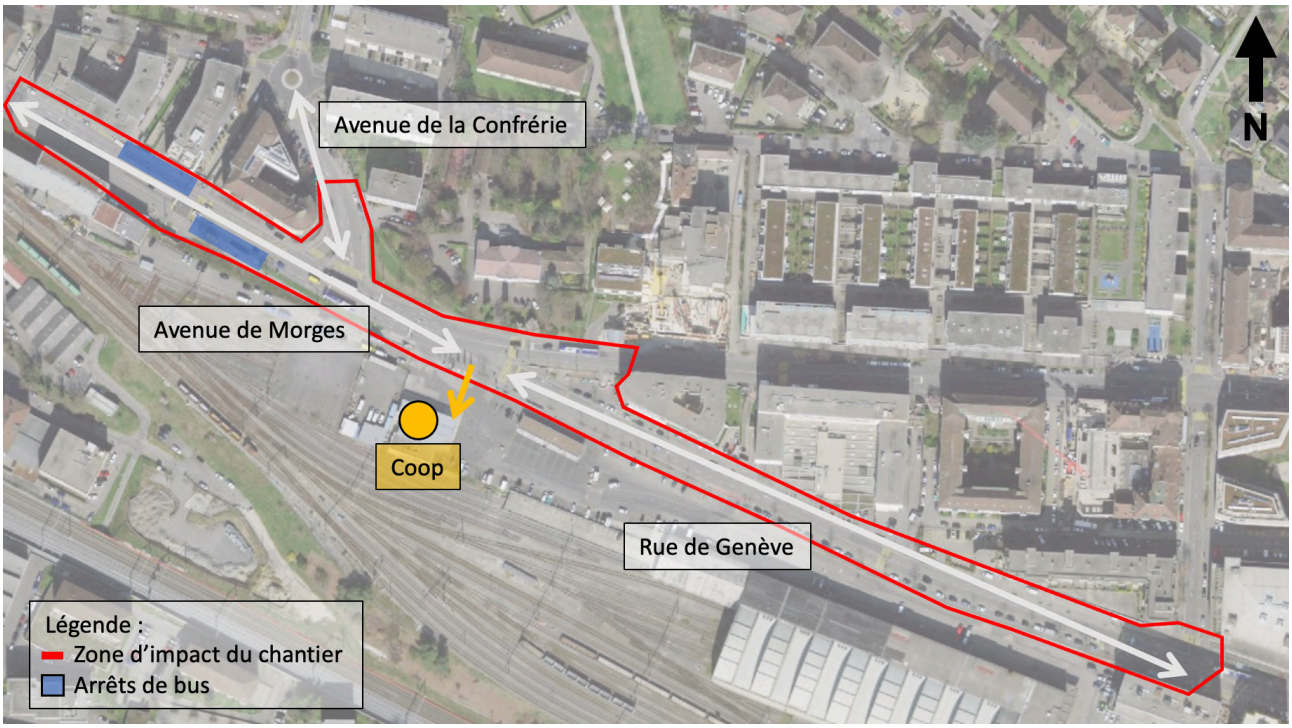


Figure 7 - Situation du chantier du tram

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Dans ce secteur, il est prévu que le tramway circule au centre de la chaussée. La circulation routière s'écoulera des deux côtés des voies du tramway et des aménagements spécifiques sont prévus pour la mobilité douce. Un arrêt de tram sera situé à l'emplacement actuel du carrefour. Durant la période du chantier, il est planifié de maintenir la circulation dans les deux sens. Les accès aux propriétés privées et aux commerces sont également maintenus. Des restrictions ont cependant lieu sur les gabarits des chaussées, et des déviations provisoires des chemins piétonniers sont prévues. Les lignes de bus sont maintenues mais les arrêts sont déplacés. Il est finalement promis de maintenir l'accès aux cyclistes dans ce secteur.

Afin de pouvoir assurer tous ces engagements, le chantier est planifié en plusieurs étapes successives. La figure 8 résume ces étapes.

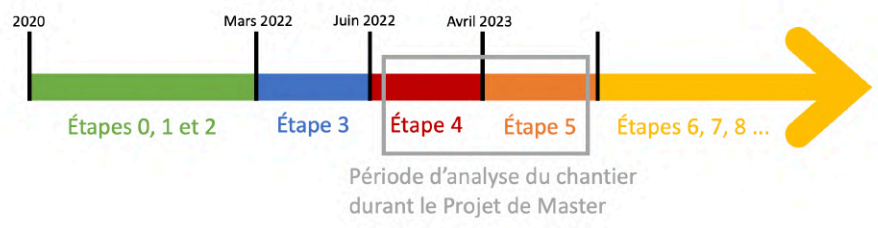


Figure 8 - Planning du chantier du tram

Les étapes 0, 1 et 2 ont eu lieu entre 2020 et mars 2022. Il s'agissait principalement de travaux préparatoires. L'étape 0 avait pour but de démolir les éléments gênants pendant la durée des travaux. Par exemple, les séparateurs de voies surélevés sont remplacés par des balises. Les étapes 1 et 2 consistaient en la construction des murs de soutènement au Nord et au Sud du secteur. Les gros travaux restreignant la circulation ont commencé avec l'étape 3. Cette étape a eu lieu entre mars et juin 2022 et consistait à la réalisation des travaux au Sud de la chaussée. L'étape 4 (entre juin 2022 et avril 2023) est la suite de la 3 avec la continuation des travaux au Sud. Cependant, la partie Nord du carrefour Prélaz-les-Roses est également en travaux durant cette nouvelle étape. À partir d'avril 2023, l'étape 5 commence et les travaux se déplacent. La zone au Sud de la chaussée est libérée et les travaux ont maintenant lieu uniquement au Nord. La suite des travaux dépasse la période du Projet de Master. Des nouvelles étapes sont toutefois planifiées jusqu'à août 2024.

Visite de terrain

Le vendredi 3 mars 2023, une visite de terrain a été effectuée. Le but était de prendre connaissance de la situation actuelle du chantier et de vérifier la conformité avec les plans. La visite a été faite entre 9h30 et 10h30. La phase de chantier en place était l'étape 4bis, une sous-étape de l'étape 4.

Le but de cette visite de chantier n'était pas de réaliser un RSI. Des vraies inspections sont prévues pour des phases ultérieures. Cependant, même sans utiliser l'outil de RSI, certains déficits de sécurité ont pu être relevés. Le principal problème vient de la lisibilité du chantier et du guidage des piétons. Quelques exemples vont être présentés ci-dessous.

Premièrement, à l'entrée du chantier, un panneau signalant le chantier et interdisant l'accès aux piétons a été placé. Malheureusement, le panneau a été placé juste à côté d'un chemin prévu pour les piétons afin de garantir l'accès à la Coop Pronto. Cela peut créer de la confusion pour les piétons. Ce déficit est présenté dans la photo 1 de la figure 9.

Deuxièmement, une confusion existe sur un passage piéton en deux parties. Un feu de circulation a été placé pour réguler le passage des piétons sur la partie 2. La partie

1 n'est pas régulée. Cependant, lorsqu'un piéton arrive du côté non régulé, il a en face de lui le feu rouge de la partie 2. Il pourrait tout à fait penser que ce feu rouge s'applique également à la partie 1 du passage piéton. Et s'il attend de son côté sans traverser la partie 1, il ne pourra pas appuyer sur le bouton permettant d'activer le feu vert, car ce bouton est placé entre les deux parties du passage piéton. Le feu resterait ainsi indéfiniment rouge et le piéton serait bloqué. Un problème de clarté existe donc sur ce passage piéton. Ce déficit est présenté dans la photo 2 de la figure 9. Cependant, après avoir discuté avec Monsieur Epiney, il est ressorti que cette situation est difficilement évitable. En effet, pour des questions réglementaires, il y a un nombre limite de feux de circulation maximal à ne pas dépasser, il n'est donc pas possible de rajouter des feux pour la partie 1 du passage piéton. Il n'est pas non plus possible de déplacer le bouton à l'extrémité du passage piéton, car ne plus avoir de bouton entre les deux parties serait dangereux. En effet, un piéton pourrait rester bloqué au milieu sans possibilité d'appuyer sur le bouton. Il n'y a donc que deux possibilités restantes par rapport à ce déficit : supprimer le feu ou tolérer la situation actuelle.

Troisièmement, à l'entrée de la route secondaire permettant de rejoindre la Coop Pronto, un panneau annonçant la présence de la Coop a été placé. Cependant, le panneau a été placé un peu loin, et il se situe juste à côté de l'entrée de la zone de travaux. Un conducteur ne connaissant pas bien la zone pourrait être induit en erreur par ce panneau et entrer dans la zone de travaux. Ce déficit est présenté dans la photo 3 de la figure 9.

Finalement, un chemin pour piéton est censé être accessible pour les personnes à mobilité réduite. C'est le cas la plupart du temps et des vrais efforts ont été faits à ce sujet. Cependant, à certains endroits ponctuels, cette accessibilité est mise à mal. La photo 4 de la figure 9 montre un de ces endroits.

Figure 9 -Déficits repérés durant la visite du 3 mars

La visite de ce chantier a permis de mieux se rendre compte de la situation réelle et de l'ampleur des travaux et des aménagements en place. Ce qui ressort de cette visite, c'est que de nombreux déficits de sécurité semblent présents. De nombreuses améliorations sont donc possibles, et un chantier de ce type semble idéal pour faire fonctionner l'outil d'application des RSI/RSA.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

3.2. Chantier du Trabli

Les Services Industriels de Genève (SIG) sont un établissement public du canton de Genève. Leur rôle est de gérer la distribution d'électricité, d'eau potable ou de gaz sur le territoire Genevois. La maintenance de ce réseau fait également partie de leurs objectifs et de nombreux chantiers sont menés pour assurer cela. Les travaux sont principalement des fouilles réalisées sur des chaussées routières. Ces chantiers nécessitent une attention particulière sur la sécurité car la gestion du trafic et des piétons en fait partie.

En mars 2023, SIG réalisent des travaux dans 75 endroits différents sur l'ensemble du canton de Genève. Parmi ceux-ci, il y a un chantier sur la rue du Trabli dans la commune de Cartigny. Ce chantier a la particularité d'être suivi par Citec qui s'occupe de gérer le bon déroulement et la sécurité du trafic. Les travaux dans cette rue ont commencé en novembre 2022 et durent jusqu'en été 2023. Différentes fouilles doivent être réalisées dans le cadre de ces travaux et les chantiers ont lieu à différentes périodes. La rue du Trabli est une route de desserte relativement étroite. Elle est le seul accès à de nombreuses habitations. Un trafic de transit utilise cette route et une ligne de bus circule également sur ce tronçon. Ces contraintes rendent la tenue des chantiers particulièrement complexe, malgré le faible flux de trafic. La figure 10 résume la situation de la zone des travaux de la rue du Trabli.

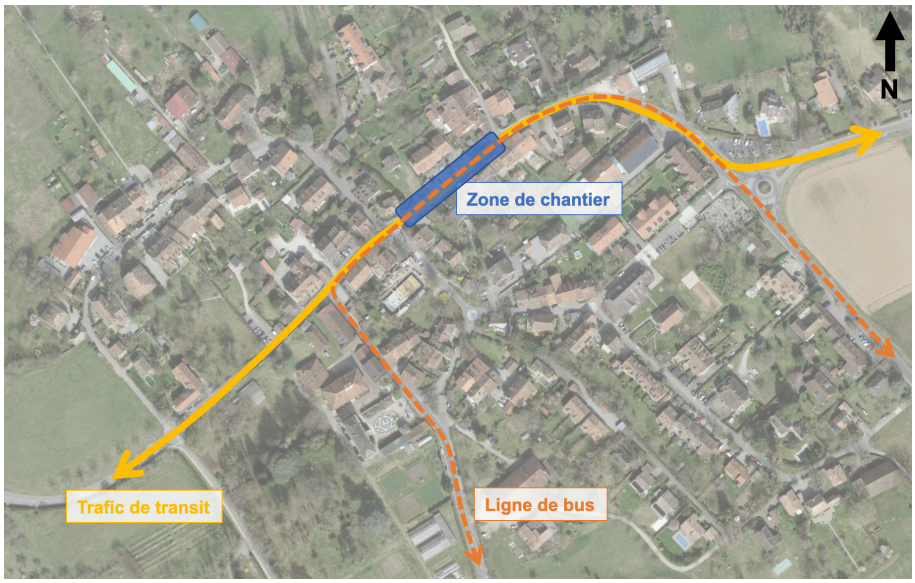


Figure 10 - Situation de la zone des travaux

L'entreprise Citec a été engagée pour s'occuper de la mobilité dans la zone de travaux présentées dans la figure 10. Un premier chantier a eu lieu durant 3 semaines entre novembre et décembre 2022. Le concept de gestion du trafic était le suivant : la circulation était assurée dans la zone des travaux pour les riverains et les cyclistes sur une seule voie en alternance, avec la présence d'un feu de circulation. Selon la volonté des autorités, la ligne de bus passant par cette rue a également été maintenue. Au vu de la faible largeur de la route, réaliser cela a été un vrai défi. Des déviations ont été prévues pour les véhicules de transit et pour les piétons non-riverains. La figure 11 (réalisée par Citec) illustre le plan de circulation réalisé pour ce premier chantier.

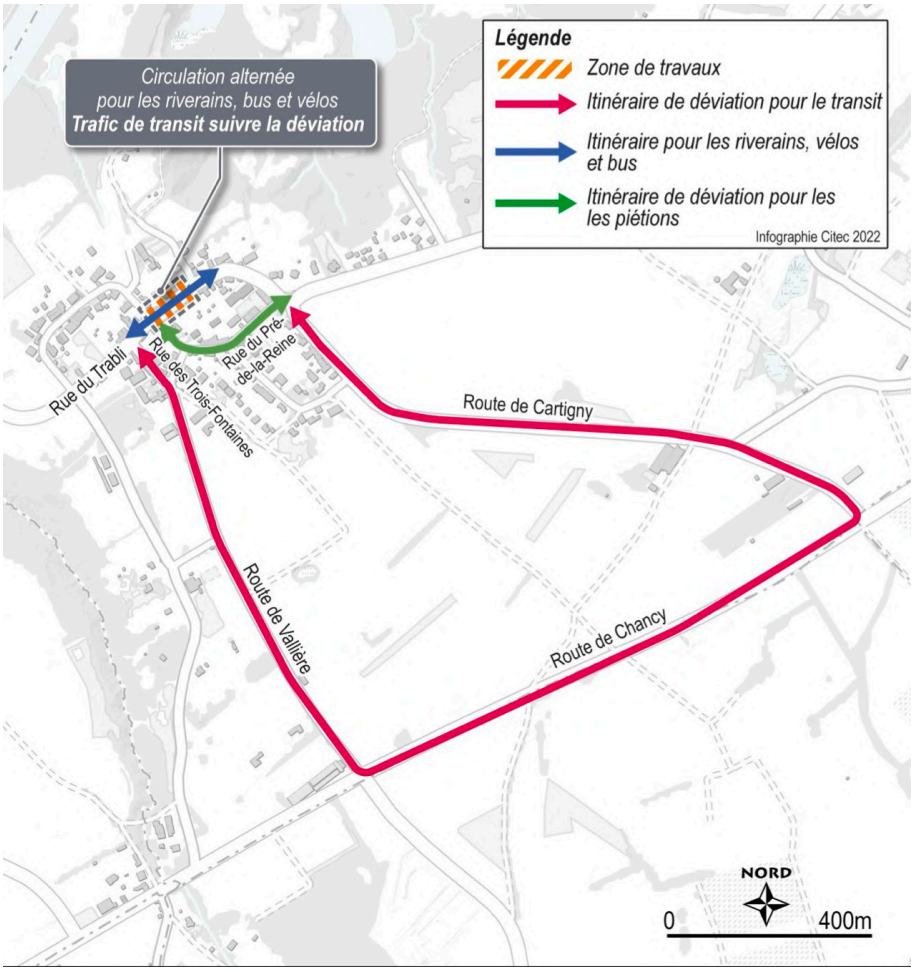


Figure 11 - Plan de circulation du premier chantier - rue du Trabli

Un deuxième chantier a lieu en juillet 2023 au même endroit et peut utiliser l'expérience du premier chantier pour proposer une solution de mobilité adaptée et sécurisée. Cette fois-ci, la ligne de bus et le trafic ne sont pas maintenus sur la route durant toute la durée du chantier, et c'est la principale différence par rapport au premier chantier. Le chantier est planifié en trois étapes. La première étape permet de réaliser les travaux à l'Ouest de la rue, et la circulation sera autorisée sur une voie et sera gérée par un feu de circulation. Le concept de cette première étape se rapproche beaucoup de ce qui avait été fait pour le premier chantier. La deuxième étape a lieu sur un endroit plus étroit de la route, et il n'est donc plus possible de maintenir le trafic. La circulation est donc déviée pendant cette étape, tout comme la ligne de bus. Le passage des piétons est toujours possible. Enfin, les travaux de la troisième étape se situent à l'extrémité Est de la route et ne permettent pas non plus de garantir une largeur suffisante pour maintenir le trafic. Le concept de déviation du trafic utilisé dans l'étape 2 est donc maintenu. La figure 12 illustre la localisation des travaux des trois étapes du chantier.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Figure 12 - Étapes du chantier du Trabli

Les études du deuxième chantier ont lieu exactement dans la durée du Projet de Master, il est donc un excellent cas pratique à observer. Ce chantier se démarque par sa taille modeste. L'étude de ce chantier est donc particulièrement judicieuse car elle permet de développer une méthode d'outil spécifique pour les petits chantiers. En effet, les chantiers de petite taille présentent souvent des défis et des enjeux différents de ceux des grands chantiers, notamment en termes de budget, d'espace disponible, de sécurité et de ressources disponibles.

Une visite de terrain a été réalisée le 23 avril 2023. Le chantier n'avait pas encore commencé, mais le but était de se rendre compte de la réalité du terrain. Le contexte du chantier est donc une route relativement étroite et peu fréquentée. Cartigny étant un petit village de moins de 1000 habitants, les travaux vont avoir lieu dans un cadre de route presque privée. La principale contrainte sera la gestion de la place. Les trottoirs sont également étroits. La figure 13 illustre la situation avec des photos prises pendant la visite de terrain.

Figure 13 - Photos de la visite du 23 avril

3.3. Chantier de la Route des Nations

Contexte du projet

Le canton de Genève est engagé dans deux projets de grande envergure visant à améliorer la fluidité du trafic routier et à réduire la congestion dans la région. Le premier de ces projets, appelé Projet JAG, vise à créer une nouvelle jonction autoroutière de Grand-Saconnex, qui reliera l'autoroute A1 à l'Aéroport international de Genève.

Le deuxième projet est le tunnel de la Route des Nations. C'est un tunnel urbain de plus de 200 mètres de long et il est directement lié au projet JAG. Les travaux ont débuté en 2017 et la partie génie civil touche à son terme en 2023. Ce nouveau tunnel relie la jonction autoroutière de Grand-Saconnex avec le quartier des organisations internationales. Cela devrait permettre une réduction significative de la congestion sur la Route de Colovrex et la Route de Ferney, deux axes majeurs pour les habitants de la région. Les autorités estiment que ces routes pourraient voir leur trafic réduit jusqu'à 40% grâce à la nouvelle jonction.

Le Projet JAG et le tunnel de la Route des Nations représentent des investissements significatifs pour l'avenir de la région, qui devraient répondre aux besoins croissants de ses habitants et de ses visiteurs. La figure 14 résume la situation de la région.

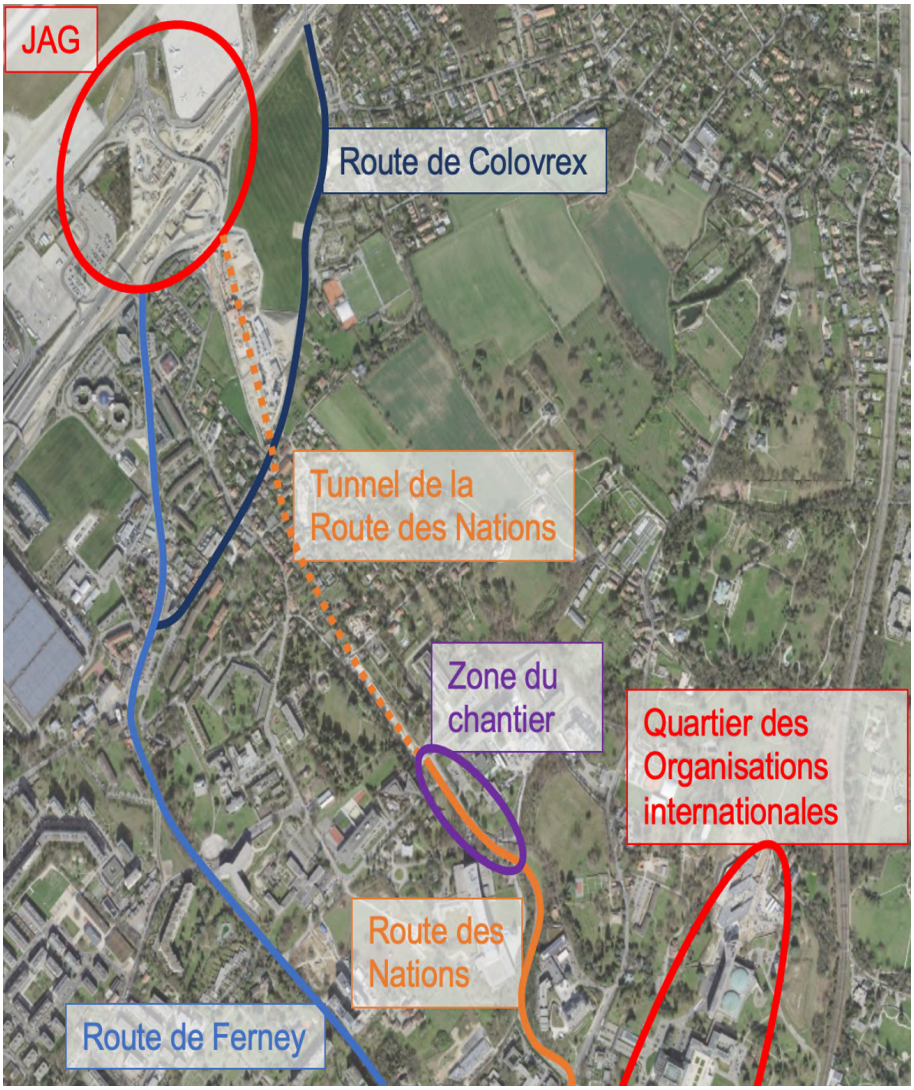


Figure 14 - Situation du chantier

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Chantier étudié

L'entreprise Citec a été mandatée pour s'occuper de la mobilité dans le cadre de ces chantiers. Pour cette étude de cas, ce n'est pas la totalité de cet immense projet qui est étudiée, mais une étape ciblée. L'étape choisie est la pose de l'enrobé de la chaussée au Sud du nouveau tunnel. La figure 15 illustre la localisation du chantier par rapport au projet global. Il se situe sur le carrefour entre l'avenue Appia et la route des Morillons. Cette route est fréquentée et plusieurs bâtiments ont des accès directement dans la zone des futurs travaux, comme le bâtiment de l'Organisation Internationale pour les Migrations (OIM) ou celui de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). La carte de la figure 15 résume la situation.

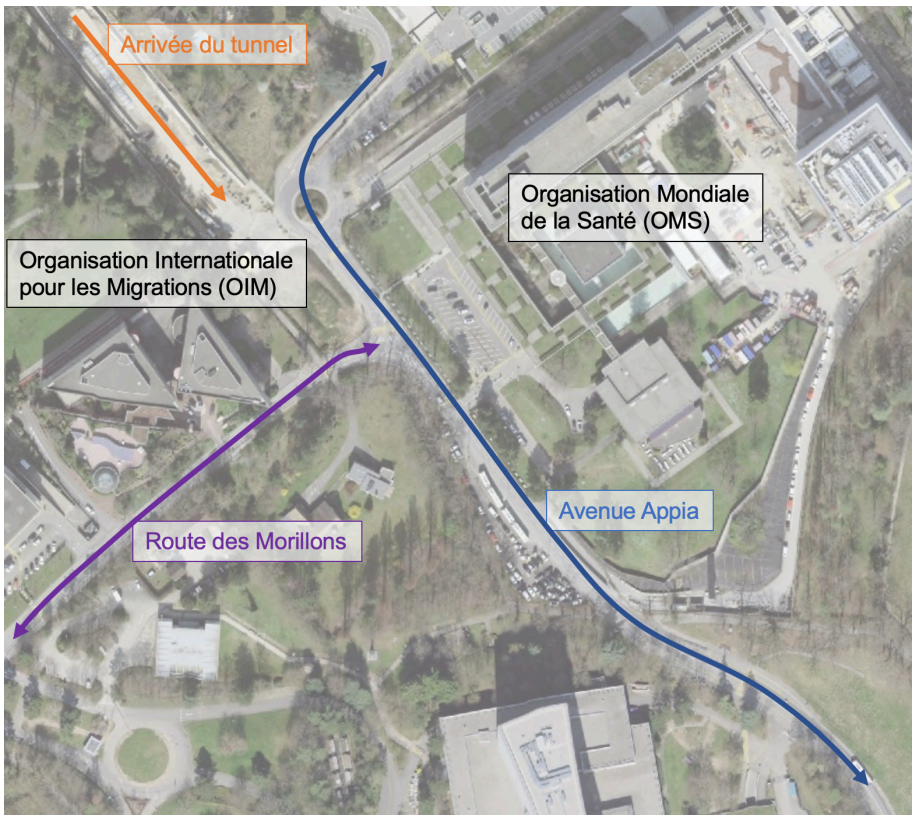


Figure 15 - Situation du chantier de la Route des Nations

Planification du chantier

Il est initialement prévu de réaliser le chantier sur deux week-ends : le 3-4 et le 10-11 juin. La route doit être complètement fermée durant ces deux périodes afin de pouvoir poser l'enrobé neuf. Cependant, il est planifié que le trafic circule à nouveau entre les week-ends. Il faut donc qu'un balisage soit posé pour réguler la circulation entre les deux périodes de travaux. Mais comme le temps de travaux est déjà restreint, le balisage posé doit être réduit au minimum nécessaire. Une contrainte supplémentaire à ce projet est qu'il est impossible de marquer sur des enrobés tout neufs, à l'exception du marquage définitif. L'utilisation de marquage chantier provisoire n'est donc pas possible. La figure 16 résume le calendrier initialement prévu de cette étape du chantier.

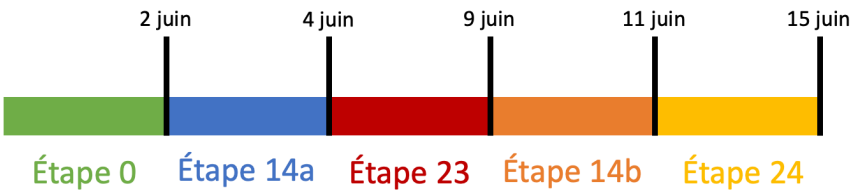


Figure 16 - Calendrier initial du chantier

Le chantier est composé de 5 étapes. L'étape 0 est une situation d'attente. La chaussée est encore trop large et les feux de circulation ne sont pas encore en fonction. La circulation est présente pendant cette étape. Le premier week-end de travaux a lieu pendant l'étape 14a du vendredi 2 au dimanche 4 juin. Il est prévu de poser l'enrobé de la chaussée et de rendre la route à nouveau accessible à la circulation pour l'étape 23 entre les deux week-ends. Le deuxième week-end de travaux est l'étape 14b. La pose de l'enrobé doit être terminée pendant cette étape. Finalement, l'étape 24 est très proche de la situation finale. Tout est fonctionnel sauf le carrefour qui s'enclenche le jeudi 15 juin.

3.4. Chantiers autoroutiers

La quatrième section de ce chapitre présente des chantiers autoroutiers. Comme expliqué précédemment dans ce rapport, il y a des différences majeures entre les chantiers urbains et les chantiers autoroutiers. Une version spécifique de l'outil existe pour chacun de ces deux types de chantier. Il est donc important pour ce projet de pouvoir baser une étude de cas sur des chantiers autoroutiers. Deux chantiers ont été choisis : le chantier de la JAG (Jonction Autoroutière du Grand-Saconnex) et le chantier de l'autoroute A9 Vennes-Chexbres.

Chantier de la JAG

Depuis 2004, le projet JAG (jonction autoroutière du Grand-Saconnex) est en cours de développement sous la supervision du Canton de Genève. Comme expliqué dans la section précédente, ce projet est mené simultanément avec celui de la route des Nations, un tunnel cantonal reliant la JAG au quartier des Organisations Internationales. Les phases d'avant-projet ont confirmé la nécessité de réaménager cette jonction, qui connaît d'importantes fluctuations de trafic conduisant à la saturation des routes cantonales environnantes. La nouvelle conception routière a été réalisée pour gérer le volume de trafic, du moins jusqu'en 2040, qui est l'horizon de planification des projets autoroutiers. La phase d'exécution est en cours, avec la contrainte majeure de maintenir tous les flux de circulation. Cela nécessite près de 300 interventions sur l'autoroute, dont 9 basculements de trafic majeurs.

Le projet présente des caractéristiques remarquables. Un investissement total de 240 millions de francs suisses a été alloué aux études et travaux, ce qui comprend également la construction de 16 ouvrages d'art. Les travaux s'étalent sur une période de 4 ans, pendant lesquels il est estimé qu'environ 180 millions de véhicules transitent par la zone concernée. Dans le cadre de ce projet, trois nouveaux ponts sont construits, dont le premier pont à haubans de Genève, représentant une prouesse technique majeure. Ces caractéristiques témoignent de l'ampleur et de l'importance de ce projet d'infrastructure, qui vise à répondre aux besoins croissants de mobilité dans la région de Genève. Le maître d'ouvrage du projet est l'OFROU.

Dans le cadre du chantier, Citec joue un rôle essentiel en collaboration avec T-ingénierie et Shopfer & Niggli. Les responsabilités de Citec comprennent l'acquisition et le traitement des données, ainsi que la définition des états de trafic de référence.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

En outre, ils sont chargés de générer des plans de charges et de mener des études de trafic approfondies, couvrant le fonctionnement général, les carrefours régulés, ainsi que la planification de la circulation pendant les travaux. Citec assure également le suivi du chantier et exerce la fonction de direction locale des travaux (DLT). Ils jouent un rôle clé dans la coordination précise avec les différents acteurs impliqués dans les manifestations afin d'assurer une bonne gestion de la circulation et des événements.

La figure 17 illustre la future jonction, avec le tunnel des Nations, le nouvel échangeur et le nouveau pont haubané.

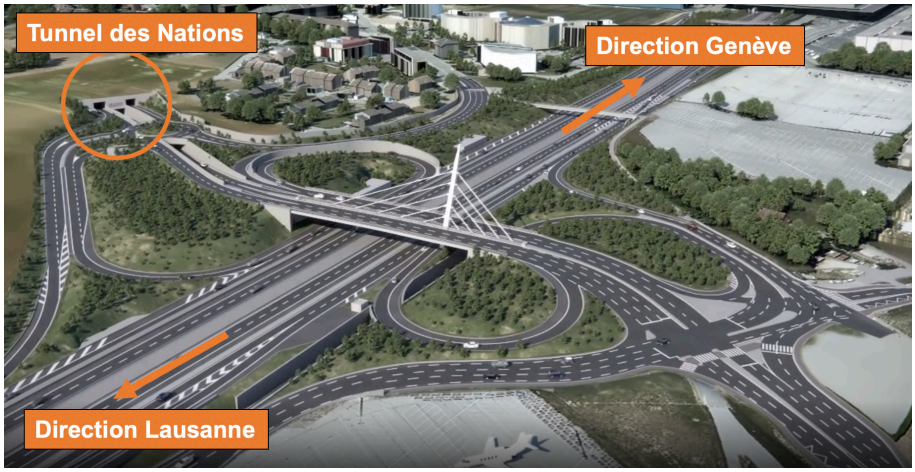


Figure 17 - Futur échangeur du Grand-Saconnex (source : SIA Genève)

Chantier de l'autoroute A9 Vennes-Chexbres

Le tronçon Lausanne-Vevey de l'autoroute A9 a été ouvert en 1974 et est l'un des tronçons les plus fréquentés en Suisse romande. Il se distingue par son intégration dans une topographie complexe et par sa situation dans la zone UNESCO de Lavaux.

Depuis mai 2020, d'importants travaux de rénovation ont été entrepris entre la jonction de Lausanne-Vennes et l'échangeur de La Veyre dans le but d'améliorer la sécurité des usagers et d'assurer le bon fonctionnement de l'autoroute. Le projet Vennes-Chexbres et Environs se compose de deux sous-projets d'assainissement majeurs, coordonnés et complémentaires, qui couvrent un territoire divisé en six secteurs distincts. Chaque secteur fait l'objet d'un chantier séparé et est soumis à un calendrier différent. Ces travaux de réfection globale permettent de restaurer les chaussées, les tunnels et de nombreux ouvrages d'art. Des modifications sont également apportées aux jonctions et aux bretelles pour assurer la fluidité du trafic sur l'autoroute. L'objectif de l'Office fédéral des routes (OFROU) est de remettre en état l'autoroute de manière à éviter toute intervention pendant les 15 à 20 prochaines années d'exploitation. Pendant les travaux d'assainissement, les ouvrages sont également adaptés aux normes environnementales actuellement en vigueur. Afin de limiter les perturbations de la circulation, des mesures ont été prises pour garantir que la route reste à deux voies dans chaque sens pendant toute la durée des travaux. La figure 18 illustre la situation et la division en six secteurs.

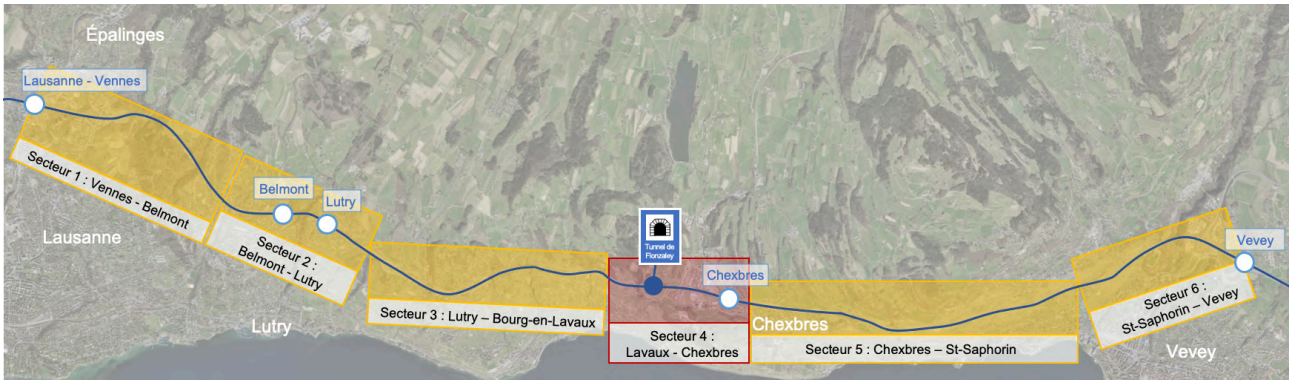


Figure 18 - Localisation du chantier étudié

Le chantier étant de très grande envergure, l'étude réalisée dans ce projet se concentre sur un seul des secteurs : le secteur Bourg-en-Lavaux – Chexbres. Le tronçon en question s'étend sur une distance de 2,960 km et englobe les communes de Bourg-en-Lavaux, Puidoux et Chexbres, incluant la Jonction de Chexbres. Il est caractérisé par la présence de nombreux ouvrages d'art, de murs de soutènement et du tunnel de Flonzaley.

Le chantier s'étendant sur des années, le travail d'analyse ne se porte que sur quelques étapes ciblées : les phases 6.1 et 6.2. Ces étapes ont été planifiées en 2022 pour des travaux prévus en 2023, un planning qui correspond à la période du Projet de Master. Ce chantier n'est pas suivi par Citec, mais par RGR Ingénieurs Conseils, un bureau d'ingénieurs conseils spécialisé dans la mobilité. Les plans de ces étapes ont pu être obtenus par le biais de Monsieur Pucci (Siera).

3.5. Résumé des chantiers

Au total, 5 chantiers ont été traités durant ce Projet de Master. En fonction du timing des travaux et des besoins pour le projet, différentes études ont été réalisées sur ces chantiers. Le tableau de la figure 19 résume les chantiers étudiés en indiquant la date des RSI et des RSA réalisés pour chacun d'entre eux.

Chantier	RSI	RSA
1 – Tram de Lausanne	• 15 mars • 5 avril • 19 avril • 24 mai	• 30 mars
2 – Rue du Trabli		• 3 avril
3 – Route des Nations		• 28 mars
4 – JAG		• 23 mai
5 – Autoroute A9		• 17 mai

Figure 19 - Résumé des chantiers étudiés

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

4. Description de l'outil

Le but de ce chapitre est de faire une description générale de l'outil. Les différentes fonctionnalités vont être présentées sans aller trop en profondeur car cela arrivera dans la suite du rapport avec le guide d'utilisation des chapitres 5, 6 et 8. Le processus d'amélioration de l'outil va également être décrit dans ce chapitre.

4.1. Description générale

Comme mentionné précédemment dans ce rapport, le but de l'outil créé dans ce Projet de Master est de proposer une méthodologie d'application des RSI et des RSA au thème des chantiers routiers. La première chose à souligner est qu'il existe une version différente de l'outil pour les chantiers autoroutiers et pour les chantiers routiers ou urbains. La justification de ce choix a été donnée précédemment dans ce rapport (chapitre 2). Pour chaque type de chantier, il existe un outil pour trois étapes de l'analyse d'un chantier. Voici ces trois étapes :

- Road Safety Audit (RSA)
- Relevé des points critiques
- Road Safety Inspection (RSI)

L'étape du RSA permet à l'utilisateur de vérifier que le projet ne comporte pas de déficits en fin de phase de planification, avant le début du chantier. Le relevé des points critiques se fait également avant la mise en place du chantier et a pour but de relever les endroits du chantier qui ont le plus de probabilité d'avoir un déficit à l'avenir. C'est en réalité une étape préparatoire à un futur RSI qui pourra être fait après le début du chantier. Enfin, le RSI se fait une fois que le chantier est lancé. Le but est de relever des déficits de sécurité sur place pour pouvoir les corriger rapidement. Il est évidemment possible de réaliser plusieurs RSI sur le même chantier si ce dernier s'étend dans le temps.

Pour chacune de ces étapes, l'outil comporte deux parties pour aider l'utilisateur à travailler. La première partie est un système d'aide à l'analyse des chantiers. Dans cette partie, l'outil prend la forme de listes représentées sous forme de tableaux. Ces listes sont des thèmes de sécurité à vérifier dans le cadre d'un RSA, ou des potentiels déficits à relever dans le cadre d'un RSI. Elles seront présentées plus en détail dans le chapitre 5. Il est à noter que la base de ces tableaux a été réalisée durant la pré-étude, mais que des améliorations ont été amenées durant toute la durée du Projet de Master.

La deuxième partie de l'outil est un système d'aide au traitement des données récoltées. Après avoir relevé des déficits de sécurité, l'étape suivante pour l'utilisateur est de reporter ces résultats dans un rapport. Pour cela, des outils de semi-automatisation permettent de réaliser cette étape rapidement. Des documents Excel, Word et PowerPoint utilisant des macros ont été créés et un guide de leur utilisation est présent plus tard dans ce rapport (chapitre 6).

Pour l'étape des RSI, il existe en réalité une troisième partie de l'outil : un système de notation des chantiers. Le but de ce système est de donner une note à un chantier qui permet d'évaluer le niveau de sécurité de ce dernier en se basant sur les résultats d'un RSI. Cette note aura par la suite une valeur de comparaison dans le cas où d'autres RSI seraient réalisés plus tard sur le même chantier. Cela permet à l'ingénieur d'avoir un contrôle sur l'évolution du niveau de sécurité sur le chantier qu'il est en train de suivre. Le chapitre 8 traitera plus en profondeur de cet outil de notation.

En plus des fonctionnalités présentées ci-dessus, d'autres créations ont été réalisées dans le but d'aider l'utilisateur à réaliser son travail. Tout d'abord, un guide des panneaux permet à l'utilisateur d'avoir une petite liste des panneaux qui doivent se

trouver sur un chantier, ainsi que la localisation prévue. Ce guide peut être utilisé en parallèle de la réalisation d'un RSA ou d'un RSI. Il en existe deux versions : une pour les chantiers routiers et une pour les chantiers autoroutiers. Ensuite, une version des outils d'analyse des chantiers a été créée en version allégée afin d'être adaptée au cas des chantiers de petite envergure. Finalement, un catalogue de mesures permet à l'utilisateur d'obtenir des propositions de corrections pour chaque déficit relevé dans un RSI.

La figure 20 résume les différentes parties et fonctionnalités de l'outil.

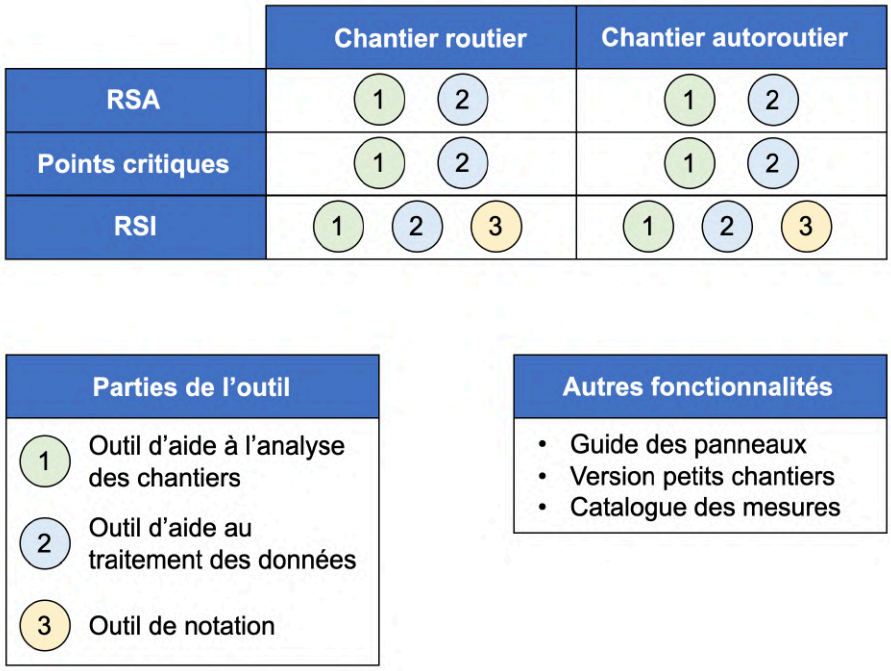


Figure 20 - Structure de l'outil

La figure 21 illustre maintenant la chronologie des différentes étapes de l'outil sur la durée d'un chantier. Comme expliqué précédemment, la première étape à réaliser est le RSA, en fin d'élaboration du projet. Directement après cela, le relevé des points critiques du chantier peut être fait avant la mise en place du chantier (ou de l'étape de chantier dans le cas d'un gros chantier). Ensuite, le chantier commence. Et après cela, l'ingénieur peut réaliser un ou plusieurs RSI afin d'assurer un niveau de sécurité suffisant durant la période du chantier. En parallèle de ces RSI, une analyse de l'évolution de la sécurité peut être faite grâce à l'outil de notation.

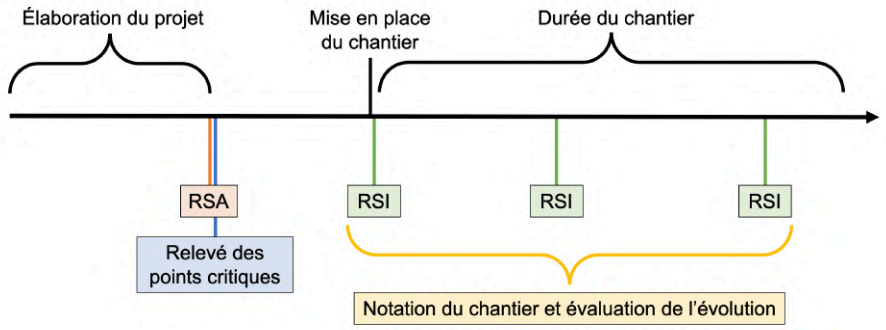


Figure 21 - Étapes de l'outil

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

4.2. Processus d'amélioration de l'outil

Tout au long du projet, l'outil a subi de nombreuses évolutions, passant de la première version développée pendant la pré-étude à la version finale présentée dans ce rapport. De nombreuses modifications ont été apportées pour améliorer l'outil et mieux répondre aux différents besoins. Cette section a pour but d'expliquer les principales modifications apportées à l'outil, leur origine et leur justification.

Amélioration du concept

Au cours du projet, le concept initial de l'outil a connu une évolution significative. Dans la phase de pré-étude, seule la partie concernant le système d'aide à l'analyse des chantiers avait été envisagée, avec tout le concept de l'outil centré autour de cette fonctionnalité. Les deux autres parties (système d'aide au traitement des données récoltées et système de notation des chantiers) ont été imaginées, développées et finalisées plus tard dans le projet.

L'origine de ces nouvelles idées vient d'une chose : les études de cas. La principale différence entre la pré-étude et le projet en entreprise est la présence d'études de chantiers réels durant la deuxième partie. Le but de ces chantiers était de pouvoir obtenir une information concrète sur les réels besoins, et ainsi d'adapter l'outil à cela. Il est par exemple apparu que les résultats d'un RSI réalisé sur un chantier doivent être publiés rapidement car il est parfois nécessaire de réaliser des changements sans délais. La création d'un outil d'aide au traitement des données récoltées a donc été faite dans le but d'accélérer le processus.

En réalisant un RSA, il est devenu évident que certains points sur un chantier peuvent être potentiellement dangereux, sans être nécessairement des erreurs dans la conception. Toutefois, il est important de les surveiller étroitement pour éviter tout risque futur. Il n'était pas possible de les classer comme des déficits lors d'un RSA, d'où l'idée de créer une troisième étape dans le processus, à savoir la collecte de points critiques, placée entre le RSA et le RSI.

Enfin, diverses modifications mineures ont été apportées aux outils tout au long du projet. Des ajustements ont été effectués au niveau des phrases, des codes ont été optimisés et les mises en page ont été retravaillées. L'utilisation de l'outil en situation réelle a permis de mettre en lumière de nombreux défauts, ce qui a engendré de multiples améliorations.

RSA

Une tentative de réalisation d'un RSA sur le chantier de la Route des Nations a été effectuée en début de projet. Le but était de tester l'outil d'aide à l'analyse des chantiers développé dans la pré-étude. Cependant, contrairement à la version pour les RSI, il est apparu que la version initiale pour les RSA ne fonctionnait pas. Plusieurs problèmes dans l'outil ont pu être identifiés.

Tout d'abord, plusieurs éléments à vérifier dans la première version de l'outil RSA n'étaient pas pertinents. Certains éléments ne figurent tout simplement pas sur les plans, comme les lampes de chantier ou les accès à la zone de travaux (pour les chantiers routiers). D'autres éléments sont difficilement vérifiables juste avec des plans. Par exemple, la visibilité des routes secondaires est un élément important, mais il est difficile de vérifier le bon fonctionnement en regardant uniquement un plan. Il faut être sur place pour s'en rendre compte.

Ensuite, le concept même de l'outil RSA initial n'était pas pertinent. La plupart des déficits relevés dans les RSI viennent soit de situations particulières qui ne se reflètent pas sur les plans, soit de choix faits sur le terrain qui ne respectent pas les plans prévus. La cause de ces déficits est souvent un manque d'attention ou un manque de connaissances de certains éléments de sécurité de la part de l'entreprise de

construction. Il y a donc régulièrement des déficits à relever et à corriger. Dans le cadre d'un RSA, l'analyse est faite avant la mise en place du chantier et c'est directement le travail de l'ingénieur qui est traité. Mais en réalisant ses plans, l'ingénieur a déjà la sécurité en tête et il fait ses choix en fonction de cela. Il y aura donc très rarement des déficits de sécurité présents sur les plans de l'ingénieur, et lorsque c'est le cas, il s'agit souvent d'un compromis fait par l'ingénieur par rapport aux contraintes de la situation. La recherche de déficits faite avec la première version de l'outil ne semblait donc pas adéquate.

À la suite de cette expérience, le concept de l'outil a été modifié avec une nouvelle manière de faire. Le but n'est plus de rechercher des déficits. Désormais, il faut vérifier que les points les plus importants soient correctement traités. Il ne faut donc plus chercher ce qui ne va pas, mais vérifier que tout est bon. Cela se rapproche donc plus à la manière de faire présentée dans la norme SN 641 723. L'utilisation de cet outil est toujours prévue à la fin de la création des plans afin de vérifier que le projet est complet.

RSI

La réalisation d'un RSI sur le chantier du tram en début de projet a permis de relever un gros problème dans la structure de l'outil d'aide à l'analyse des chantiers. La première version de l'outil proposait une liste de thèmes sous forme de tableaux. Chaque thème contenait plusieurs éléments à vérifier. Au total, le tableau des thèmes de déficit faisait 4 pages A4 avec 57 éléments pour les chantiers routiers. Mais sur le terrain, il était impossible de bien observer la situation tout en parcourant tous ces éléments. Il fallait donc modifier l'outil pour en faire quelque chose de plus concis. Le but est que la liste des éléments à vérifier tienne sur une seule page.

Le concept du tableau a donc été modifié. Le tableau a été transformé en deux documents. Le premier est une liste des thèmes de déficits présentés par famille. Cette liste est beaucoup plus concise et tient sur une page A4. Il n'y a que 21 éléments (19 pour les chantiers autoroutiers) présents sur cette page et le nombre de mots est limité. Le but est de n'avoir que les éléments indispensables présents sur cette page. Le deuxième document est la liste complète de tous les éléments que l'ingénieur doit avoir en tête, qui ressemble beaucoup au tableau de la première version de l'outil. Il est donc prévu que l'utilisateur relise cette deuxième partie avant le début de l'inspection afin d'avoir tous les éléments en tête, mais qu'il ne garde sous les yeux pour l'inspection que la première partie qui est bien plus concise. La figure 22 illustre l'évolution dans le concept de l'outil d'analyse RSI, pour la version des chantiers routiers.

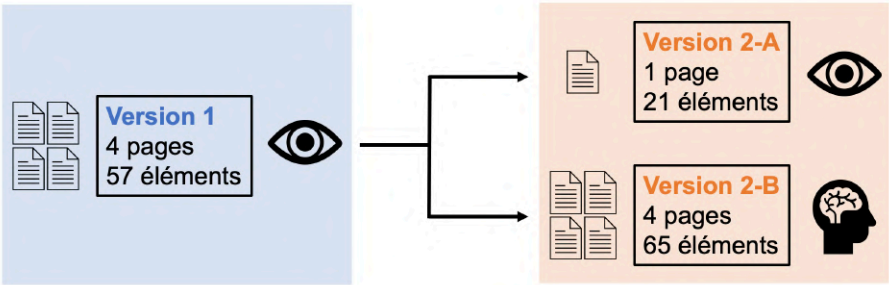


Figure 22 - Évolution du concept de l'outil RSI

Quelques autres problèmes ont également été repérés durant ce RSI, et ont pu être corrigés. Premièrement, pour diminuer la longueur du document, certains thèmes ont été regroupés entre eux. Deuxièmement, certains déficits pouvaient correspondre à plusieurs thèmes différents. Il était donc important de fixer cela pour éviter des

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

problèmes de confusion. Par exemple, les problèmes de garantie de capacité pouvaient tout à fait être placés dans les thèmes des passages piétons ou des feux de circulation. Enfin, certains déficits repérés dans ce RSI ont permis d'ajouter des nouveaux éléments à vérifier qui n'avaient pas été imaginés au préalable. La visibilité des accès secondaires depuis la route principale est un exemple de nouvel élément ajouté.

La réalisation de plusieurs RSI a également offert l'opportunité de concevoir des outils annexes afin de faciliter la réalisation des études. D'abord, un catalogue des mesures envisageables a été créé en fonction des différents déficits identifiés lors des RSI, avec une indication du niveau de difficulté de chaque mesure. Ensuite, un document spécifique a été créé pour recenser les panneaux à vérifier, avec les numéros du TCS correspondants. Ces idées sont arrivées en réalisant les premiers RSI durant les études de cas, car ces dernières faisaient apparaître des besoins qui pouvaient difficilement être imaginés dans un cadre théorique.

5. Partie 1 de l'outil : analyse des chantiers

L'objectif de ce chapitre est de décrire la première partie de l'outil, qui est le système d'aide à l'analyse des chantiers. Des listes ainsi que des tableaux à remplir ont été créés dans le but de guider l'utilisateur dans ce processus d'analyse. Des instructions seront fournies pour faciliter la compréhension de ces documents. Il existe différentes versions de cet outil, dont une pour guider la réalisation d'un RSA et une autre pour réaliser un RSI. De plus, des petits outils tels que le guide des panneaux, la check-list des petits chantiers et le catalogue de mesures sont également inclus pour faciliter le processus, et ils seront présentés dans ce chapitre.

5.1. Outil RSA

Cette section a pour but de décrire l'outil d'aide à l'analyse des chantiers pour l'étape du RSA. L'outil est très simple pour cette étape. Il ne consiste qu'en un seul tableau de 16 éléments pour les routes et 17 éléments pour les autoroutes. Le concept de ce tableau ainsi que son contenu seront présentés dans cette section.

Le but de ce tableau est extrêmement simple : proposer à l'utilisateur une liste d'éléments à vérifier à la fin de la réalisation des plans d'un chantier. Ces éléments sont basés sur les normes de sécurité et également sur l'expérience pratique apportée par les études de cas réalisées dans ce Projet de Master. Ils ont été choisis car ils sont susceptibles de contenir un déficit de sécurité dans le projet. La méthode proposée à l'utilisateur est la suivante. Premièrement, il faut réaliser le projet, c'est à dire planifier le chantier et créer les plans. Lorsque ces derniers sont terminés, l'utilisateur peut donc utiliser l'outil pour réaliser un RSA. Le but est de parcourir le tableau élément après élément et de vérifier s'il n'y a pas un déficit dans le concept du chantier. S'il y en a un, il faut le relever. Le but du tableau est donc d'assurer que tous les éléments importants soient vérifiés et qu'il n'y ait pas d'oubli.

Chaque élément présent dans les tableaux de l'outil est accompagné d'une deuxième colonne qui contient une description détaillée de l'élément en question. Cette description fournit des informations sur la manière dont l'élément doit être pour être conforme. La figure 23 présente la liste des éléments inclus dans les tableaux pour les versions route et autoroute de l'outil.

Chantiers routiers	Chantiers autoroutiers
• Périmètres du chantier	• Périmètres du chantier
• Largeurs des voies	• Largeurs des voies
• Barrières de sécurité et balises	• Balises et dispositifs de retenue
• Collisions frontales	• Collisions frontales
• Niches d'évacuation	• Niches d'évacuation
• Gestion du trafic	• Tracé des voies de circulation
• Panneaux de signalisation	• Panneaux de signalisation
• Marquage au sol	• Marquage au sol
• Masquage des éléments non pertinents	• Masquage des éléments non pertinents
• Feux de circulation	• Éclairage
• Guidage des piétons	• Limitations de vitesse
• Circulation de nuit	• Circulation de nuit
• Phasage du chantier	• Phasage du chantier
• Riverains	• Kilométrage
• Lignes de bus	• Accès aux zones de travaux
• Gestion des cyclistes	• Tunnels
	• Bandes de ralentissement

Figure 23 - Liste des éléments de l'outil pour les RSA

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Le nombre raisonnable d'éléments de ces listes (16 éléments pour les routes et 17 éléments pour les autoroutes) permet de réaliser efficacement un RSA et de corriger rapidement les éventuels déficits constatés. Une fois que les déficits ont été relevés et tous les éléments ont été vérifiés, la prochaine étape consiste à traiter ces données pour générer un rapport. Cette étape sera expliquée en détail dans le chapitre 6 de ce rapport.

5.2. Outil RSI

La deuxième section de ce rapport traite de l'outil d'aide à l'analyse des chantiers spécifique aux RSI. Contrairement à l'outil pour les RSA, celui-ci est un peu plus complexe, car il comprend non pas un, mais deux documents. Cette section présentera le concept de ces documents ainsi que leur contenu.

Comme mentionné dans le chapitre 4, l'outil RSI se compose de deux documents : une fiche de relevé et un tableau répertoriant les éléments à vérifier. La manière d'utilisation de ces deux documents va être expliquée ci-dessous. Tout d'abord, avant de réaliser un RSI, l'utilisateur doit consulter le tableau des éléments pour prendre connaissance des types de déficits qu'il pourrait relever. Ce tableau est organisé par thème, classé en quatre familles : visibilité, équipements et sécurité, guidage des usagers et organisation générale. Étant donné la taille de ce tableau (plus de 60 éléments répartis sur 4 pages A4), il est conçu pour être consulté avant et après la visite sur le terrain, et non pendant. Le choix des éléments constituant le tableau n'a pas été fait au hasard. L'objectif de ces thèmes est de couvrir l'ensemble des déficits les plus courants sur un chantier et les plus susceptibles de générer un accident. Pour atteindre ce but, le processus de sélection a été fait en deux temps. D'abord, une première liste de thèmes a été créée en se basant sur les normes VSS servant de base à ce projet. Cette liste était très théorique et a principalement été créée durant la pré-étude. Elle avait cependant un problème majeur : le manque de considération de la pratique. Pour remédier à cela, la réalisation des études de cas a été centrale. En effet, chaque chantier analysé a permis de découvrir des nouveaux thèmes de déficits ou de supprimer des thèmes non-pertinents. Ces listes d'éléments ont donc été créées sur le long terme, dans un processus mélangeant la théorie des normes à la pratique des études de cas.

Après avoir consulté ce tableau, l'utilisateur peut commencer la visite sur le terrain en utilisant l'autre document : la fiche de relevé. Cette fiche, qui tient sur une feuille A4, présente la liste des thèmes de classification des déficits à relever. Elle permet à l'utilisateur de noter facilement les déficits relevés tout en ayant la liste des thèmes sous les yeux durant la visite. La figure 24 présente un exemple de la fiche de relevé pour un chantier routier, remplie fictivement.

RSI chantiers routes - Feuille à remplir

Numéro d'affaire : PDM
Nom du chantier : Tram de Lausanne
Nom de l'ingénieur : Bastien Mury
Date : 9 mai 2023
Météo : Couverte

Famille 1 - Visibilité	
Thème	Numéro de déficit
Eclairage	1, 5, 9
Lisibilité	
Obstacles latéraux	
Accès secondaires	

Famille 2 - Équipements et sécurité	
Thème	Numéro de déficit
Largeurs des voies	8
Éléments de sécurisation	3, 10
Tracé de la chaussée	
Dégradations	
Ouvriers	
Plaques de chantier	12

Famille 3 - Guidage des usagers	
Thème	Numéro de déficit
Signalisation	2
Marquage au sol	
Feux de circulation	
Passages piétons	7, 11
Personnes à mobilité réduite	
Déroulement du trafic	
Bus	4
Circulation de nuit	

Famille 4 - Organisation générale	
Thème	Numéro de déficit
Phasage du chantier	
Objectifs généraux	
Conformité	6

Figure 24 - Exemple de la fiche de relevé des RSI (version route)

La fiche de relevé contient une liste de 21 thèmes pour la version route et de 19 thèmes pour la version autoroutes. Ces thèmes sont répartis dans les 4 familles évoquées précédemment. Pour chaque thème, une colonne intitulée "Numéro de déficit" permet à l'utilisateur de noter le numéro correspondant à chaque déficit relevé dans la case appropriée. Il est fortement recommandé de prendre une photo de chaque déficit relevé. Cette photo remplit deux objectifs. Tout d'abord, elle permettra à l'ingénieur de se remémorer le déficit identifié une fois de retour au bureau, car très peu d'informations sont notées directement à la main sur la fiche de relevé. Ensuite, la photo pourra être incluse dans le rapport final. Cette étape sera abordée plus en détail dans le chapitre 6 de ce rapport. Dans l'exemple fictif mentionné ci-dessus, 12 déficits ont été identifiés.

Le tableau des éléments à vérifier est, comme expliqué précédemment, beaucoup plus conséquent que la fiche de relevé. Il contient 65 éléments pour les routes et 50 pour les autoroutes, répartis chaque fois sur 4 pages A4. La figure 25 résume la liste des thèmes avec pour chacun, le nombre d'éléments.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Chantiers routiers	Chantiers autoroutiers
• Éclairage (3 éléments) • Lisibilité (4 éléments) • Obstacles latéraux (2 éléments) • Accès secondaires (3 éléments)	• Éclairage (4 éléments) • Lisibilité (3 éléments) • Obstacles latéraux (2 éléments) • Affiches (2 éléments)
• Largeurs des voies (6 éléments) • Eléments de sécurisation (6 éléments) • Tracé de la chaussée (3 éléments) • Dégradations (2 éléments) • Ouvriers (2 éléments) • Plaques de chantier (1 élément)	• Largeurs des voies (1 élément) • Eléments de sécurisation (6 éléments) • Tracé des voies de circulation (3 éléments) • Dégradations (2 éléments) • Ouvriers (2 éléments) • Tunnels (4 éléments)
• Signalisation (3 éléments) • Marquage au sol (5 éléments) • Feux de circulation (3 éléments) • Passages piétons (6 éléments) • Personnes à mobilité réduite (1 élément) • Déroulement du trafic (6 éléments) • Bus (2 éléments) • Circulation de nuit (3 éléments)	• Signalisation (4 éléments) • Marquage au sol (3 éléments) • Déroulement du trafic (3 éléments) • Suppression de voie (3 éléments) • Accès aux zones de travaux (2 éléments) • Circulation de nuit (3 éléments)
• Phasage du chantier (1 élément) • Objectifs généraux (2 éléments) • Conformité (1 élément)	• Phasage du chantier (1 élément) • Objectifs généraux (2 éléments) • Conformité (1 élément)

Figure 25 - Liste des éléments de l'outil pour les RSI

Il est important de souligner que dans le document, il ne s'agit pas d'une simple liste comme présenté précédemment. Les éléments sont accompagnés de phrases et d'éléments normatifs afin de guider l'utilisateur de la manière la plus claire possible.

La dernière étape du relevé des déficits implique leur description. Pour ce faire, deux actions sont nécessaires. Tout d'abord, il est essentiel de proposer une mesure corrective pour chaque déficit identifié. À cet effet, l'ingénieur doit tirer parti de son expérience pour concevoir la meilleure solution qui permettra une correction efficace tout en minimisant les contraintes. Pour faciliter cette tâche, un catalogue de mesures de correction a été élaboré et sera présenté dans la section suivante. Ensuite, il est crucial d'évaluer la gravité des déficits. Cette évaluation permet de déterminer le niveau de risque d'accident associé à chaque déficit. Pour ce faire, il est recommandé de prendre en compte deux facteurs : la probabilité qu'un déficit entraîne un accident et la gravité anticipée de cet accident s'il se produit. La combinaison de ces deux facteurs permet d'évaluer le déficit. La figure 26 illustre de manière schématique cette démarche.

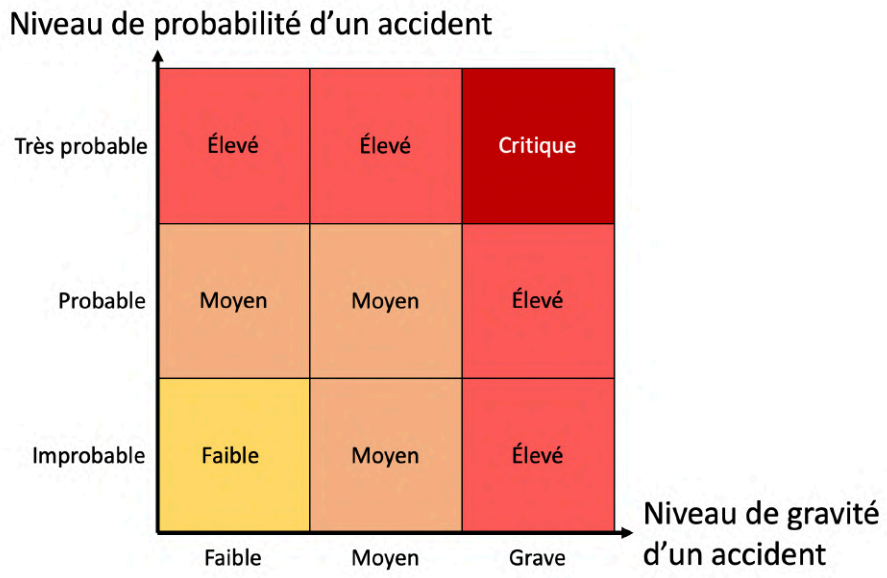


Figure 26 - Critères d'évaluation d'un déficit

5.3. Autres outils

La dernière section de ce chapitre traite des parties annexes de l'outil d'aide à l'analyse des chantiers. Ces parties sont des aides qui permettent à l'utilisateur de gagner du temps ou d'augmenter la qualité de ses analyses. Quatre outils vont être présentés : le relevé des points critiques, la check-list des petits chantiers, le guide des panneaux et le catalogue de mesures.

Points critiques

Le premier outil annexe présenté est le relevé des points critiques. Le concept est le suivant. Lors d'un RSA, le but est de vérifier que tout est conforme et de relever des éventuels déficits sur la base des plans du chantier. Mais parfois, certaines situations peuvent générer un danger sans pour autant être un déficit. Ces endroits sont appelés les points critiques. Le but de cet outil est de réaliser un relevé des points critiques d'un chantier juste après avoir réalisé un RSA. La liste des points critiques permettra de réaliser une surveillance particulière sur ces endroits lors de la mise en place du chantier, ou lors de la réalisation d'un futur RSI.

Le document permettant d'accompagner l'utilisateur lors du relevé des points critiques est un tableau. Ce tableau contient une liste de types de points critiques possibles. Pour chacun d'entre eux, une description des dangers assimilés à ce type d'endroit sur le chantier est présente dans le tableau. Il y a 8 types de points critiques pour les chantiers routiers, et 6 pour les chantiers autoroutiers. La figure 27 résume ces types de points critiques.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Chantiers routiers	Chantiers autoroutiers
• Accès secondaires • Rétrécissements ponctuels • Lieux de transition entre système permanant et temporaire • Déviations • Feux de circulation • Passages piétons • Chemins des piétons • Arrêt de bus	• Entrées et sorties existantes • Passages en terre-plein central • Lieux de transition entre système permanant et temporaire • Déplacements latéraux • Amortisseurs de choc • Feux de circulation

Figure 27 - Liste des éléments de l'outil pour les points critiques

Petits chantiers

Le deuxième outil annexe présenté ici est la check-list des petits chantiers. À la suite de la réalisation d'une étude de cas sur un chantier de faible envergure, il s'est avéré que l'outil original n'est pas tout à fait adapté à ce cas-là. En effet, les petits chantiers ont souvent des délais plus courts et des budgets plus restreints. Pour réaliser des RSA ou des RSI, l'existence d'une version allégée du processus est nécessaire afin d'obtenir des résultats rapides.

La création d'une version allégée de l'outil de vérification de la sécurité des chantiers routiers a donc été faite dans le but de faciliter et d'accélérer son utilisation. Pour y parvenir, une check-list de 10 points clés à vérifier a été établie pour permettre une évaluation rapide et efficace de la sécurité du chantier. Il convient de noter que cette version allégée de l'outil de vérification ne s'applique qu'aux chantiers routiers urbains, car les chantiers autoroutiers de petite envergure n'existent pas. De plus, il existe deux versions distinctes de l'outil pour les RSI et les RSA, qui sont très similaires mais présentent quelques différences.

Les check-lists contiennent donc 10 points essentiels à vérifier pour un RSA ou un RSI. Ces points ont été sélectionnés en raison de leur probabilité élevée de présenter des déficits, ainsi que de l'impact potentiellement considérable que ces déficits pourraient avoir. Dans le document, chaque point à vérifier est accompagné d'une brève description de ce qui doit être contrôlé. La figure 28 résume les 10 points essentiels pour les RSA et les RSI.

RSA	RSI
• Situation du chantier • Largeur des voies • Guidage des véhicules • Guidage des piétons • Barrières de sécurité • Gestion des priorités • Riverains • Masquage des éléments non pertinents • Bus • Cyclistes	• Visibilité • Largeur des voies • Guidage des véhicules • Guidage des piétons • Barrières de sécurité • Gestion des priorités • Riverains • Masquage des éléments non pertinents • Bus • Cyclistes

Figure 28 - Liste des éléments de l'outil pour les petits chantiers

Guide des panneaux

Le troisième outil annexe est le guide des panneaux. Il s'agit d'un document récapitulant les principaux panneaux à vérifier dans le cadre d'un RSA ou d'un RSI. Ce document est utilisé en complément de l'outil principal et permet à l'utilisateur de gagner du temps en évitant de consulter les normes. Il comprend 8 panneaux couramment présents sur les chantiers routiers et 7 panneaux pour les chantiers autoroutiers. Pour chaque panneau, le document fournit des informations sur son emplacement prévu. Le document inclut également la classification selon le numéro TCS ainsi qu'une image. La figure 29 illustre le guide des panneaux pour les chantiers routiers.

Panneau	Localisation	Classification	Image
Travaux	Au début de la zone de chantier.	1.14	
Passage piéton	Aux extrémités d'un passage piéton.	4.11	
Chemin piétons	Au départ d'un chemin piéton.	2.61	
Accès interdit piétons	Devant un ancien accès piéton désormais interdit.	2.15	
Contournement d'obstacle	Devant un obstacle.	2.34, 2.35	
Interdiction d'obliquer	Lorsqu'une interdiction de tourner dans une direction existe.	2.42, 2.43	
Interdiction de circuler	Devant une voie de circulation fermée.	2.01	
Déviation	Lorsque l'itinéraire jusqu'à une destination est dévié.	4.34	

Figure 29 - Guide des panneaux à vérifier sur un chantier routier

Catalogue de mesures de correction

Le quatrième outil annexe est le catalogue de mesures de correction. Le but de cet outil est d'accompagner l'utilisateur dans sa recherche de mesures visant à corriger les déficits de sécurité relevés dans un RSI. Pour faire cela, deux documents ont été créés : un pour les chantiers routiers et un pour les chantiers autoroutiers. Ces documents sont composés de la liste des thèmes de déficits et pour chacun d'entre eux, des propositions de mesures sont listées. Chaque mesure est accompagnée d'un niveau (facile, moyen, difficile) servant d'indication sur le niveau de difficulté de la mise en place de cette mesure. Les catalogues contiennent 71 mesures pour la version route et 60 mesures pour la version autoroute.

5.4. Résumé des documents

La première parie de l'outil consacrée à l'analyse des chantiers comporte beaucoup de parties et possède donc beaucoup de documents. Afin de s'y retrouver, tous ces documents sont listés dans la figure 30. Il est important de souligner que tous ces documents sont des fichiers PDF. Le tableau précise également s'il existe une version autoroutière des documents.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

	Version Routes	Version Autoroutes
RSA	✓	✓
RSA – petit chantier	✓	
RSI	✓	✓
RSI - relevé	✓	✓
RSI – petit chantier	✓	
Points critiques	✓	✓
Guide panneaux	✓	✓
Catalogue mesures	✓	✓

Figure 30 - Liste des documents de la partie 1 de l'outil

6. Partie 2 de l'outil : traitement des données

Ce chapitre a pour but de décrire la deuxième partie de l'outil : le système d'aide au traitement des données récoltées. Des documents Excel, Word et PowerPoint, dotés de macros, ont été élaborés pour faciliter ce processus, et des guides d'utilisation seront présentés pour en faciliter la compréhension.

Des marches à suivre et des documents spécifiques existent pour chaque étape de l'outil. Le but de ce chapitre est de donner un guide d'utilisation qui permettra à tout utilisateur de prendre en main rapidement le traitement des données. Le premier guide sera celui de la version RSA. Il sera suivi par le guide de la version Points critiques, puis enfin de la version RSI. Pour finir, deux derniers guides expliqueront la marche à suivre pour exporter les coordonnées des points depuis QGIS, et pour créer des cartes en ligne avec ArcGIS.

6.1. Résumé des documents

Avant toute chose, il est utile de lister les différents documents constituant l'outil de traitement des données. Il n'y a que trois logiciels à posséder pour pouvoir utiliser la totalité des fonctions centrales : Word, Excel et PowerPoint. Les documents ont été améliorés et automatisés à l'aide de macros. Il n'est cependant pas nécessaire de maitriser les macros pour pouvoir utiliser correctement l'outil. L'utilisation des logiciels QGIS et ArcGIS permettent d'aller plus loin dans la présentation des résultats, mais ne sont pas absolument nécessaires. Les différents documents sont résumés dans le tableau de la figure 31.

	Excel	Word	PowerPoint
RSA	R_Tableau_RSA.xlsm (routes) A_Tableau_RSA.xlsm (autoroutes)	Outil_Rapport.docm	Creation_Cartes.pptm
Points critiques	R_Tableau_PtCrit.xlsm (routes) A_Tableau_PtCrit.xlsm (autoroutes)		
RSI	R_Tableau_RSI.xlsm (routes) A_Tableau_RSI.xlsm (autoroutes)		

Figure 31 - Liste des documents de la partie 2 de l'outil

La présentation de chacun de ces documents sera faite en détail dans les sections suivantes. Il est important ici de remarquer qu'il existe six documents Excel différents, un pour chaque étape du processus (RSA, points critiques et RSI) et pour chaque type de chantier (routier et autoroutier). À l'inverse, il n'existe qu'une seule version des documents Word et PowerPoint qui est valable pour toutes les étapes et tous les chantiers.

6.2. Activation des macros

Avant de commencer le processus de traitement des données, la première chose à faire est d'activer les macros présentes dans les documents. Cette manipulation ne doit être faite que lors de la première utilisation sur un ordinateur. Le but est de faire apparaître des boutons permettant par la suite d'activer les codes des macros.

Sur les documents Excel, il n'y a rien à faire. Les boutons sont déjà créés et présents sur les pages du document.

Sur Word, il y a quatre boutons à créer. Pour cela, il faut d'abord cliquer sur le petit triangle à gauche de l'en-tête (1). Il faut ensuite sélectionner *More Commands* (2), puis *Customize Ribbon* (3). Il faut ensuite choisir *Macros* dans le menu déroulant (4). Après

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

cela, il faut cliquer sur *New Tab* (5) pour créer la section dans laquelle les boutons seront placés. Il faut ensuite cliquer sur les différentes macros (6) et pour chacune d'entre elle, appuyer sur *Add* (7). Ensuite, il est conseillé d'utiliser le bouton *Rename* (8) pour pouvoir renommer les boutons et la section dans laquelle ils sont placés (New Tab et New Group peuvent être renommées en Macros et Boutons par exemple). Voici les différentes macros à sélectionner ainsi que les conseils pour les renommer :

- Project.Module3.MainRSA -> Rapport RSA
- Project.Module4.MainPtCrit -> Rapport Points critiques
- Project.Module1.MainRSI -> Rapport RSI
- Project.Module2.SaveAsSeparatePDF -> Exporter pages

Le symbole de chaque bouton peut aussi être choisi afin de faciliter l'utilisation future. Il est également possible de modifier l'ordre des boutons selon la préférence de l'utilisateur. Une fois tout cela fait, il suffit de cliquer sur *OK* (9) pour finaliser la création des boutons. Après cette manipulation, quatre boutons ont été créés et se trouvent dans la nouvelle section créée, dans le ruban (10). Une fois créés, ces boutons ne partiront plus et font désormais partie de l'application Word de l'ordinateur. Cette manipulation n'est donc nécessaire qu'à la première utilisation de l'ordinateur. La figure 32 illustre ces manipulations.

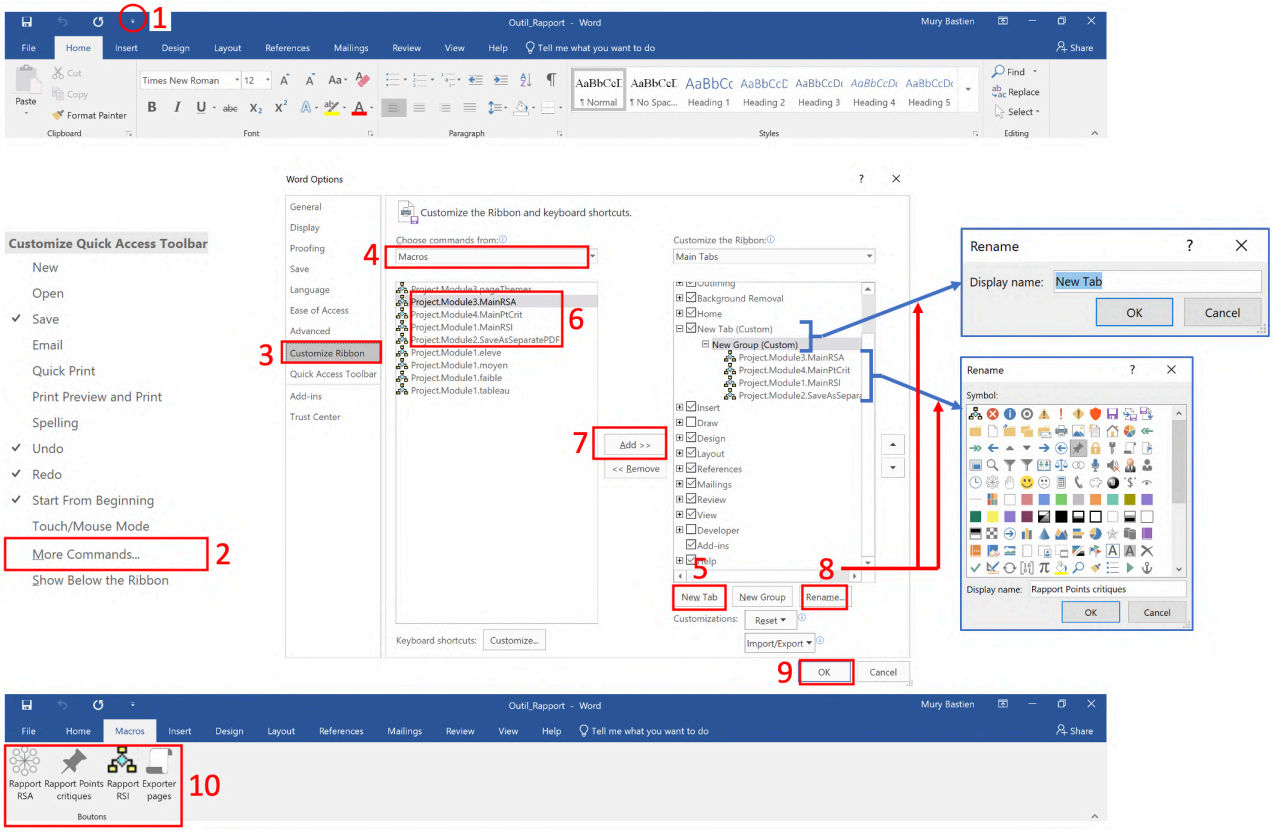


Figure 32 - Manipulations pour la création des boutons sur Word

Sur PowerPoint, il y a quatre boutons à créer. La marche à suivre est identique que sur Word. La seule différence est le nom des macros à sélectionner et à renommer. Voici les quatre boutons à créer :

- CreationCartes.pptm'!Jaune -> Faible
- CreationCartes.pptm'!Orange -> Moyen
- CreationCartes.pptm'!Rouge -> Élevé
- CreationCartes.pptm'!Vert -> Neutre

La figure 33 illustre les manipulations de la création des boutons sur Powerpoint.

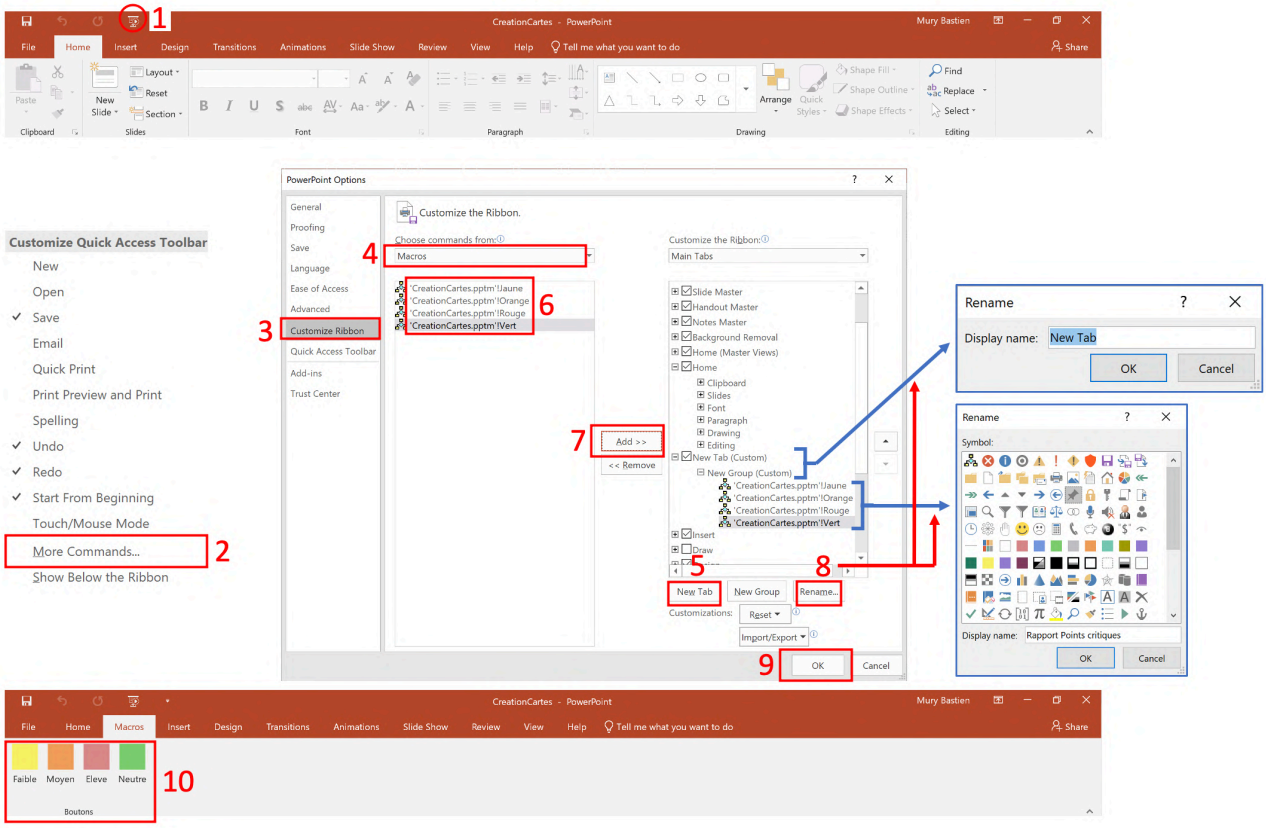


Figure 33 - Manipulations pour la création des boutons sur PowerPoint

6.3. Outil RSA

Le premier outil présenté dans ce chapitre concerne le traitement des données pour les RSA. Cette section a pour but de résumer ses fonctionnalités. Les différents documents vont être présentés, et une marche à suivre permettra à tout utilisateur de prendre en main rapidement l'outil. Le processus est composé de cinq étapes principales. Avant de commencer ces étapes, il est important que le RSA ait été réalisé et que toutes les données aient été récoltées selon la méthode décrite dans le chapitre 5.

Étape 1 - Travail préliminaire

Le but de cette première étape est de réaliser un travail préliminaire nécessaire au bon déroulement de la suite du traitement des données. D'abord, il est important de vérifier les données qui ont été relevées durant la réalisation du RSA. En effet, il est beaucoup plus simple de faire des modifications avant d'avoir entamé le processus.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Ensuite, il faut créer une version vierge des documents Excel, Word et PowerPoint contenant les macros. Le conseil donné pour faire cela est de réaliser une copie des documents originaux vierges et de travailler sur ces copies. De plus, si les boutons n'ont pas été activés, il faut le faire selon la méthode présentée dans la section 6.2 de ce chapitre.

Étape 2 - Enregistrer les résultats sur Excel

La deuxième étape du processus consiste à rentrer les données du RSA sur un tableau Excel. Pour cela, l'outil propose un document permettant de le faire de manière semi-automatique. L'utilisateur doit donc ouvrir le document Tableau_RSA.xlsm vierge qu'il a préparé durant l'étape 1, en choisissant la bonne version par rapport au type de chantier (routier ou autoroutier). À l'ouverture, le document contient un tableau vide. La figure 34 illustre le document vide avant le début du processus.

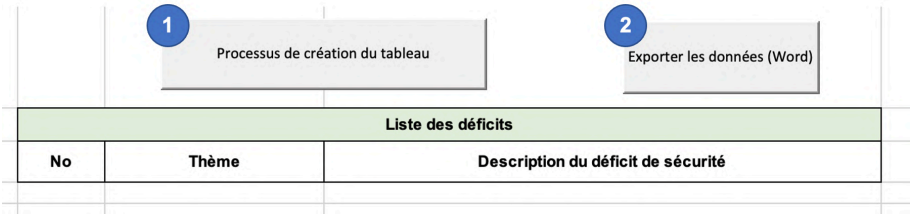


Figure 34 - Document Excel RSA vide

Les différentes colonnes du tableau permettent de décrire les déficits. Une fois remplie, chaque ligne du tableau correspondra à un déficit de sécurité relevé lors d'un RSA. Deux boutons sont situés au-dessus du tableau vide. Le premier est le bouton « Processus de création du tableau ». Comme son nom l'indique, ce bouton va permettre de lancer le processus d'enregistrement des déficits et donc de créer le tableau. Le deuxième bouton est nommé « Exporter les données ». Il ne doit pas être activé tant que le tableau n'est pas complété, et des explications sur ce bouton seront données dans l'étape 3.

Pour entamer le processus de création du tableau, c'est donc le bouton « Processus de création du tableau » qui doit être actionné. A l'activation du bouton, une nouvelle ligne est créée et la colonne du numéro de déficit est automatiquement remplie avec le numéro suivant. Pour remplir la ligne, le document Excel va ouvrir une série de fenêtres demandant des informations à l'utilisateur. La figure 35 représente les différentes fenêtres qui se succèdent.

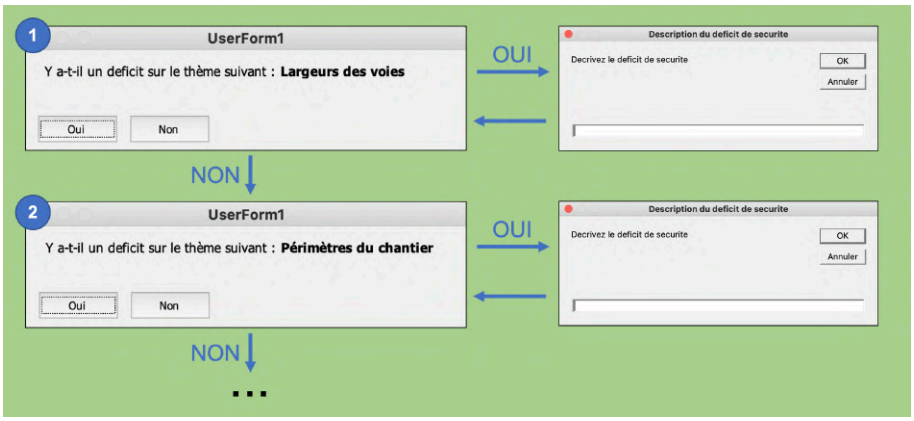
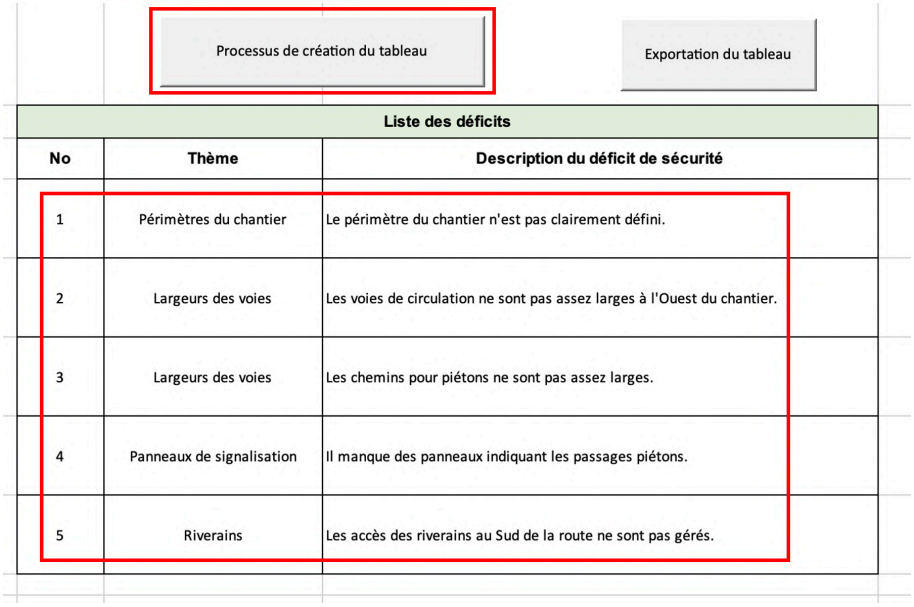


Figure 35 - Processus de remplissage par fenêtres successives

Le processus est le suivant. La macro parcoure tous les thèmes vérifiés dans le RSA selon la méthode de l'outil. Ces thèmes sont présentés dans le chapitre 5. La première fenêtre ouverte est donc sur le thème 1 et l'utilisateur doit indiquer si un déficit a été relevé sur ce thème. Si c'est le cas, une autre fenêtre s'ouvrira demandant à l'utilisateur de décrire plus précisément le déficit. Une fois le déficit décrit, la question du thème 1 va réapparaître car il peut y avoir plusieurs déficits sur un même thème. S'il n'y a pas ou plus de déficit à enregistrer sur le thème 1, l'utilisateur peut cliquer sur *Non* et la macro passera au thème suivant. Tous les thèmes sont ainsi parcourus et chaque fois qu'un déficit est indiqué, une nouvelle ligne est créée. La figure 36 représente un tableau ayant été rempli avec cinq déficits.



Liste des déficits		
No	Thème	Description du déficit de sécurité
1	Périmètres du chantier	Le périmètre du chantier n'est pas clairement défini.
2	Largeurs des voies	Les voies de circulation ne sont pas assez larges à l'Ouest du chantier.
3	Largeurs des voies	Les chemins pour piétons ne sont pas assez larges.
4	Panneaux de signalisation	Il manque des panneaux indiquant les passages piétons.
5	Riverains	Les accès des riverains au Sud de la route ne sont pas gérés.

Figure 36 - Document RSA rempli

Il est important de souligner qu'en dehors des boutons, le document est un tableau Excel tout à fait normal. Si l'utilisateur veut modifier un déficit dans le tableau, il peut le faire manuellement sans aucun problème.

Étape 3 - Exporter les données du tableau Excel

Cette troisième étape est très rapide pour l'utilisateur. En effet, elle ne durera que le temps de quelques clics et elle permet d'exporter les résultats du tableau Excel.

L'exportation permet d'enregistrer les données du tableau directement dans un document Word. Pour rappel, avant de commencer cette étape, il est nécessaire qu'un document Word vierge Outil_Rapport.docm ait été préparé au préalable (il est à nouveau recommandé d'utiliser une copie du document afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures). Une fois le document Word prêt, l'utilisateur n'a qu'à cliquer sur le bouton « Exportation du tableau » situé dans le document Excel. La macro va alors proposer à l'utilisateur de choisir un fichier, et l'utilisateur peut sélectionner le document Word. Le tableau créé lors de l'étape 2 va ainsi être entièrement transféré dans le document Word.

Étape 4 - Générer le rapport sur Word

La quatrième étape se passe dans le document Word où le tableau a été importé durant l'étape 3. Le but est de transformer le tableau en un rapport de manière automatique. Il est important que l'utilisateur ait créé les boutons Word comme expliqué dans la section 6.2.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Un seul des quatre boutons est utile pour cette étape : Rapport RSA. Il sert à lancer la rédaction automatique du rapport. L'utilisateur peut cliquer dessus pour lancer la rédaction automatique du rapport. Il faut cependant faire bien attention à ce que les outils gras, italique et souligné ne soient pas sélectionnés. Une fenêtre va alors s'ouvrir pour demander à l'utilisateur quel type de chantier est étudié (routier ou autoroutier). Le choix de type de chantier génère des modifications mineures dans le rapport. Quatre pages sont ensuite créées automatiquement.

Premièrement, une page de titre est créée. L'utilisateur peut maintenant personnaliser cette page en remplissant les champs « Nom de la route ou du lieu étudié », « Auteur du rapport », « Entreprise » et « Lieu et date ». Il peut également sélectionner une image en cliquant sur la place prévue à cet effet. La figure 37 illustre la page de titre et les personnalisations possibles.

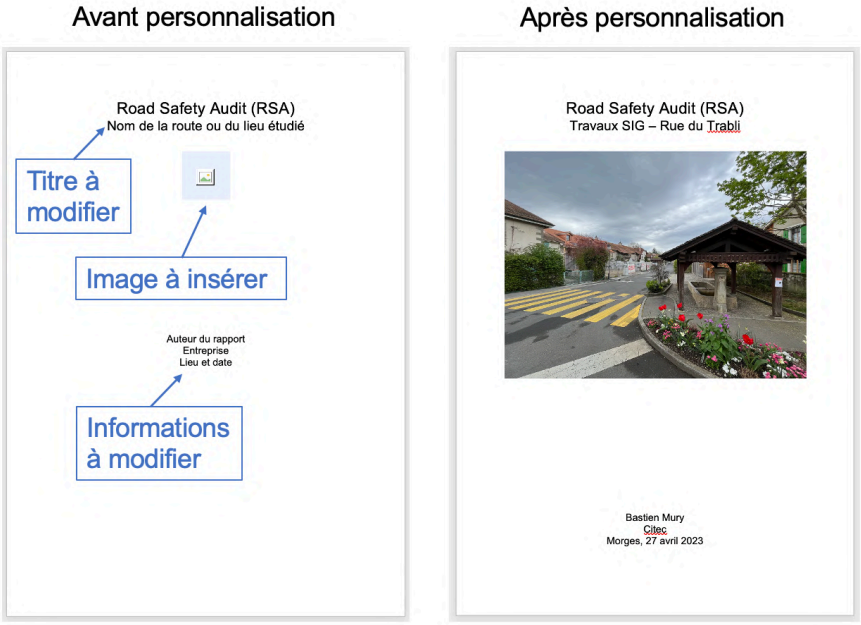


Figure 37 - Page de titre du document Word générée par l'outil RSA

Ensuite, une deuxième page est créée pour résumer tous les thèmes qui ont été observés dans le RSA. Cette page ne change pas d'un rapport à l'autre, mais varie en fonction du choix de type de chantier fait par l'utilisateur (route ou autoroute). Après cela, une troisième page liste les déficits qui ont été relevés dans le cadre du RSA. La figure 38 donne un exemple de cette page, basée sur le tableau présenté à la figure 36. Comme pour le document Excel, il est important de souligner qu'en dehors des boutons, le document Word est tout à fait classique. Si l'utilisateur veut procéder à des modifications dans le rapport, il peut le faire manuellement sans aucun problème.

1) Périmètres du chantier : Le périmètre du chantier n'est pas clairement défini.

2) Largeurs des voies : Les voies de circulation ne sont pas assez larges à l'Ouest du chantier.

3) Largeurs des voies : Les chemins pour piétons ne sont pas assez larges.

4) Panneaux de signalisation : Il manque des panneaux indiquant les passages piétons.

5) Riverains : Les accès des riverains au Sud de la route ne sont pas gérés.

Figure 38 - Liste des déficits générée par l'outil RSA dans le document Word

Finalement, une quatrième page est produite pour le rapport, comprenant un tableau de synthèse des thèmes examinés. Ce tableau consiste en une simple liste des thèmes, avec pour chaque thème la mention du nombre de déficits identifiés, le cas échéant. Ce tableau offre une vue d'ensemble du résultat de l'analyse. Un exemple de ce type de tableau est présenté dans la figure 39 de ce document.

No	Thème vérifié	Résultat de l'analyse
1	Périmètres du chantier	1 déficit relevé
2	Largeurs des voies	2 déficits relevés
3	Barrières de sécurité et balises	Situation conforme
4	Collisions frontales	Situation conforme
5	Niches d'évacuation	Situation conforme
6	Gestion du trafic	Situation conforme
7	Panneaux de signalisation	1 déficit relevé
8	Marquage au sol	Situation conforme
9	Masquage des éléments non pertinents	Situation conforme
10	Feux de circulation	Situation conforme
11	Guidage des piétons	Situation conforme
12	Circulation de nuit	Situation conforme
13	Phasage du chantier	Situation conforme
14	Riverains	1 déficit relevé
15	Lignes de bus	Situation conforme
16	Gestion des cyclistes	Situation conforme

Figure 39 - Tableau récapitulatif du document Word généré par l'outil RSA

Une fois que le rapport est rédigé et que l'utilisateur a réalisé toutes les corrections qu'il voulait, le rapport est terminé. Une étape finale à ne pas oublier est la suppression du tableau qui avait été collé en début de document, car il n'est plus utile une fois le rapport créé. De plus, il peut être judicieux d'ajouter une carte permettant de localiser les déficits, afin de rendre le résultat du RSA plus visuel. Cet ajout peut être fait grâce à l'étape 5.

Étape 5 - Création de l'interface cartographique

Afin de représenter les déficits de manière claire et visuelle, la création d'une carte est une excellente solution. Pour les RSA, la méthode préconisée est de créer la carte de manière semi-manuelle sur PowerPoint. Pour réaliser cela, il faut d'abord ouvrir le document Creation_Cartes.pptm et il est recommandé d'utiliser une copie afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures. À l'ouverture du document, il est entièrement vide. L'utilisateur doit manuellement importer une image représentant un plan du chantier. La page PowerPoint ressemble maintenant à cela.

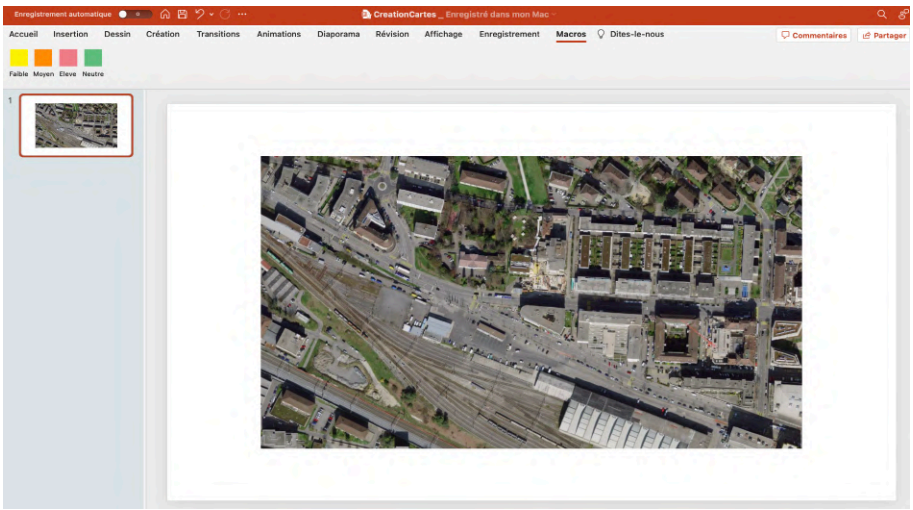


Figure 40 - Outil PowerPoint - version initiale

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

L'étape suivante est de placer les déficits sur la carte. Pour cela, l'outil propose des cercles colorés et contenant un nombre. Le nombre correspond au numéro du déficit et la couleur correspond à l'évaluation du déficit (faible = jaune, moyen = orange et élevé = rouge). Un bouton neutre peut également être utilisé si l'utilisateur ne veut pas préciser la gravité des déficits. Des points verts seront alors créés. Pour placer ces points, les boutons de la macro doivent être utilisés. Quand l'utilisateur veut créer un nouveau point, il doit cliquer sur le bouton correspondant à l'intensité du déficit considéré. La couleur du cercle dépendra de ce choix. Une fenêtre s'ouvre ensuite, demandant à l'utilisateur d'entrer un nombre. Ce nombre correspond au numéro du déficit considéré. La figure 41 illustre ces étapes.

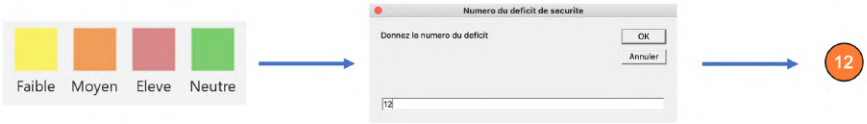


Figure 41 - Processus de création d'un point

Après avoir réalisé ces étapes, un cercle est automatiquement généré et placé en haut à gauche de la page PowerPoint. L'utilisateur doit ensuite déplacer manuellement le cercle à l'endroit souhaité sur la carte et répéter cette étape pour chaque déficit. La figure 42 montre un exemple de la page PowerPoint après la création de plusieurs cercles. Une fois la carte terminée, l'utilisateur peut simplement faire une capture d'écran pour obtenir l'image finale de la localisation des déficits.

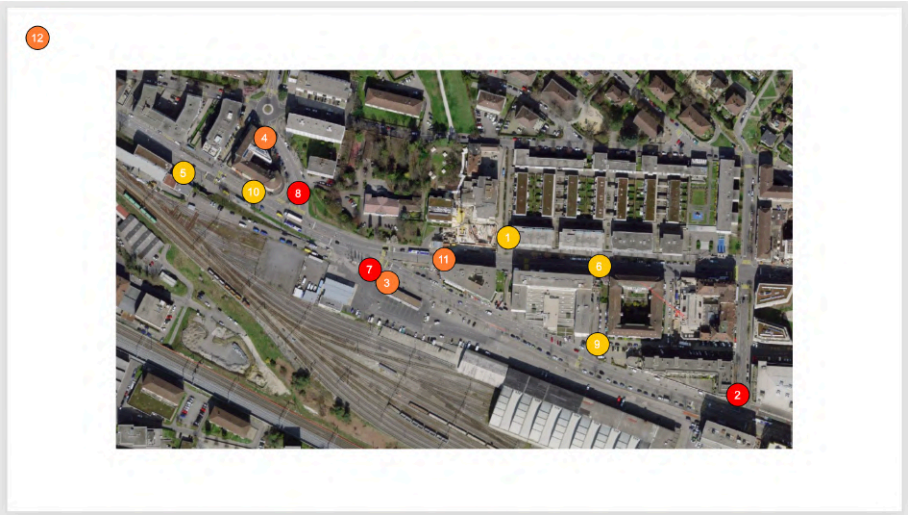


Figure 42 - Outil PowerPoint - version finale

Résumé des étapes

La figure 43 résume le processus de traitement des données des RSA décrit ci-dessus. Les applications à utiliser pour chaque étape et les boutons macros sont également indiqués.

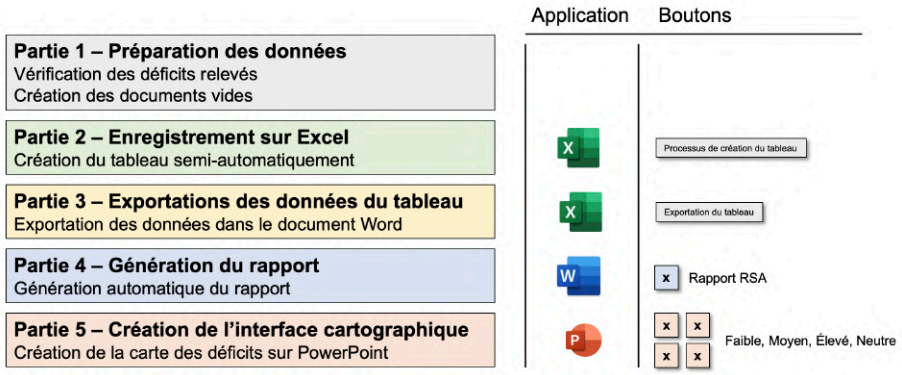


Figure 43 - Processus de la partie 2 de l'outil pour la version RSA

6.4. Outil Points critiques

Le deuxième outil présenté dans ce chapitre concerne le traitement des données pour les points critiques. Les différents documents vont être présentés, et une marche à suivre permettra à tout utilisateur de prendre en main rapidement l'outil. La marche à suivre a des similitudes avec celle du RSA, mais plusieurs différences notables existent. Le processus est composé de cinq étapes principales. Avant de commencer ces étapes, il est important que le relevé des points critiques ait été réalisé et que toutes les données aient été récoltées selon la méthode décrite dans le chapitre 5.

Étape 1 - Travail préliminaire

Le but de cette première étape est de réaliser un travail préliminaire nécessaire au bon déroulement de la suite du traitement des données. Premièrement, il est important de vérifier les données qui ont été relevées. En effet, il est beaucoup plus simple de faire des modifications avant d'avoir entamé le processus. Deuxièmement, l'utilisateur doit recenser les coordonnées de chaque point critique. Pour faire cela, il est nécessaire de créer un fichier CSV listant les coordonnées WGS84 de chaque point. La marche à suivre de cette étape est décrite plus tard dans ce rapport (section 6.6 de ce chapitre). Finalement, il faut créer une version vierge des documents Excel, Word et PowerPoint contenant les macros. Le conseil donné pour faire cela est de réaliser une copie des documents originaux vierges et de travailler sur ces copies. De plus, si les boutons n'ont pas été activés, il faut le faire selon la méthode présentée dans la section 6.2 de ce chapitre.

Étape 2 - Enregistrer les résultats sur Excel

La deuxième étape se passe sur Excel. Le but est de pouvoir remplir un tableau des résultats d'un relevé des points critiques de manière semi-automatique. Comme précisé dans l'étape 1, il est recommandé d'utiliser une copie du document Tableau_PtCrit.xlsm afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures.

A l'ouverture du fichier Excel, le tableau est encore vide. La figure 44 illustre le tableau de résultats encore vierge.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Figure 44 - Document Excel Points critiques vide

Les différentes colonnes du tableau permettent de décrire les déficits. Une fois remplie, chaque ligne du tableau correspondra à un point critique. Quatre boutons sont situés au-dessus du tableau vide. Le premier bouton est nommé « Ajouter un point critique » et permet de créer et de remplir une nouvelle ligne du tableau. Le deuxième bouton est nommé « Exporter les données ». Ce dernier ne doit pas être activé tant que le tableau n'est pas complété, et des explications sur ce bouton seront données dans l'étape 3. Le troisième bouton est nommé « Importer les coordonnées WGS84 » et il permet d'importer une liste de coordonnées depuis un fichier CSV. Enfin, le dernier bouton nommé « Calculer les coordonnées MN95 » permet de créer des coordonnées dans le système projeté Suisse en réalisant une transformation des coordonnées globales WGS84.

Pour ajouter un déficit et compléter le tableau, c'est donc le bouton « Ajouter un point critique » qui doit être actionné. À l'activation du bouton, une nouvelle ligne est créée et la colonne du numéro de déficit est automatiquement remplie avec le numéro suivant. Une fenêtre s'ouvre ensuite. La figure 45 représente cette fenêtre.

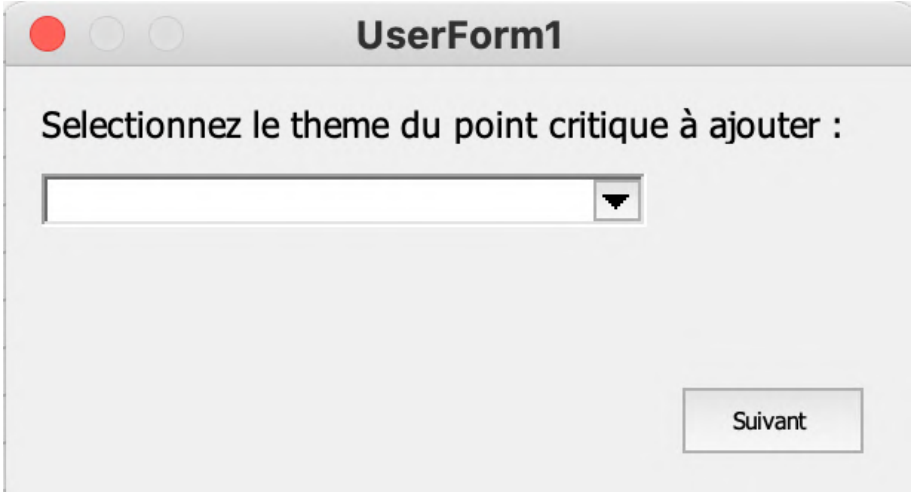


Figure 45 - Fenêtre de sélection dans l'outil Excel

La fenêtre est une liste déroulante contenant tous les types de points critiques possibles. Ces types ont été présentés dans le chapitre 5. L'utilisateur doit sélectionner le thème correspondant au point critique en question. La deuxième colonne du tableau est ensuite remplie en fonction du choix de l'utilisateur. La figure 46 représente un tableau ayant été rempli avec cinq points critiques.

Ajouter un point critique | Exportation du tableau | Importation des coordonnées WGS84 | Création des cooronnées MN95

Liste des points critiques					
No	Thème	Coordonnée Est WGS84	Coordonnée Nord WGS84	Coordonnée Est MN95 [m]	Coordonnée Nord MN95 [m]
1	Accès secondaires				
2	Accès secondaires				
3	Rétrécissement ponctuels				
4	Passages piétons				
5	Arrêts de bus				

Figure 46 - Document Points critiques partiellement rempli

Il est important de souligner qu'en-dehors des boutons, le document est un tableau Excel tout à fait normal. Si l'utilisateur veut modifier un déficit dans le tableau, il peut le faire manuellement sans aucun problème.

Il reste cependant quatre colonnes qui sont toujours vides : les coordonnées des déficits. Pour remplir les colonnes du système WGS84, il suffit de presser le bouton « Importation des coordonnées WGS84 ». Si le fichier CSV contenant les coordonnées a bien été créé lors de l'étape 1, l'utilisateur peut le sélectionner et les coordonnées entreront automatiquement dans le tableau. Ensuite, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Création des coordonnées MN95 » et les deux colonnes MN95 se rempliront automatiquement. Plus de détails sur les conversions de coordonnées seront donnés plus tard dans le rapport (section 7.5). La figure 47 montre le tableau rempli à 100%, correspondant au résultat final de l'étape 2.

Ajouter un point critique | Exportation du tableau | Importation des coordonnées WGS84 | Création des cooronnées MN95

Liste des points critiques					
No	Thème	Coordonnée Est WGS84	Coordonnée Nord WGS84	Coordonnée Est MN95 [m]	Coordonnée Nord MN95 [m]
1	Accès secondaires	6,1343508	46,2308701	2499382,07	1120774,543
2	Accès secondaires	6,1324953	46,2315528	2499240,209	1120852,81
3	Rétrécissement ponctuels	6,1321216	46,2313332	2499210,976	1120828,882
4	Passages piétons	6,1321055	46,2312435	2499209,568	1120818,932
5	Arrêts de bus	6,1325451	46,2324816	2499245,771	1120955,982

Figure 47 - Document Points critiques rempli

Étape 3 - Exporter les données du tableau Excel

Cette troisième étape est très rapide pour l'utilisateur. En effet, elle ne dure que le temps de quelques clics et elle permet d'exporter les résultats du tableau Excel.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

L'exportation permet d'enregistrer les données du tableau directement dans un document Word. Pour rappel, avant de commencer cette étape, il est nécessaire qu'un document Word vierge Outil_Rapport.docm ait été préparé au préalable (il est à nouveau recommandé d'utiliser une copie du document afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures). Une fois le document Word prêt, l'utilisateur n'a qu'à cliquer sur le bouton « Exportation du tableau » situé dans le document Excel. La macro va alors proposer à l'utilisateur de choisir un fichier, et l'utilisateur peut sélectionner le document Word. Le tableau créé lors de l'étape 2 va ainsi être entièrement transféré dans le document Word.

Étape 4 - Générer le rapport sur Word

La quatrième étape se passe dans le document Word où le tableau a été importé durant l'étape 3. Le but est de transformer le tableau en un rapport de manière automatique.

Un seul des quatre boutons est utile pour cette étape : Rapport Points critiques. Il sert à lancer la rédaction automatique du rapport. L'utilisateur peut cliquer dessus pour lancer la rédaction automatique du rapport. Il faut cependant faire bien attention à ce que les outils gras, italique et souligné ne soient pas sélectionnés. À l'activation du bouton, comme pour la version RSA, une fenêtre s'ouvre pour demander à l'utilisateur quel type de chantier est étudié (routier ou autoroutier). Trois pages sont ensuite créées.

Premièrement, une page de titre est créée. L'utilisateur peut maintenant personnaliser cette page en remplissant les champs « Nom de la route ou du lieu étudié », « Auteur du rapport », « Entreprise » et « Lieu et date ». Il peut également sélectionner une image en cliquant sur la place prévue à cet effet. La figure 48 illustre la page de titre et les personnalisations possibles.

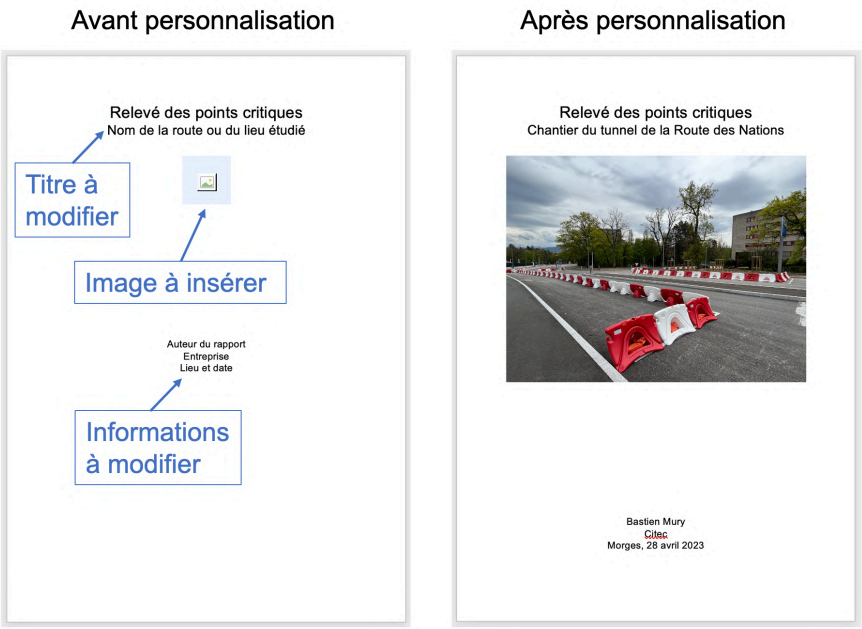


Figure 48 - Page de titre du document Word générée par l'outil Points critiques

Ensuite, une deuxième page est créée. Cette page contient d'abord un paragraphe d'introduction expliquant le principe du relevé des points critiques. Ce texte ne change pas d'un rapport à l'autre. Après cela, une place pour une image est générée. L'utilisateur doit alors importer une carte représentant la localisation des déficits. La

création de cette carte sera présentée dans l'étape 5. La figure 49 donne un exemple de cette page avant et après l'ajout de la carte par l'utilisateur. Comme pour le document Excel, il est important de souligner qu'en dehors des boutons, le document Word est un tout à fait classique. Si l'utilisateur veut procéder à des modifications dans le rapport, il peut le faire manuellement sans aucun problème.

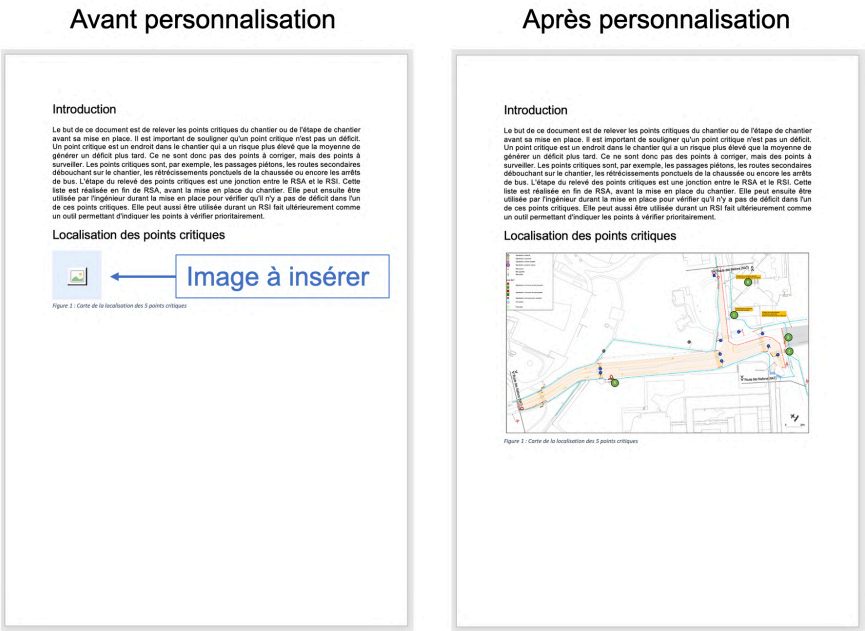


Figure 49 - Deuxième page du document Word générée par l'outil Points critiques

Finalement, une troisième page est produite pour le rapport, comprenant la liste des points critiques relevés. Cette liste indique les coordonnées de chaque point critique. Elle peut être considérée une légende qui accompagne la carte de la page précédente. Un exemple de ce type de liste est présenté dans la figure 50.

1) Accès secondaires
Coordonnées MN95 - Nord : 1120774,543 [m], Est : 2499382,07 [m]

2) Accès secondaires
Coordonnées MN95 - Nord : 1120852,81 [m], Est : 2499240,209 [m]

3) Rétrécissement ponctuels
Coordonnées MN95 - Nord : 1120828,882 [m], Est : 2499210,976 [m]

4) Passages piétons
Coordonnées MN95 - Nord : 1120818,932 [m], Est : 2499209,568 [m]

5) Arrêts de bus
Coordonnées MN95 - Nord : 1120955,982 [m], Est : 2499245,771 [m]

Figure 50 – Légende des points critiques générée par l'outil dans le document Word

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Étape 5 - Création de l'interface cartographique

Afin de représenter les points critiques de manière claire et visuelle, la création d'une carte est indispensable. L'outil propose une méthode semi-automatisée. Cela consiste à créer la carte sur PowerPoint. Pour réaliser cela, le document Creation_Cartes.pptm doit être utilisé. La marche à suivre de cette méthode a été présentée dans l'étape 5 de l'outil RSA (section 6.3).

Résumé des étapes

La figure 51 résume le processus de traitement des données du relevé des points critiques, décrit ci-dessus. Les applications à utiliser pour chaque étape et les boutons macros sont également indiqués.

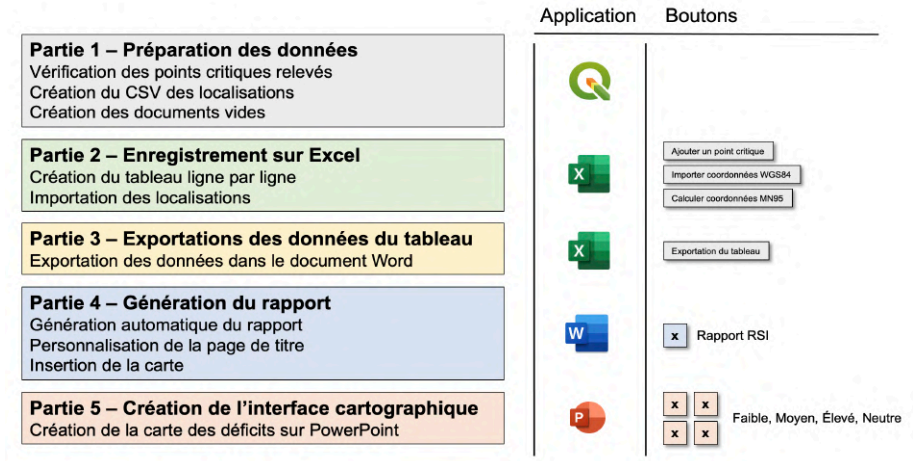


Figure 51 - Processus de la partie 2 de l'outil pour la version Points critiques

6.5. Outil RSI

Cette section a pour but de résumer les fonctionnalités de l'outil de traitement des données pour le RSI. Les différents documents vont être présentés, et une marche à suivre permettra à tout utilisateur de prendre en main rapidement l'outil. La marche à suivre a des similitudes avec celles du RSA et des Points critiques, mais plusieurs différences notables. Le processus est composé de cinq étapes principales. Avant de commencer ces étapes, il est important que le RSI ait été réalisé et que toutes les données aient été récoltées selon la méthode décrite dans le chapitre 5.

Étape 1 - Travail préliminaire

Le but de cette première étape est de réaliser un travail préliminaire nécessaire au bon déroulement de la suite du traitement des données. Premièrement, il est important de vérifier les données qui ont été relevées. Le choix de l'ordre des déficits, de la pertinences des déficits ou des familles associées à chaque déficit doit être vérifié préalablement par le réalisateur du RSI. En effet, il est beaucoup plus simple de faire des modifications avant d'avoir entamé le processus. Deuxièmement, l'utilisateur doit recenser les coordonnées de chaque déficit. Pour faire cela, il est nécessaire de créer un fichier CSV listant les coordonnées WGS84 de chaque point. La marche à suivre de cette étape est décrite plus tard dans ce rapport (section 6.6 de ce chapitre). Finalement, il faut créer une version vierge des documents Excel, Word et PowerPoint contenant les macros. Le conseil donné pour faire cela est de réaliser une copie des documents originaux vierges et de travailler sur ces copies. De plus, si les boutons n'ont pas été activés, il faut le faire selon la méthode présentée dans la section 6.2 de ce chapitre.

Étape 2 - Enregistrer les résultats sur Excel

La deuxième étape se passe sur Excel. Le but est de pouvoir remplir un tableau des résultats d'une analyse RSI de manière semi-automatique. Comme précisé dans l'étape 1, il est recommandé d'utiliser une copie du document Tableau_RSI.xlsm afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures. Il faut aussi être attentif à sélectionner la bonne version du document en fonction du type de chantier (routier ou autoroutier).

À l'ouverture du fichier Excel, le tableau est encore vide. La figure 52 illustre le tableau de résultats encore vierge.

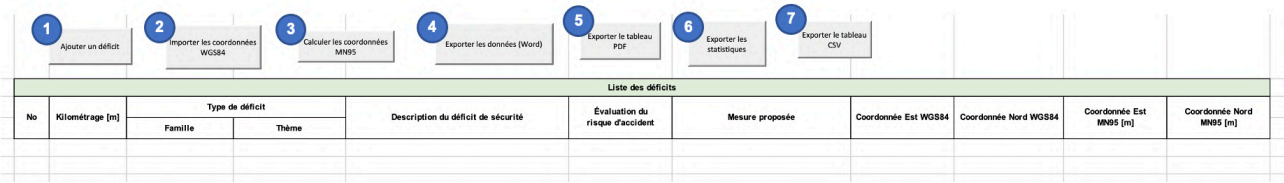


Figure 52 - Document Excel RSI vide

Les différentes colonnes du tableau permettent de décrire les déficits. Une fois remplie, chaque ligne du tableau correspondra à un déficit de sécurité relevé lors d'un RSI. Sept boutons sont situés au-dessus du tableau vide. Le premier est le bouton « Ajouter un déficit ». Comme son nom l'indique, ce bouton va permettre d'enregistrer un nouveau déficit et donc de créer une nouvelle ligne au tableau. Le deuxième bouton est nommé « Importer les coordonnées WGS84 » et permet de télécharger les coordonnées WGS84 des déficits directement depuis le fichier CSV créé dans l'étape 1. Le troisième bouton est nommé « Calculer les coordonnées MN95 » et il permet de calculer, sur la base des coordonnées WGS84, les coordonnées projetées dans le cadre suisse MN95. Le quatrième bouton est nommé « Exporter les données ». Ce dernier ne doit pas être activé tant que le tableau n'est pas complété, et des explications sur ce bouton seront données dans l'étape 3. Le cinquième bouton est nommé « Exporter le tableau PDF » et il permet d'obtenir une version PDF du tableau créé. Le sixième bouton est nommé « Exporter les statistiques » et il permet d'obtenir des graphiques résumant certaines données de l'analyse. Enfin, le septième et dernier bouton nommé « Exporter le tableau CSV » sert à générer une version CSV du tableau dans le but de travailler plus tard sur le logiciel ArcGIS (voir section 6.7).

Pour ajouter un déficit et compléter le tableau, c'est donc le bouton « Ajouter une ligne » qui doit être actionné. À l'activation du bouton, une nouvelle ligne est créée et la colonne du numéro de déficit est automatiquement remplie avec le numéro suivant. Pour remplir la ligne, le document Excel va ouvrir une série de fenêtres demandant à l'utilisateur des informations sur le déficit. La figure 53 représente les différentes fenêtres qui se succèdent.

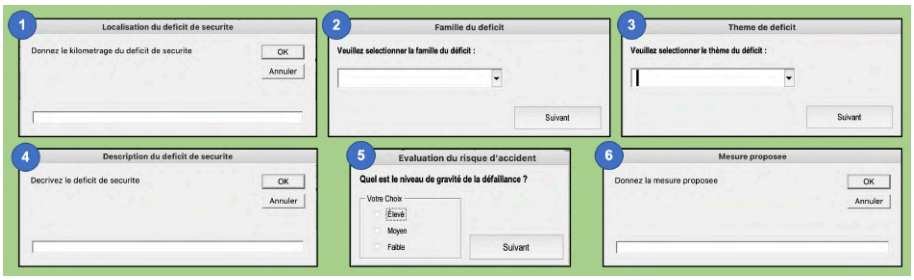


Figure 53 - Processus de remplissage par fenêtres successives

Les fenêtres sont représentées dans la figure accompagnée d'un numéro illustrant leur ordre d'apparition. La fenêtre 1 demande donc à l'utilisateur d'écrire la localisation

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

du déficit. Cette localisation est un kilométrage avec une valeur à donner en mètre, correspondant à la distance entre le début du chantier et la position du déficit relevé. Pour les chantiers autoroutiers, le kilométrage doit être donné en kilomètre. La fenêtre 2 est une liste déroulante contenant les quatre familles de déficits possibles, et l'utilisateur doit sélectionner celle correspondant au déficit en question. En fonction de sa sélection, la fenêtre 3 proposera tous les thèmes de déficits existants dans la famille choisie. Le choix se fait à nouveau sous forme de liste déroulante. La fenêtre 4 permet ensuite à l'utilisateur de rentrer un texte pour décrire plus précisément le déficit. La fenêtre 5 propose un choix multiple. L'utilisateur doit choisir la gravité du déficit parmi trois choix. Enfin, la fenêtre 6 permet à l'utilisateur d'écrire une proposition de mesure pour résoudre le déficit en question. À la fin de cette récolte d'informations, la ligne est remplie automatiquement par l'outil en fonction des données fournies par l'utilisateur. Ce dernier n'a alors plus qu'à appuyer à nouveau sur le bouton « Ajouter une ligne » pour pouvoir créer une nouvelle ligne correspondant à un nouveau déficit. Il peut faire cela jusqu'à ce que tous les déficits soient inscrits dans le tableau. La figure 54 représente un tableau ayant été rempli avec cinq déficits.

Ajouter une ligne | Importer coordonnées WGS84 | Calculer coordonnées MN95 | Sauvegader le tableau | Exporter le tableau | Exporter les statistiques | Exporter tableau CSV

Liste des déficits

No	Kilometrage [m]	Type de déficit		Description du déficit de sécurité	Évaluation du risque d'accident	Mesure proposée	Coordonnée Est WGS84	Coordonnée Nord WGS84	Coordonnée Est MN95 [m]	Coordonnée Nord MN95 [m]
		Famille	Thème							
1	10	Visibillité	Eclairage	Il manque des lampes de chantier sur les barrières.	Moyen	Ajouter des lampes de chantier.				
2	75	Équipements et sécurité	Largeurs des voies	La voie de circulation n'est pas assez large.	Eleve	Elargir les voies de circulation.				
3	80	Guidage des usagers	Passages piétons	Les piétons traversent la route pour éviter un détour.	Moyen	Ajouter un passage piéton.				
4	100	Guidage des usagers	Personnes à mobilité réduite	La largeur du chemin piéton ne permet pas l'accès des personnes à mobilité réduite.	Faible	Elargir le chemin pour piétons.				
5	130	Organisation générale	Conformité	La situation n'est pas confrome aux plans.	Faible	Mettre les plans à jour.				

Figure 54 - Document RSI partiellement rempli

Il est important de souligner qu'en-dehors des boutons, le document est un tableau Excel tout à fait normal qui peut être modifié manuellement par l'utilisateur sans aucun problème. Il reste cependant quatre colonnes qui sont toujours vides : les coordonnées des déficits. Pour remplir les colonnes du système WGS84, il suffit de presser le bouton « Importer les coordonnées WGS84 ». Si le fichier CSV contenant les coordonnées a bien été créé lors de l'étape 1, l'utilisateur peut le sélectionner et les coordonnées entreront automatiquement dans le tableau. Ensuite, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton « Calculer coordonnées MN95 » et les deux colonnes MN95 se rempliront automatiquement. Plus de détails sur les conversions de coordonnées seront donnés plus tard dans le rapport (section 7.5). La figure 55 montre le tableau rempli à 100%, correspondant au résultat final de l'étape 2.

Ajouter une ligne | Importer coordonnées WGS84 | Calculer coordonnées MN95 | Sauvegader le tableau | Exporter le tableau | Exporter les statistiques | Exporter tableau CSV

Liste des déficits

No	Kilometrage [m]	Type de déficit		Description du déficit de sécurité	Évaluation du risque d'accident	Mesure proposée	Coordonnée Est WGS84	Coordonnée Nord WGS84	Coordonnée Est MN95 [m]	Coordonnée Nord MN95 [m]
		Famille	Thème							
1	10	Visibillité	Eclairage	Il manque des lampes de chantier sur les barrières.	Moyen	Ajouter des lampes de chantier.	6,605682493	46,52736934	2 536 091	1 153 237
2	75	Équipements et sécurité	Largeurs des voies	La voie de circulation n'est pas assez large.	Eleve	Elargir les voies de circulation.	6,605820762	46,52742788	2 536 102	1 153 243
3	80	Guidage des usagers	Passages piétons	Les piétons traversent la route pour éviter un détour.	Moyen	Ajouter un passage piéton.	6,606022849	46,52741142	2 536 117	1 153 241
4	100	Guidage des usagers	Personnes à mobilité réduite	La largeur du chemin piéton ne permet pas l'accès des personnes à mobilité réduite.	Faible	Elargir le chemin pour piétons.	6,606163778	46,52726872	2 536 128	1 153 225
5	130	Organisation générale	Conformité	La situation n'est pas confrome aux plans.	Faible	Mettre les plans à jour.	6,606820559	46,52711322	2 536 178	1 153 208

Figure 55 - Document RSI rempli

Étape 3 - Exporter les données du tableau Excel

Cette troisième étape est très rapide pour l'utilisateur. En effet, elle ne dure que le temps de quelques clics et elle permet d'exporter les résultats du tableau Excel.

La première exportation permet d'enregistrer les données du tableau directement dans un document Word. Pour rappel, avant de commencer cette étape, il est nécessaire qu'un document Word vierge Outil_Rapport.docm ait été préparé au préalable (il est à nouveau recommandé d'utiliser une copie du document afin de garder l'original vierge pour des utilisations futures). Une fois le document Word prêt, l'utilisateur n'a qu'à cliquer sur le bouton « Exporter les données » situé dans le document Excel. La macro va alors proposer à l'utilisateur de choisir un fichier, et l'utilisateur peut sélectionner le document Word. Le tableau créé lors de l'étape 2 va ainsi être entièrement transféré dans le document Word.

La deuxième exportation permet d'enregistrer le tableau créé en format PDF. Ce document pourrait être utile car il constitue un bon résumé de l'analyse réalisée. Pour réaliser cela, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « Exporter le tableau PDF ». Il peut ensuite choisir à quel emplacement dans l'ordinateur il veut stocker le tableau, et l'outil générera automatiquement un PDF.

La troisième exportation permet d'enregistrer des graphiques en lien avec l'analyse réalisée. Pour réaliser cela, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « Exporter les statistiques », choisir un emplacement de stockage dans l'ordinateur et l'outil générera automatiquement des graphiques en format image (PNG).

Au total, trois graphiques sont créés. Tout d'abord, un diagramme circulaire permet d'illustrer la répartition des déficits par rapport au niveau d'évaluation du risque d'accident. Ce graphique donne une indication sur la gravité de la situation. Le graphique 1 de la figure 56 est un exemple de ce premier graphique.

Le deuxième graphique créé est à nouveau un diagramme circulaire. Cette fois, cela illustre la répartition des déficits par rapport à leur classification. Quatre familles de déficits ont été créées dans cet outil, et ce graphique donne le pourcentage de déficits relevés pour chacune de ces familles. Cela donne une indication sur le type de problèmes qu'il faut régler sur le chantier étudié. Le graphique 2 de la figure 56 est un exemple de ce deuxième graphique.

Le dernier graphique créé est un histogramme. Il permet d'illustrer le nombre de déficits relevés aux différents tronçons du tracé. Le but de ce graphique est de communiquer une information sur la localisation des déficits, et d'éventuellement repérer des endroits critiques. Le graphique 3 de la figure 56 est un exemple de ce troisième graphique.

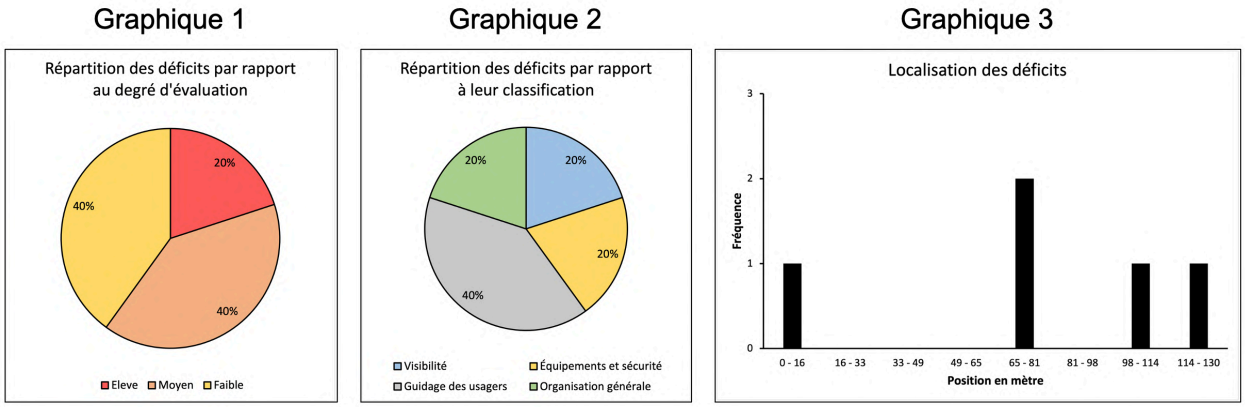


Figure 56 – Graphiques générés par l'outil

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Finalement, la quatrième exportation a pour but d'enregistrer une version du tableau en format CSV. Ce format est adapté à du traitement sur le logiciel ArcGIS (voir section 6.7). Pour réaliser cela, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « Exporter le tableau CSV », choisir un emplacement de stockage dans l'ordinateur et l'outil générera automatiquement le tableau sous la forme souhaitée.

Étape 4 - Générer le rapport sur Word

La quatrième étape se passe dans le document Word où le tableau a été importé durant l'étape 3. Le but est de transformer le tableau en un rapport de manière automatique.

Deux des quatre boutons seront utiles pour cette étape : Rapport RSI et Exporter pages. Ils ont chacun une fonction précise. Le bouton Rapport RSI sert à lancer la rédaction automatique du rapport. Il faut cependant faire bien attention à ce que les outils gras, italique et souligné ne soient pas sélectionnés. À l'activation du bouton, comme pour les autres versions, une fenêtre s'ouvre pour demander à l'utilisateur quel type de chantier est étudié (routier ou autoroutier). Trois types de pages sont ensuite créés.

Premièrement, une page de titre est créée. L'utilisateur peut maintenant personnaliser cette page en remplissant les champs « Nom de la route ou du lieu étudié », « Auteur du rapport », « Entreprise » et « Lieu et date ». Il peut également sélectionner une image en cliquant sur la place prévue à cet effet. La figure 57 illustre la page de titre et les personnalisations possibles.

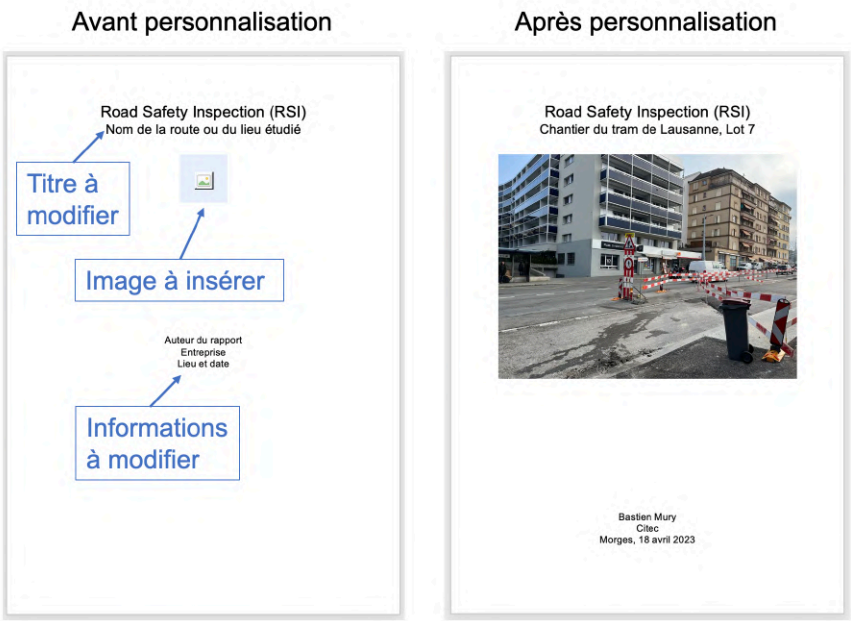


Figure 57 - Page de titre du document Word générée par l'outil RSI

Deuxièmement, pour chaque déficit, une page de rapport est créée. La figure 58 donne un exemple d'une de ces pages, basée sur la première ligne du tableau présenté à la figure 55. Comme pour le document Excel, il est important de souligner qu'en dehors des boutons, le document Word est tout à fait classique. Si l'utilisateur veut procéder à des modifications dans le rapport, il peut le faire manuellement sans aucun problème.

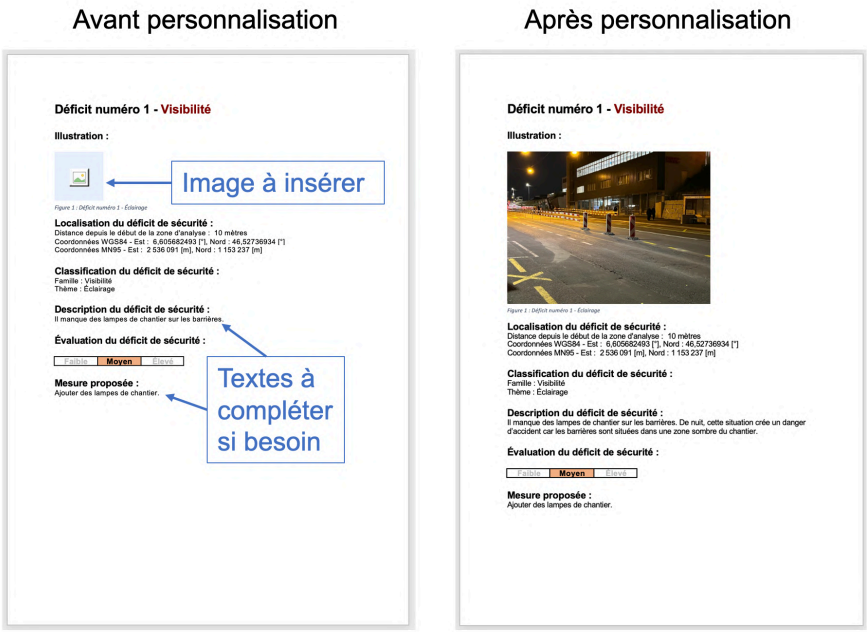


Figure 58 - Page de déficit du document Word générée par l'outil RSI

Finalement, un troisième type de page est créé. À la fin du rapport, un tableau de récapitulation des déficits est créé. Il s'agit d'une simple liste indiquant le numéro, le type et l'évaluation de chaque déficit. Ce tableau permet d'obtenir une vision globale du résultat de l'analyse. La figure 59 illustre un exemple de tableau créé par ce document.

Liste globale des déficits :

Numéro de déficit	Type de déficit	Évaluation du déficit
1	Visibilité - Éclairage	Moyen
2	Équipements et sécurité - Largeurs des voies	Élevé
3	Guidage des usagers - Passages piétons	Moyen
4	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
5	Organisation générale - Conformité	Faible

Figure 59 - Tableau récapitulatif généré par l'outil RSI dans le document Word

Une fois que le rapport est rédigé et que l'utilisateur a réalisé toutes les corrections qu'il voulait, l'activation du deuxième bouton (Exporter pages) peut être faite. Ce dernier a pour but d'exporter les fiches de déficit en format PDF. À l'activation du bouton, l'utilisateur va d'abord devoir sélectionner un emplacement dans l'ordinateur qui correspondra au lieu de sauvegarde des fiches de déficits PDF. Ensuite, il devra rentrer le premier et le dernier numéro des pages de déficits qu'il veut exporter. Finalement, le code va automatiquement générer des PDF et les stocker à l'emplacement voulu. L'exportation de ces fiches n'est pas toujours nécessaire. Le rapport peut se suffire à lui-même. Toutefois, ces fiches seront utiles si l'utilisateur a envie d'utiliser l'outil dans la totalité de ses fonctions (avec la cartographie sur ArcGIS).

Étape 5 - Création de l'interface cartographique

Afin de représenter les déficits de manière claire et visuelle, la création d'une carte est une excellente solution. L'outil propose deux manières de faire différentes. Le choix de la méthode dépend des besoins de l'utilisateur.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

La première méthode est sans doute la plus simple. Cela consiste à créer la carte de manière semi-automatique sur PowerPoint. Pour réaliser cela, le document Creation_Cartes.pptm doit être utilisé. La marche à suivre de cette méthode a été présentée dans l'étape 5 de l'outil RSA (section 6.3).

La deuxième méthode est plus complète. Elle utilise un système d'information géographique (SIG) pour pouvoir transmettre plus d'informations. La section 6.7 explique en détail la marche à suivre pour créer cette carte interactive.

Résumé des étapes

La figure 60 résume le processus de traitement des données des RSI décrit ci-dessus. Les applications à utiliser pour chaque étape et les boutons macros sont également indiqués.

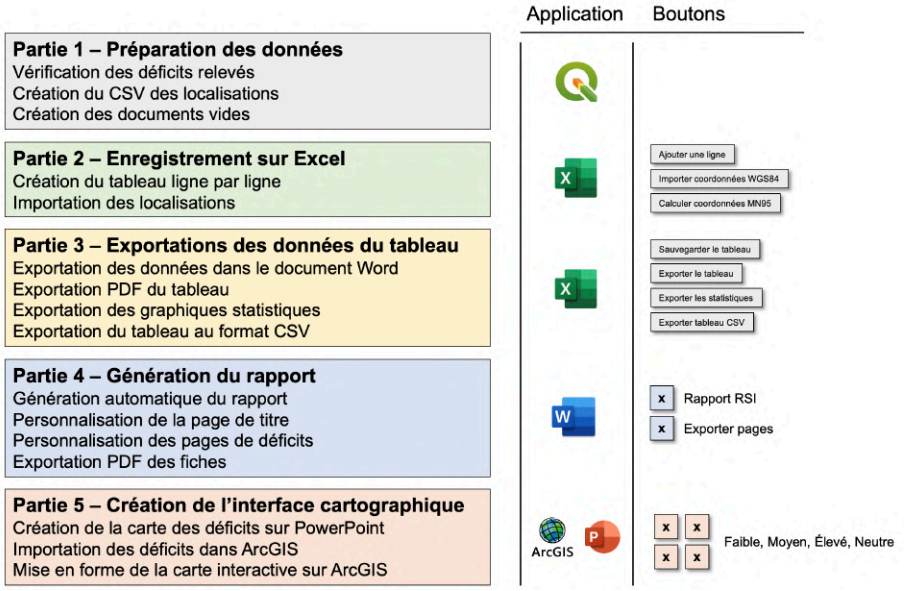


Figure 60 - Processus de la partie 2 de l'outil pour la version RSI

6.6. QGIS : Localisation des points

Cette section va expliquer les différentes étapes permettant de récupérer des coordonnées depuis le logiciel QGIS. L'obtention de ces coordonnées est principalement utile pour un RSI et pour un relevé des points critiques. Le but est de pouvoir placer des déficits relevés sur une carte, et de pouvoir automatiquement obtenir les coordonnées de ces points dans un fichier CSV. Le processus comprend 9 étapes qui vont être décrites ci-dessous. Avant toute chose, il faut posséder l'application QGIS, un système d'information géographique (SIG) open source et gratuit qui permet de visualiser, gérer, analyser et publier des données géospatiales. La version utilisée dans le cadre de ce projet est QGIS 3. Les images de ce guide sont faites sur la version Mac, mais la marche à suivre est identique sur PC.

Étape 1 : Faire apparaître la carte

La première chose à faire après avoir ouvert l'application QGIS est de faire apparaître une carte vierge. Pour faire cela, il faut aller dans les outils dans la liste à gauche. Il faut cliquer sur *XYZ Tiles* puis faire clic droit sur *OpenStreetMap* (1). Il faut ensuite cliquer sur *Add Layer to Project* (2). Cette manipulation devrait faire apparaître une carte du monde dans la fenêtre centrale du logiciel. Il est ensuite possible de zoomer manuellement sur cette carte jusqu'à la localisation du chantier étudié. La figure 61 illustre cette première étape.

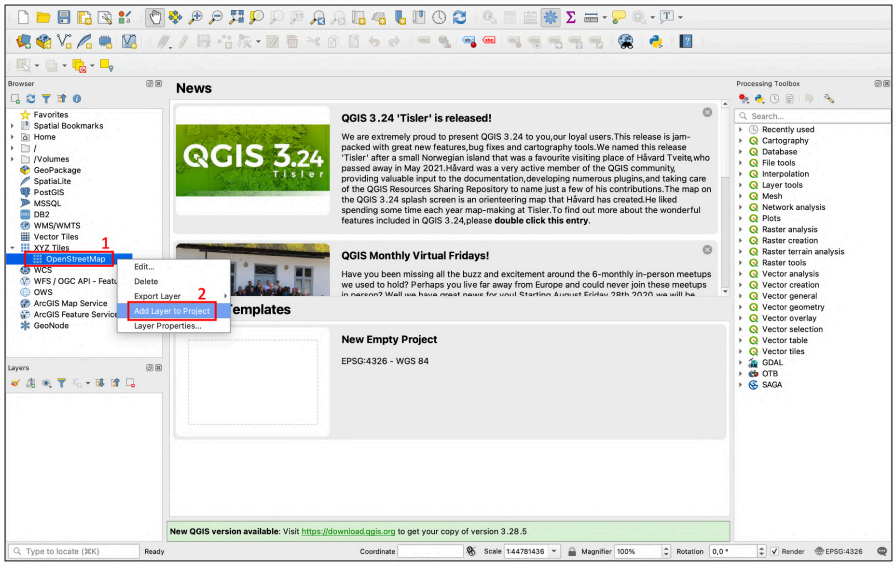


Figure 61 - Tutoriel QGIS – étape 1

Étape 2 : Créer une nouvelle couche

Le but de cette étape est de créer une couche vide qui pourra par la suite accueillir les points. Pour faire cela, il faut ouvrir l'onglet *Layer* (1), sélectionner *Create Layer* (2), puis *New Shapefile Layer* (3). Une fenêtre doit s'ouvrir. La figure 62 illustre cette deuxième étape.

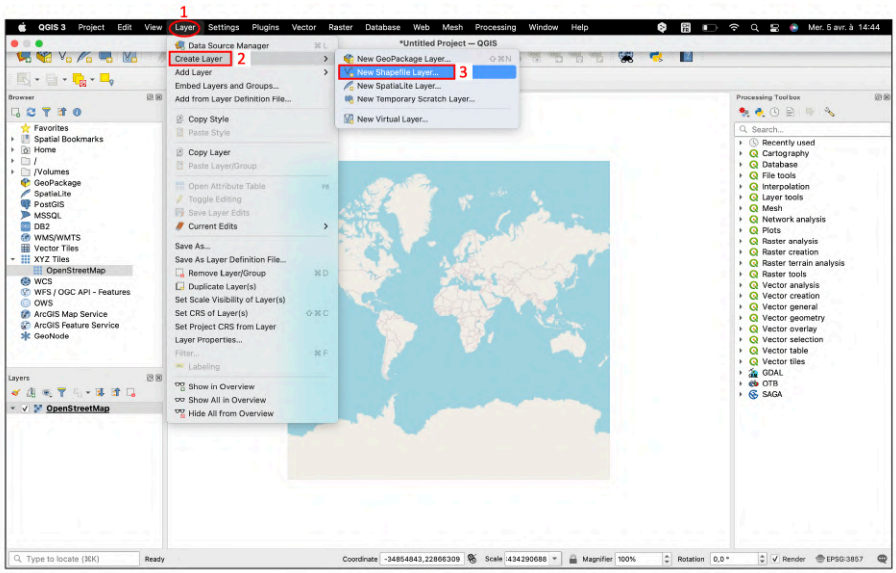


Figure 62 - Tutoriel QGIS – étape 2

Étape 3 : Ajouter les champs latitude et longitude

Une fois la création de la nouvelle couche initialisée, il faut rentrer les informations de cette couche. Il faut tout d'abord donner un nom et une localisation sur l'ordinateur à la couche (1). Il faut ensuite vérifier que le fichier est encodé en UTF-8 (2), sélectionner une géométrie *Point* (3) et sélectionner les coordonnées WGS84 (4). Après cela, il faut créer les champs latitude et longitude. Pour cela, il faut rentrer le nom (5), le type (6), la longueur (7) et la précision (8) comme dans la figure 63 ci-dessous. Puis cliquer sur *Add to Fields List* (9), et faire ça pour les deux coordonnées (latitude et longitude). Une fois toutes les informations rentrées, il suffit de cliquer sur le bouton *OK* (10).

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

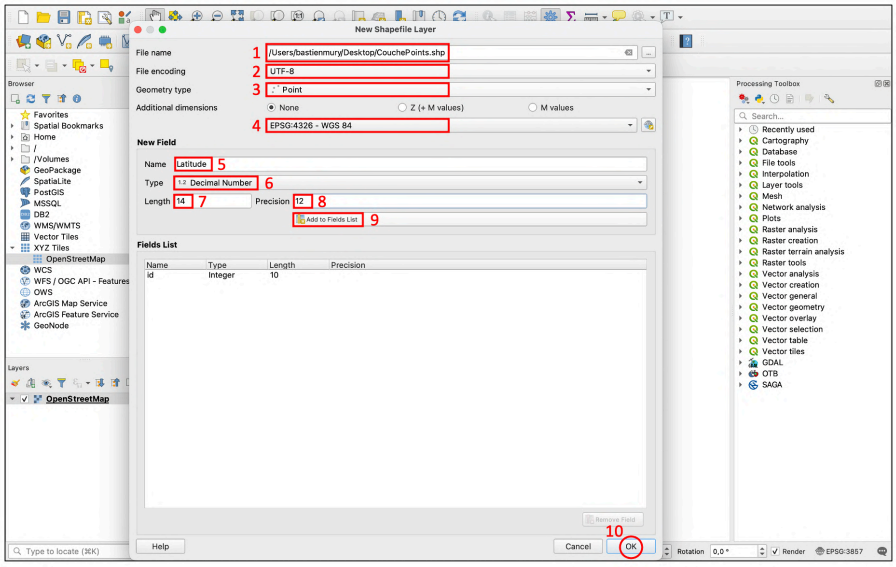


Figure 63 - Tutoriel QGIS – étape 3

Étape 4 : Activer le mode édition

Pour pouvoir placer des points dans la nouvelle couche créée précédemment, il faut activer le mode édition. Pour faire cela, il suffit de cliquer sur le bouton *Toggle Editing* représenté par un crayon jaune. La figure 64 illustre cette quatrième étape.

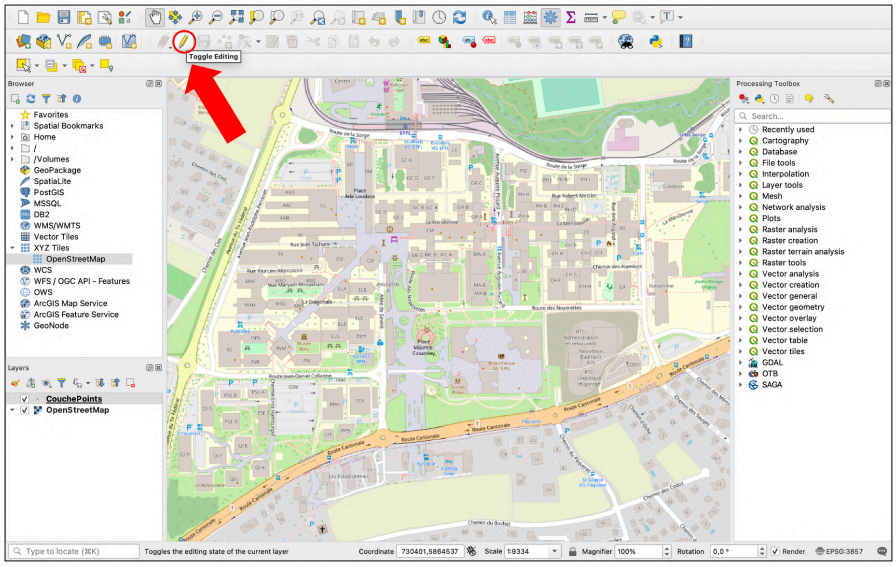


Figure 64 - Tutoriel QGIS – étape 4

Étape 5 : Placer les points

Il est maintenant temps de placer les points sur la carte. Pour faire cela, il faut d'abord cliquer sur le bouton *Add Point Feature* (1). Il suffit ensuite de cliquer sur la carte à l'endroit désiré. Une fenêtre va s'ouvrir. Il faut alors remplir la case *id* (2) avec le numéro du déficit correspondant à cette position. Les cases Latitude et Longitude doivent être laissées vides. Pour valider la création du point, il suffit de cliquer sur le bouton *OK* (3). La figure 65 illustre cette cinquième étape.

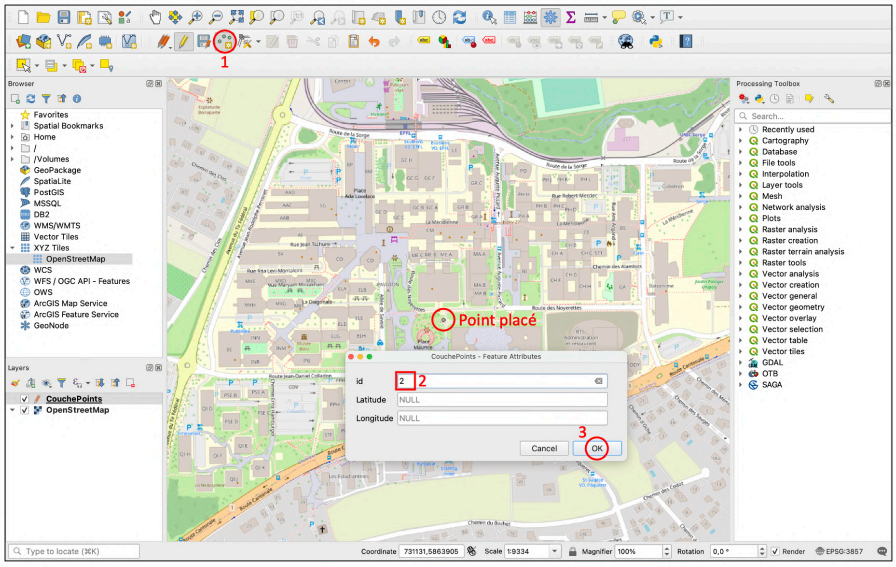


Figure 65 - Tutoriel QGIS – étape 5

Étape 6 : Désactiver le mode édition

Une fois que tous les points sont placés sur la carte, il faut désactiver le mode édition. Cette désactivation est très simple : il suffit de cliquer à nouveau sur le bouton *Toggle Editing* (1) représenté par un crayon jaune. Une fenêtre s'ouvrira demandant à l'utilisateur s'il veut sauvegarder les changements apportés à la couche. Il faut alors appuyer sur le bouton *Save* (2) pour bien enregistrer les points créés lors de l'étape 5. La figure 66 illustre cette sixième étape.

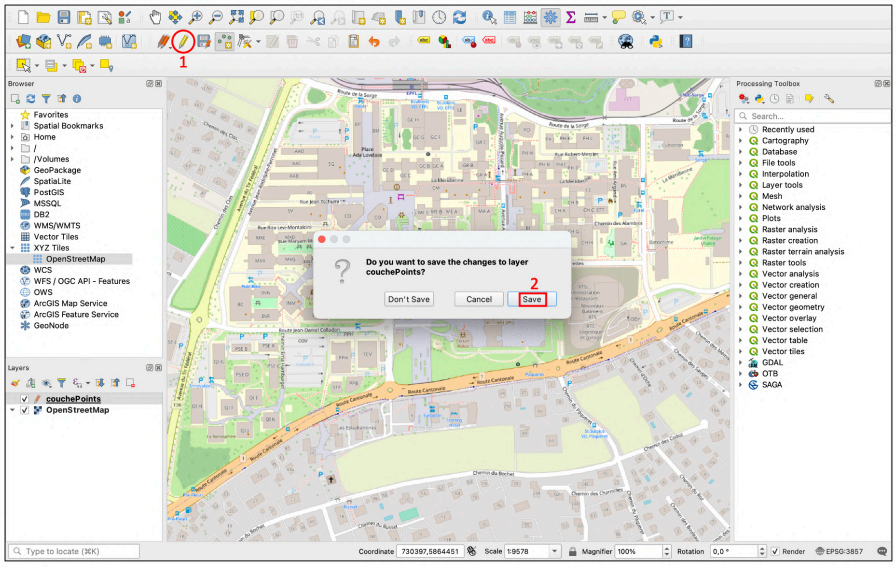


Figure 66 - Tutoriel QGIS – étape 6

Étape 7 : Ouvrir la table d'attributs

Afin de réaliser les derniers réglages sur les points enregistrés, il faut accéder à la table des attributs de la couche. Pour faire cela, il faut faire un clic droit sur la couche (1) puis cliquer sur *Open Attribute Table* (2). Une nouvelle fenêtre devrait s'ouvrir. La figure 67 illustre cette septième étape.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

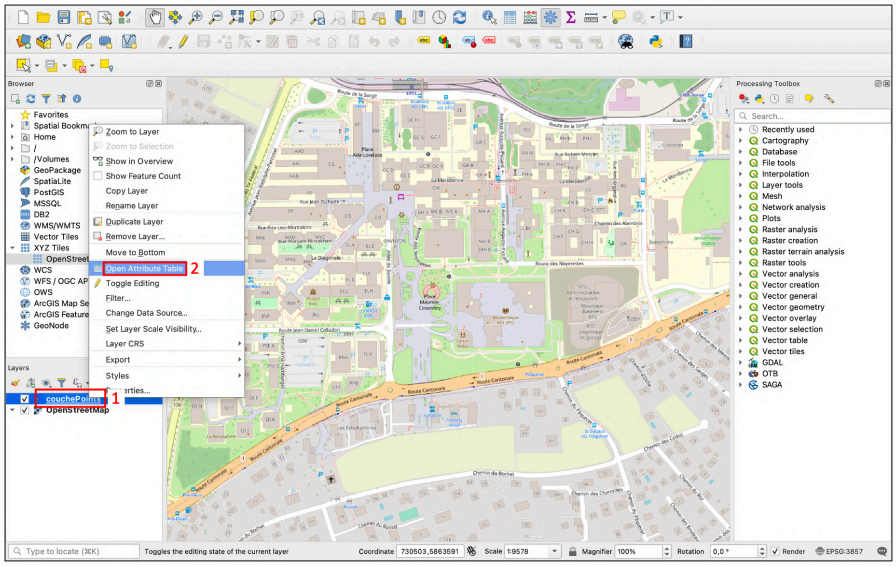


Figure 67 - Tutoriel QGIS – étape 7

Étape 8 : Ajouter les coordonnées

Le but de l'ouverture de cette fenêtre est d'ajouter les coordonnées latitude et longitude aux différents points créés. Pour cela, il faut d'abord ouvrir le calculateur de champ en cliquant sur le bouton représenté par un boulier (1). Une fenêtre s'ouvre alors. Il faut ensuite cliquer sur *Update existing Field* (2), puis sélectionner le champ latitude (3). Dans la colonne du milieu, il faut cliquer sur le thème *Geometry* (4) puis double-cliquer sur *$y* (5). Pour finir, il faut cliquer sur le bouton *OK* (6) pour valider la manipulation. Toutes ces actions doivent ensuite être refaites une deuxième fois pour le champ longitude. La seule différence est que cette fois, il faut sélectionner *$x*. La figure 68 illustre cette huitième étape.

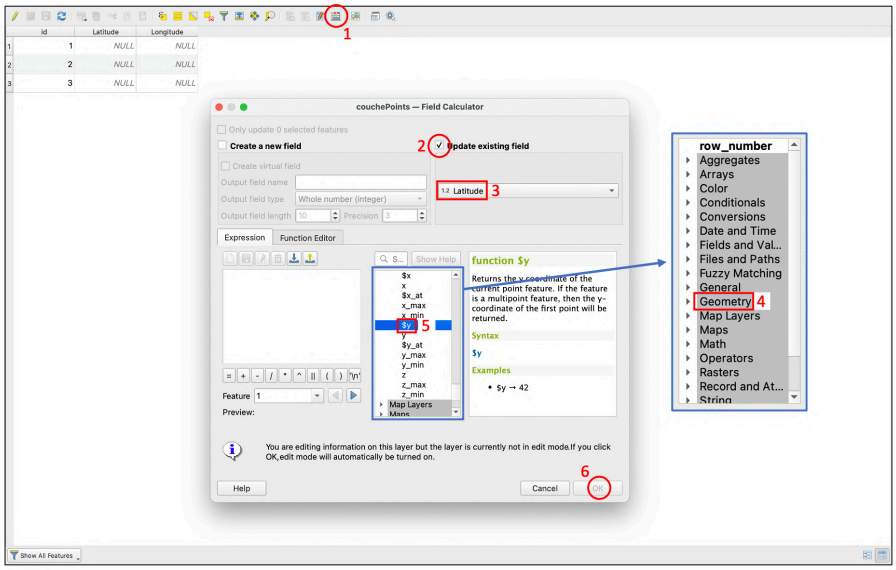


Figure 68 - Tutoriel QGIS – étape 8

Étape 9 : Exporter les coordonnées

Les points sont désormais créés et ils sont assimilés à des coordonnées. La dernière étape consiste à l'exportation de ces points dans un fichier CSV. Pour faire cela, il faut faire clic droit sur la couche contenant les points (1) puis cliquer sur *Export* (2) et *Save*

Features As (3). Une fenêtre s'ouvrira. Dans cette fenêtre, il faut vérifier que le format est en CSV (4), choisir un nom et une localisation sur l'ordinateur pour enregistrer le fichier (5) et décocher la case *id* (6). Pour finir, il suffit de cliquer sur *OK* (7) et la liste des coordonnées est exportée en format CSV.

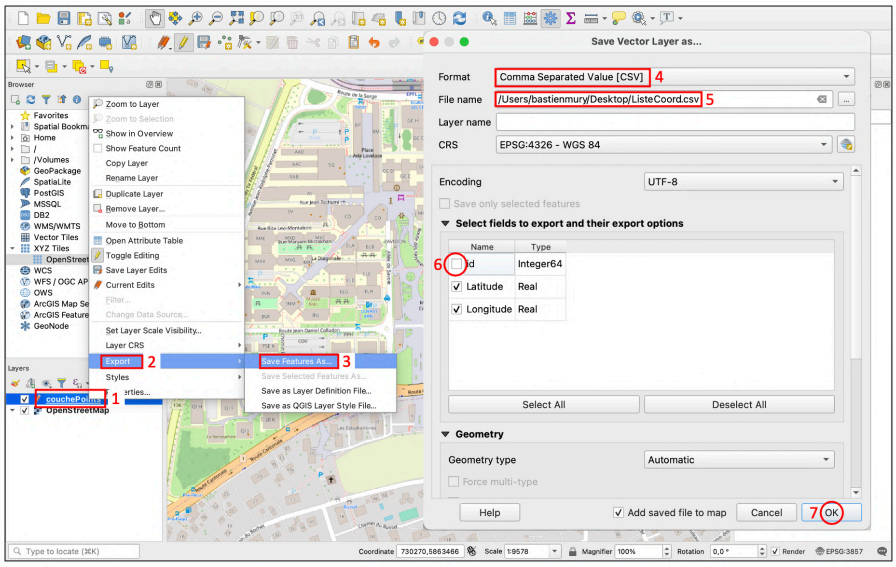


Figure 69 - Tutoriel QGIS – étape 9

6.7. ArcGIS : Création d'une carte interactive

Cette section décrit les différentes étapes nécessaires à la création d'une interface cartographique interactive à l'aide du logiciel ArcGIS. L'objectif est de créer une carte permettant d'afficher la localisation des déficits relevés dans le cadre d'un RSI, tout en offrant à l'utilisateur la possibilité d'obtenir plus d'informations sur ces déficits en un seul clic. Pour y parvenir, il est nécessaire de créer les fiches de déficits en PDF à l'aide du document Outil_Rapport.docm, ainsi que le fichier CSV contenant les coordonnées des déficits à l'aide du document Tableau_RSI.xlsm.

Le processus comprend 16 étapes qui vont être décrites ci-dessous. Avant toute chose, il faut posséder l'application ArcGIS, un système d'information géographique (SIG) ayant un prix abordable pour un bureau d'ingénieur (environ 600 euros par année).

Il est également nécessaire de créer un compte Dropbox pour réaliser le processus.

Cette marche à suivre est basée sur le travail de Monsieur Florent Zolliker dans le cadre de son Projet de Master. Une vidéo réalisée par lui-même illustre le processus et permet de compléter ce rapport. La vidéo est disponible au lien suivant :

https://www.youtube.com/watch?v=ET-hf5nlNRA&t=52s

Étape 1 : Importer les fiches de déficits sur Dropbox

Le but de la première étape est de rendre les fiches PDF des déficits accessibles en ligne. Pour cela, il faut les mettre sur une plateforme permettant de partager les fichiers de manière libre. La plateforme conseillée dans ce tutoriel est Dropbox. L'utilisateur doit donc avoir un compte Dropbox (gratuit) et s'y connecter. Il doit ensuite cliquer sur le bouton *Importer* puis sur *Dossier*. Il pourra ensuite choisir le dossier contenant les fiches PDF sur son ordinateur, et l'importer sur Dropbox. La figure 70 illustre cette première étape.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

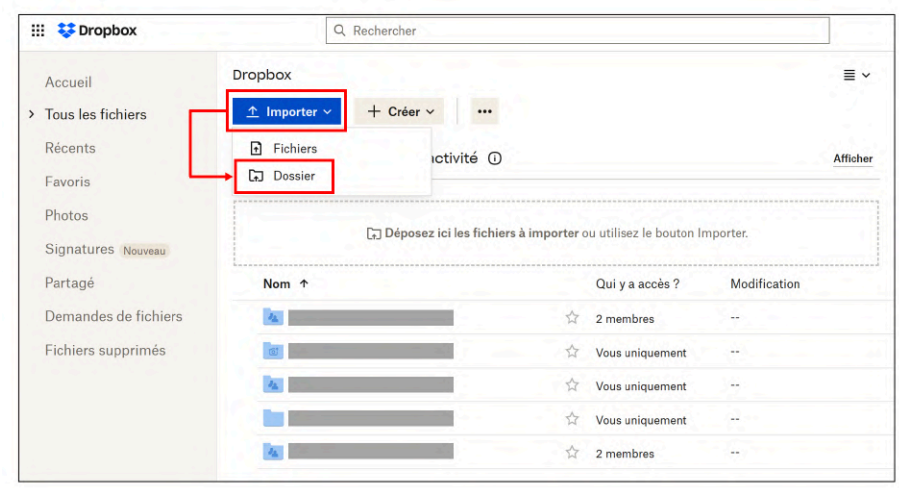


Figure 70 - Tutoriel ArcGIS – étape 1

Étape 2 : Rendre le dossier public et accessible en ligne

Dans cette étape, l'utilisateur doit rendre public le dossier contenant les PDF sur Dropbox. Le but est que n'importe qui puisse accéder aux fiches de déficit en utilisant un lien internet. Pour permettre cela, l'utilisateur doit sélectionner le dossier contenant les fiches puis cliquer sur le bouton *Partager*. Une fenêtre s'ouvre alors. Il faut ensuite cliquer sur *Paramètres* ce qui ouvrira une nouvelle fenêtre. L'utilisateur doit maintenant régler l'accès sur *Quiconque détient le lien*, puis cliquer sur *Enregistrer*. La figure 71 illustre cette deuxième étape.

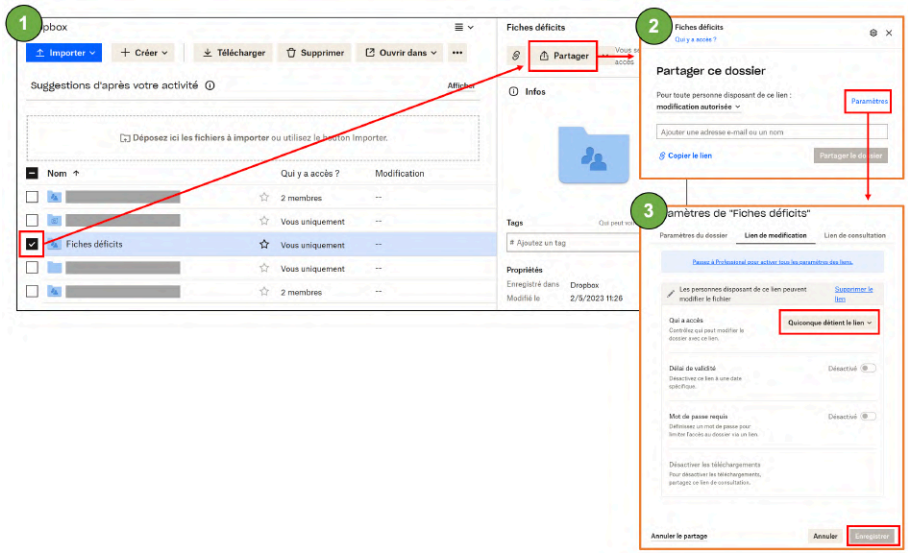


Figure 71 - Tutoriel ArcGIS – étape 2

Étape 3 : Copier le lien du dossier

L'étape 2 a permis de rendre le dossier contenant les fiches PDF accessible au public. Il faut maintenant obtenir le lien permettant d'y accéder. Pour faire cela, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton en haut à droite de la page, puis copier le lien. Il faut bien garder ce lien, il sera utile dans la suite de la procédure. Pour terminer cette étape, il est indispensable que l'utilisateur se déconnecte de son compte Dropbox. La figure 72 illustre cette troisième étape.

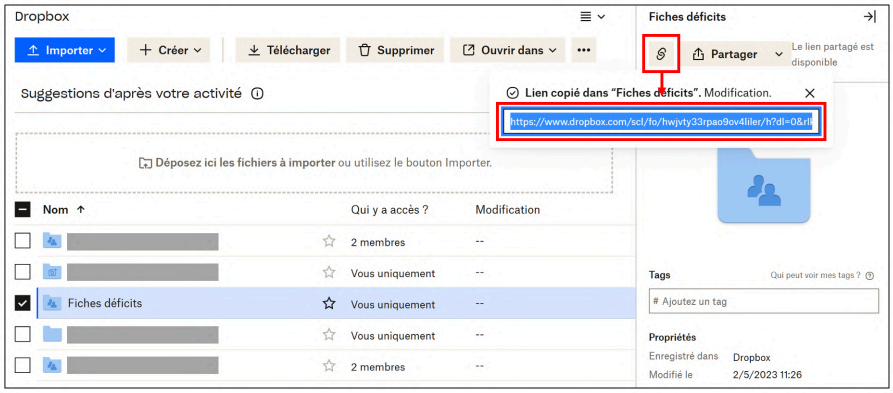


Figure 72 - Tutoriel ArcGIS – étape 3

Étape 4 : Créer un projet sur ArcGIS

Pour cette nouvelle étape, l'utilisateur doit ouvrir un autre logiciel : ArcGIS. Le but est d'abord de créer un projet. Pour cela, il faut cliquer sur le bouton *Map* ce qui ouvre une fenêtre. Il faut ensuite donner un nom au nouveau projet avant de cliquer sur *OK*. À la fin de cette étape, une carte devrait avoir été créée. La figure 73 illustre cette quatrième étape.

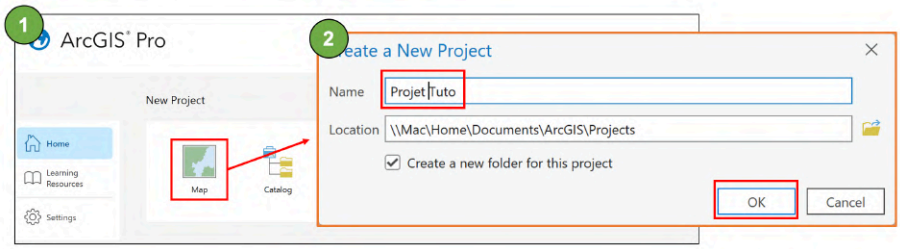


Figure 73 - Tutoriel ArcGIS – étape 4

Étape 5 : Importer le fichier CSV sur ArcGIS

Le but de cette étape est d'importer les données des déficits dans ArcGIS. Pour faire cela, il faut cliquer sur le bouton *Add Data*. Cela ouvre une fenêtre, et l'utilisateur peut sélectionner le fichier CSV préparé préalablement et contenant toutes les données des déficits. La figure 74 illustre cette cinquième étape.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

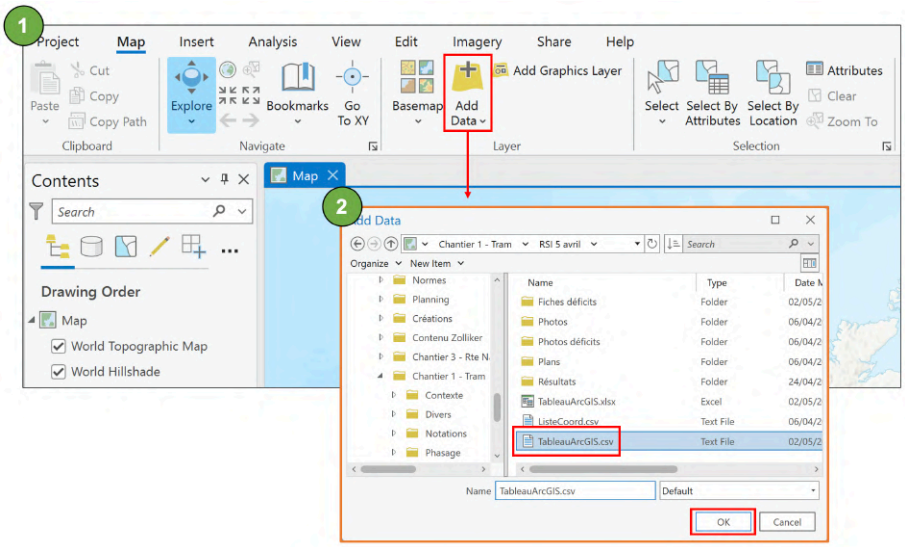


Figure 74 - Tutoriel ArcGIS – étape 5

Étape 6 : Créer les points sur la carte

Après avoir téléchargé les données dans l'étape précédente, il faut maintenant les exploiter. Le but est de créer des points sur la carte représentant les déficits. Pour faire cela, il faut faire clic droit sur le fichier CSV importé, situé à gauche de la page. L'utilisateur doit ensuite cliquer sur *Display XY Data* et cela ouvre une fenêtre. Il faut alors sélectionner la colonne Coordonnées Est WGS84 pour la case *X Field* et Coordonnées Nord WGS84 pour la case *Y Field*. La case *Z Field* doit être laissée vide et la case *Coordinate System* doit contenir *GCS_WGS_1984*. Un nom doit également être choisi et inscrit dans la case *Output Feature Class*. Quand tout est bien rempli, il suffit de cliquer sur *OK*. Des points devraient apparaître sur la carte à l'emplacement exact des déficits. La figure 75 illustre cette sixième étape.

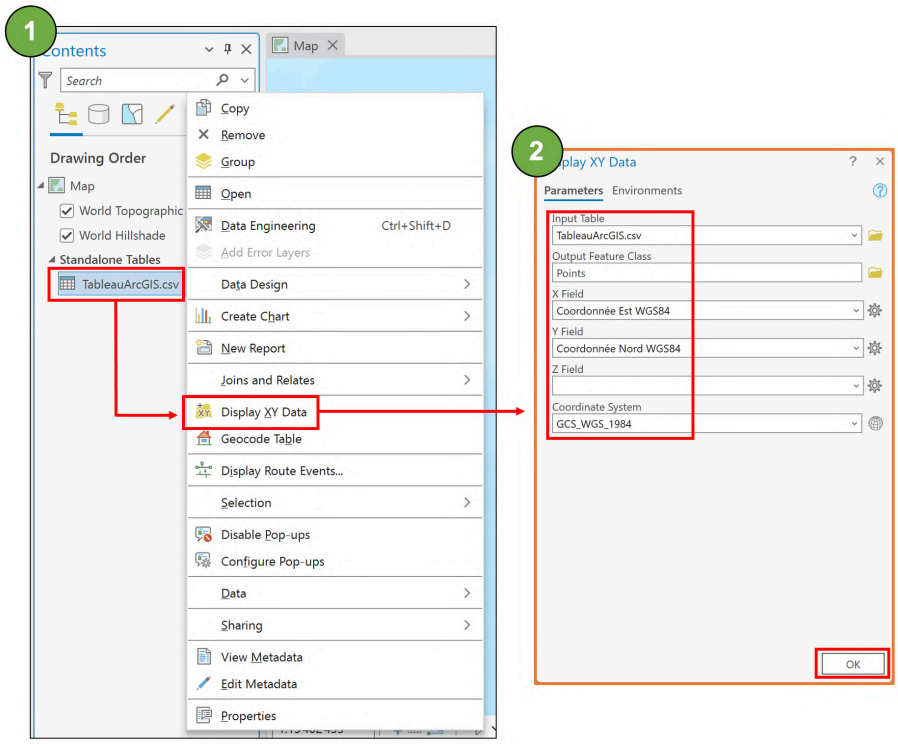


Figure 75 - Tutoriel ArcGIS – étape 6

Étape 7 : Modifier la symbologie des points

Le but de cette étape est de modifier la symbologie des points afin de rendre la carte plus visuelle et intuitive. Pour faire cela, il faut faire clic droit sur le dossier des points créés dans l'étape 6. Il faut ensuite cliquer sur *Symbology* et une fenêtre devrait s'ouvrir. L'utilisateur doit alors sélectionner *Unique Value* dans la première case et *Évaluation du risque d'accident* dans la deuxième case. Cela permet de faire varier le symbole affiché sur la carte en fonction du risque d'accident du déficit (faible, moyen, élevé). Il est ensuite conseillé de personnaliser les symboles. Pour cela, il faut cliquer dessus et choisir Circle 3. Un clic droit permet de modifier la couleur. La figure 76 illustre cette septième étape.

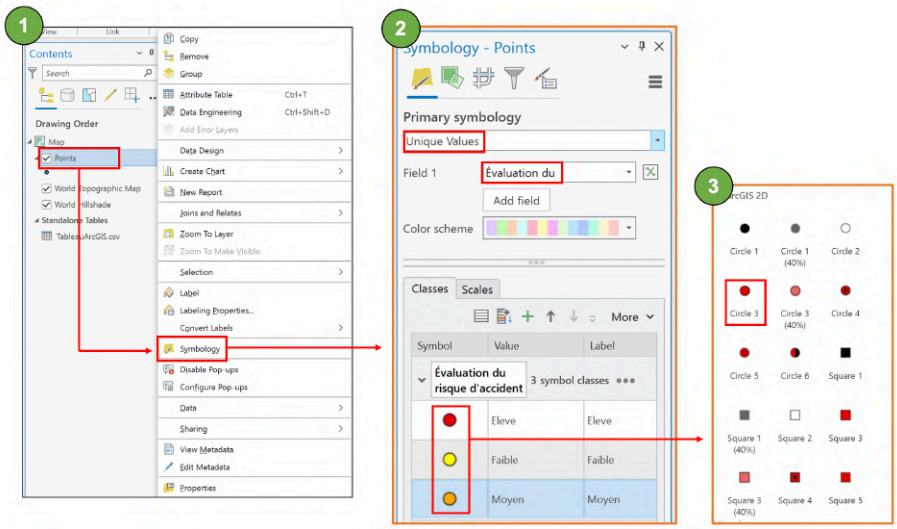


Figure 76 - Tutoriel ArcGIS – étape 7

La figure 77 représente l'amélioration que la modification de la symbologie apporte.

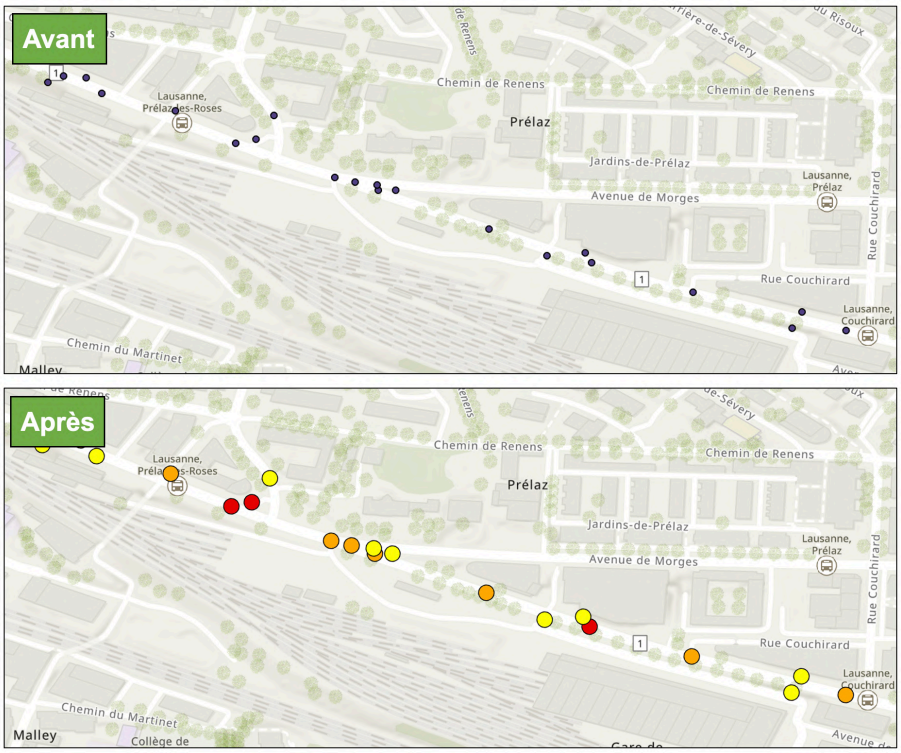


Figure 77 - Comparaison de la symbologie

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Étape 8 : Configurer la fenêtre Pop-up

La prochaine configuration concerne les Pop-ups. Le but est que lorsque l'on clique sur un point, on obtienne des informations claires et utiles. Pour gérer cela, l'utilisateur doit d'abord faire clic droit sur le dossier des points puis cliquer sur *Configure Pop-ups*. Une fenêtre s'ouvre alors et il faut maintenant cliquer sur le petit bouton représentant un crayon, ce qui devrait ouvrir une nouvelle fenêtre. Il faut ensuite décocher la case tout en haut pour permettre une sélection manuelle des informations qui seront disponible à l'activation d'un point. Le conseil ici est de ne garder activées que les 3 cases suivantes : No, Famille et Thème. Les autres informations sont déjà présentes dans la fiche de déficit. Il est évidemment possible de faire un autre choix en fonction des besoins du projet. La figure 78 illustre cette huitième étape.

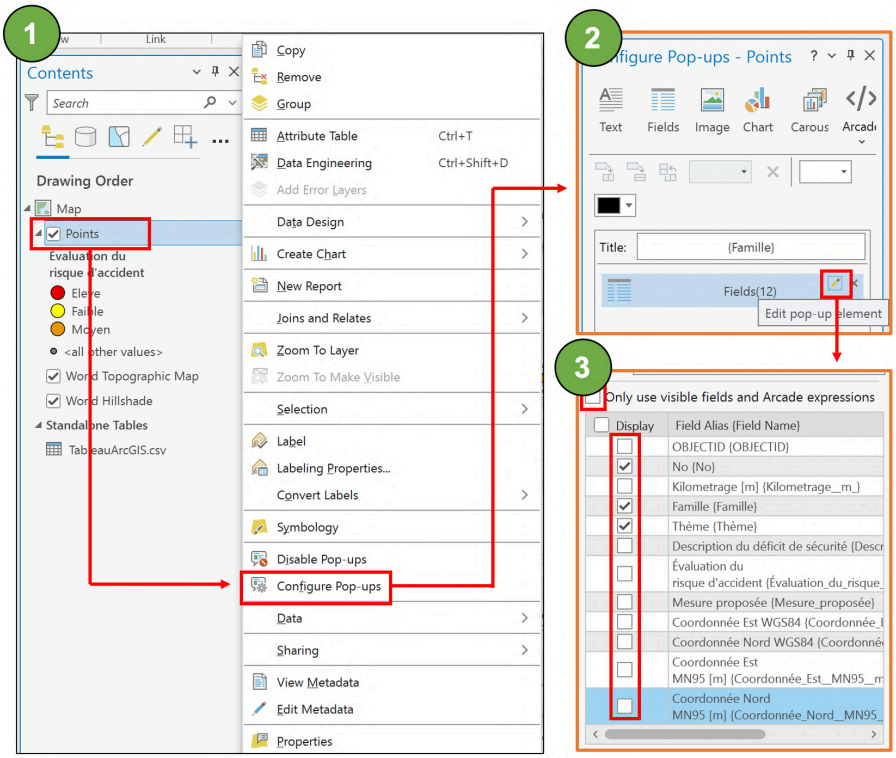


Figure 78 - Tutoriel ArcGIS – étape 8

Étape 9 : Pop-up : créer un texte

Toujours dans le menu de configuration des Pop-ups, le but maintenant est de créer un texte. Ce texte servira de lien cliquable pour obtenir la fiche de déficit. L'utilisateur doit d'abord cliquer sur le bouton *Text*, puis sur le petit bouton crayon. Une fenêtre s'ouvre alors. Il faut ensuite écrire le texte. Il est possible de modifier la taille, la couleur et la police. Pour qu'une partie du texte dépende du point sélectionné, le bouton *Field* peut être utilisé. Il permet de sélectionner une colonne du fichier CSV. Ici, le bout de texte {No} sera remplacé par le numéro de déficit. La figure 79 illustre cette neuvième étape.

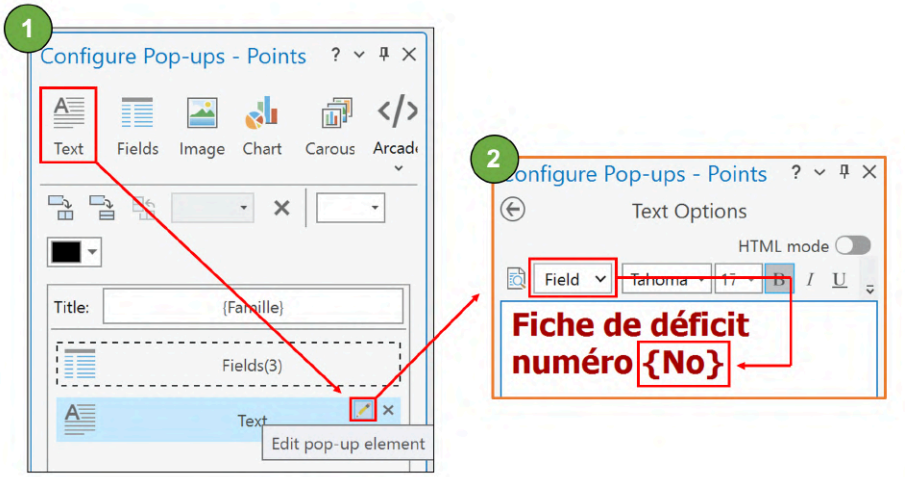


Figure 79 - Tutoriel ArcGIS – étape 9

Étape 10 : Récupérer le lien Dropbox

Pour cette étape, il faut utiliser le lien obtenu dans l'étape 3. Cela ouvre une page contenant toutes les fiches PDF. Il faut alors cliquer sur la première, et copier le lien obtenu depuis cette nouvelle page. Il est important de ne pas être connecté à son compte Dropbox durant la réalisation de cette étape. La figure 80 illustre cette dixième étape.

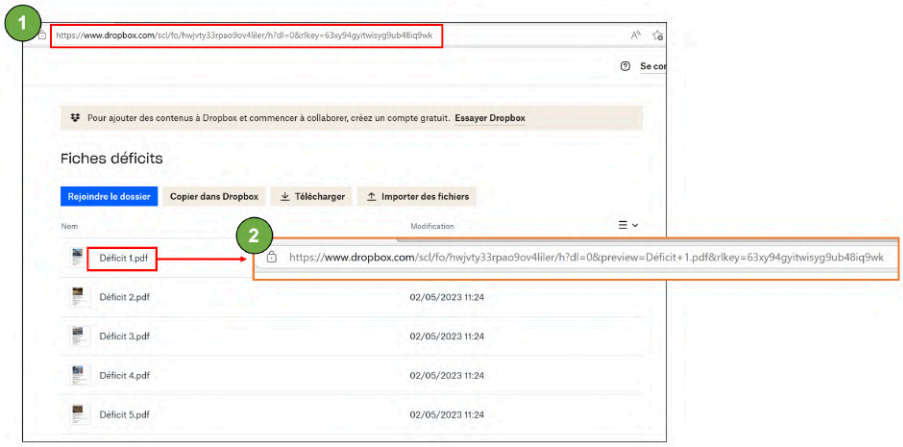


Figure 80 - Tutoriel ArcGIS – étape 10

Étape 11 : Pop-up : assimiler le lien au texte

À nouveau dans ArcGIS, l'utilisateur doit sélectionner le texte qu'il a écrit et cliquer sur le bouton permettant de créer un lien internet. Une fenêtre s'ouvre et il faut alors copier le lien internet obtenu durant l'étape 10 dans la case URL. Il y a cependant une manipulation à faire. Dans le lien, il y a un « 1 » écrit. Il doit être remplacé par « {No} » afin que la fiche de déficit qui s'ouvrira corresponde au bon déficit. La figure 81 illustre cette onzième étape.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

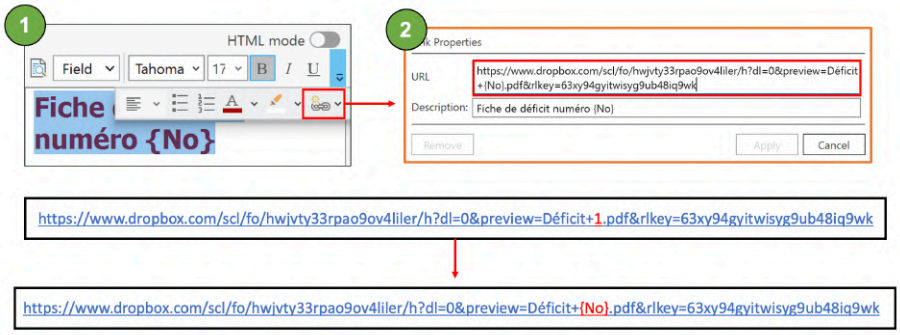


Figure 81 - Tutoriel ArcGIS – étape 11

Maintenant, en cliquant sur un point, un Pop-up apparaît. Ce Pop-up contient les informations choisies dans l'étape 8. En plus de cela, un lien existe aussi. En cliquant dessus, une page internet s'ouvre avec la fiche PDF correspondant au déficit sélectionné. La figure 82 illustre ce résultat.

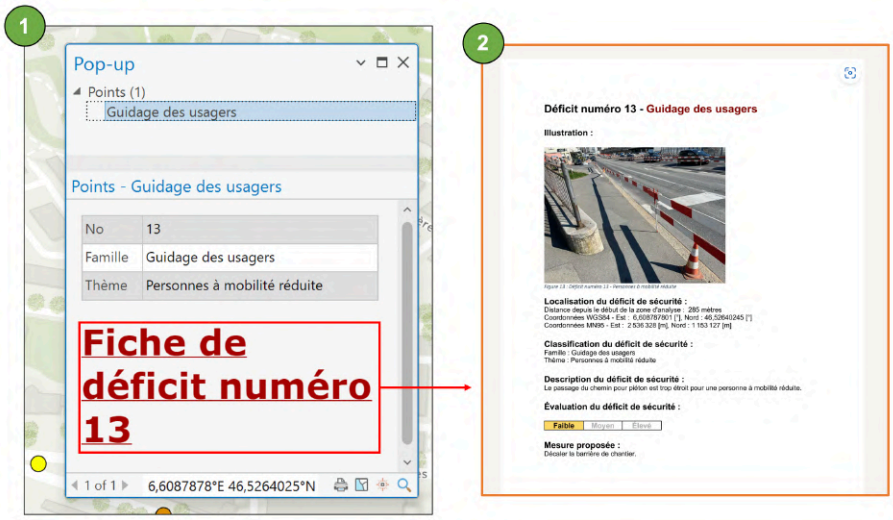


Figure 82 - Résultat du pop-up

Étape 12 : Partager la Web Map

La carte est désormais terminée. L'étape suivante consiste à la partager pour qu'elle puisse être accessible en ligne. Pour cela, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton *Web Map* dans l'onglet *Share*. Il peut ensuite choisir un nom (case Name) et une description (case Summary). La case Folder permet de créer un nouveau fichier ou d'utiliser un fichier existant. Ce fichier contiendra la carte dans ArcGIS Online. La figure 83 illustre cette douzième étape.

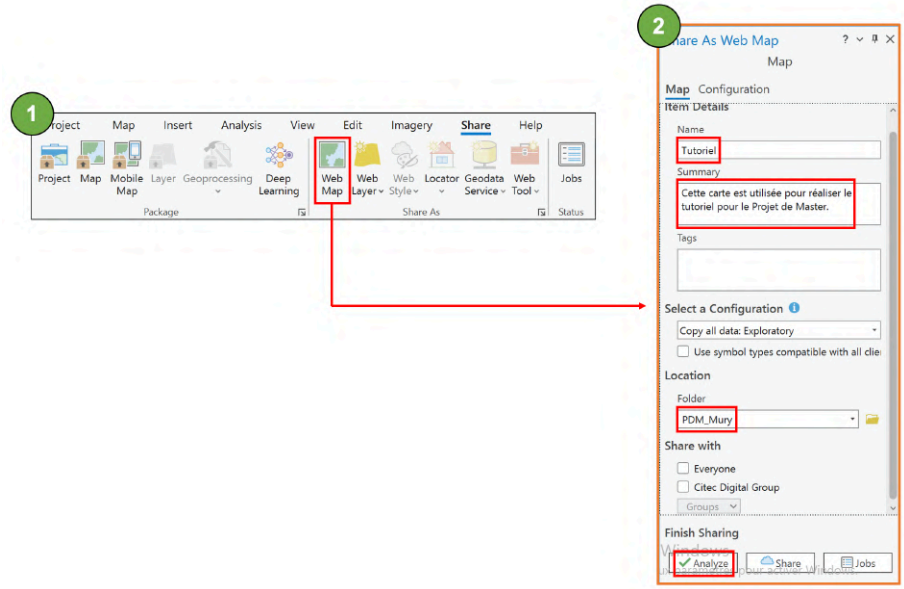


Figure 83 - Tutoriel ArcGIS – étape 12

Étape 13 : Résoudre les erreurs et valider

Avant de valider, il faut cliquer sur le bouton *Analyse*. Trois erreurs apparaissent alors, mais elles ne sont pas problématiques. Pour les résoudre, il faut cliquer sur l'erreur puis sur *Update Map To Use Basemap's Coordinate System* pour les erreurs du haut. Pour l'erreur du bas, il faut cliquer dessus puis sur *Open Map Properties To Allow Assignment* puis cocher la dernière case de la fenêtre qui s'ouvre. Les erreurs sont maintenant résolues. Il suffit de cliquer sur le bouton *Share* pour valider le partage de la Web Map. La figure 84 illustre cette treizième étape.

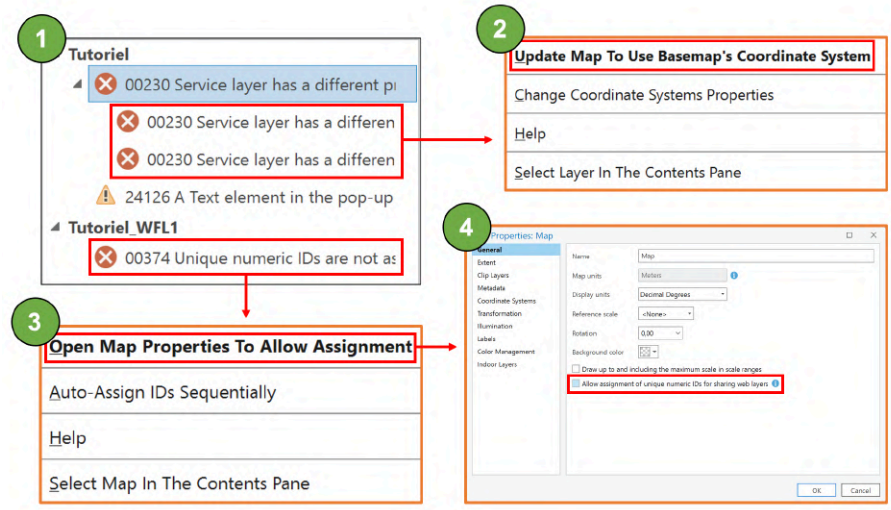


Figure 84 - Tutoriel ArcGIS – étape 13

Étape 14 : Rendre la carte publique sur ArcGIS Online

Pour cette étape, il faut se connecter à ArcGIS Online. Le fichier créé dans l'étape 12 doit être présent et doit contenir la carte. Afin de rendre la carte publique, l'utilisateur doit cliquer sur le bouton contenant un bonhomme. Une fenêtre s'ouvre alors. Il faut ensuite sélectionner *Everyone (public)* et appuyer sur *Save*. La figure 85 illustre cette quatorzième étape.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

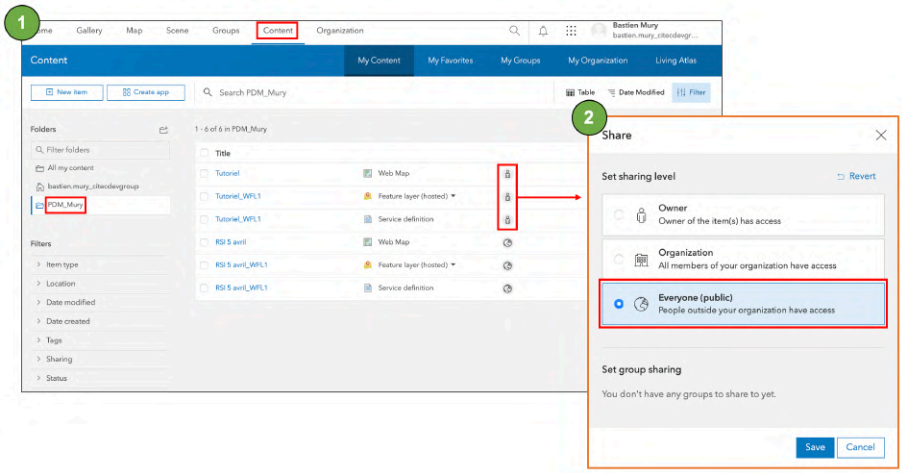


Figure 85 - Tutoriel ArcGIS – étape 14

Étape 15 : Copier le lien de la carte

Pour la dernière étape de cette marche à suivre, l'utilisateur doit d'abord cliquer sur le lien de la carte, puis sur le bouton *Open in Map Viewer*. La carte s'affiche donc comme souhaité, avec toutes les fonctionnalités créées dans ce processus. Il suffit alors de copier le lien de la page internet. Ce lien permet d'obtenir la carte même pour quelqu'un n'ayant pas de compte ArcGIS. La figure 86 illustre cette quinzième étape.

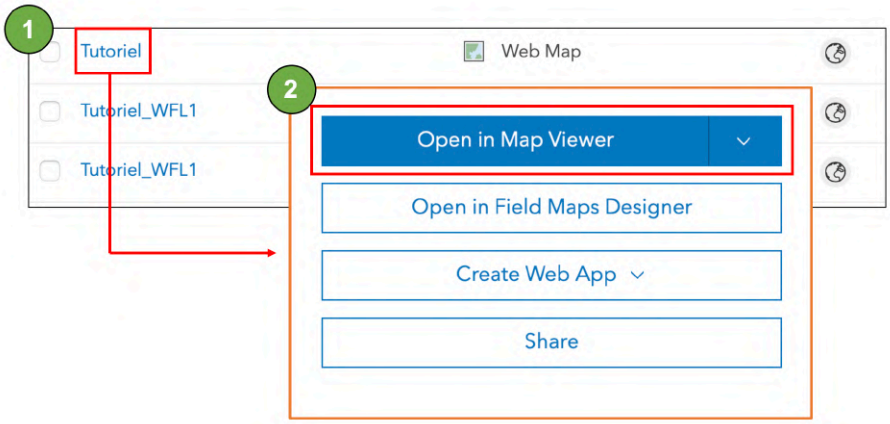


Figure 86 - Tutoriel ArcGIS – étape 15

Étape 16 : Fonctionnalités de la carte en ligne

Cette étape n'est pas forcément nécessaire pour le processus de création de la carte en ligne. Le but est ici de présenter les quelques fonctionnalités présentes en ligne pour l'utilisateur consultant la carte. Tout d'abord, il est possible de filtrer les déficits. Pour faire cela, il faut cliquer sur *Filtre* (à droite de la fenêtre) puis sur *Ajouter une expression*. Il est ensuite possible de filtrer les déficits en fonction de différents critères. Par exemple, un filtre par famille de déficits, par thème ou par gravité peut permettre à l'utilisateur de repérer facilement ce qui l'intéresse. Ensuite, une autre fonctionnalité peut être utilisée dans le cas où les déficits de différents RSI ont été placés sur la même carte. Pour cela, il faut cliquer sur *Couches* (à gauche de la fenêtre) puis il est ensuite possible d'afficher et de masquer les déficits de chaque RSI. En jouant avec cela, il est possible de se représenter visuellement l'évolution de la situation du chantier dans le temps. La figure 87 illustre ces fonctionnalités.

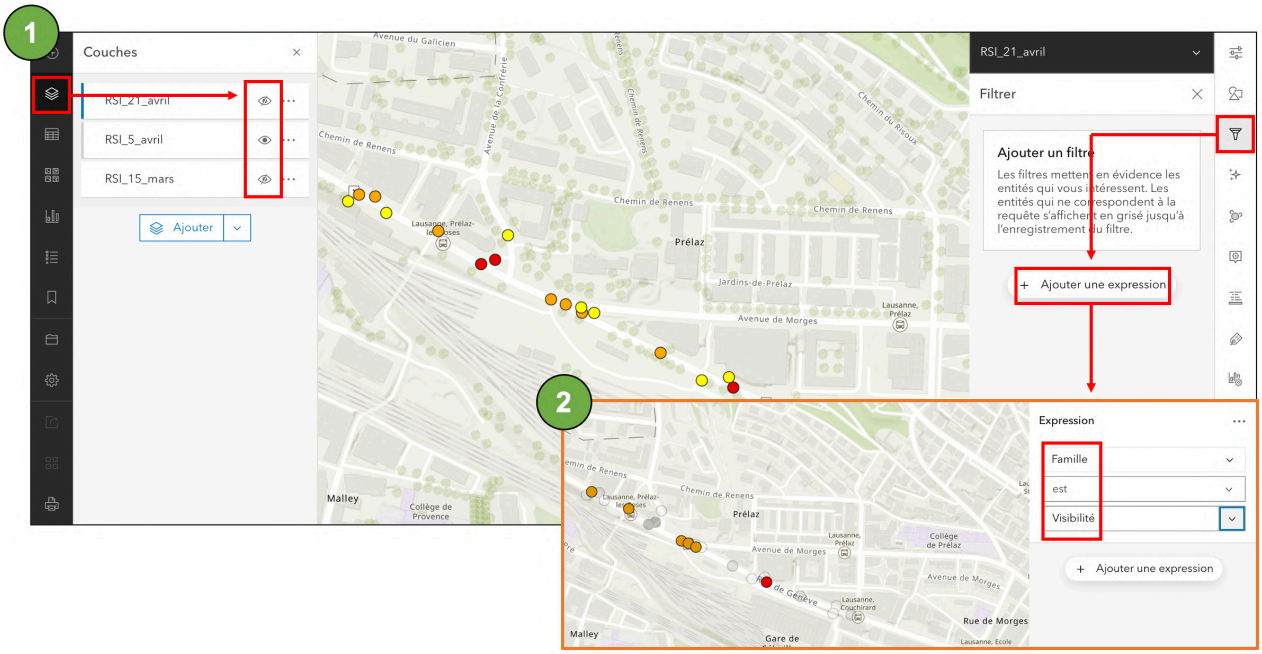


Figure 87 - Tutoriel ArcGIS – étape 16

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

7. Explication des macros

Ce chapitre a pour but de donner des explications approfondies sur le fonctionnement des macros présentes dans la partie 2 de l'outil. Ce chapitre est donc destiné aux utilisateurs souhaitant apporter des améliorations à l'outil et qui ont besoin de comprendre ce qu'il se passe en arrière-plan. Ces explications peuvent être utiles pour quelqu'un qui voudrait modifier, améliorer ou adapter l'outil en se plongeant dans ces macros Excel, Word et PowerPoint. Tous les codes des macros sont donnés en annexe de ce rapport. En outre, le chapitre abordera en détail le processus de transformation des coordonnées pour une meilleure compréhension de cette étape clé du traitement des données.

7.1. Activation du mode Développeur

Pour accéder aux macros, la première étape consiste à activer l'onglet Développeur. Cette activation ne doit être effectuée qu'une seule fois sur un ordinateur, car l'onglet reste disponible ensuite. Le processus d'activation est identique sur Word, Excel et PowerPoint. Il faut suivre les étapes suivantes. Tout d'abord, il faut cliquer sur l'onglet *File* (1). Ensuite, il faut sélectionner *Options* (2), puis cliquer sur *Customize Ribbon* (3). Il est ensuite possible de cocher la case *Développeur* (4) et cliquer sur *OK* (5) pour terminer la configuration. L'onglet développeur est maintenant accessible dans le ruban (6). La figure 88 présente une illustration de ce processus. Pour accéder aux codes, il suffit ensuite de cliquer sur le bouton Visual Basic dans l'onglet développeur.

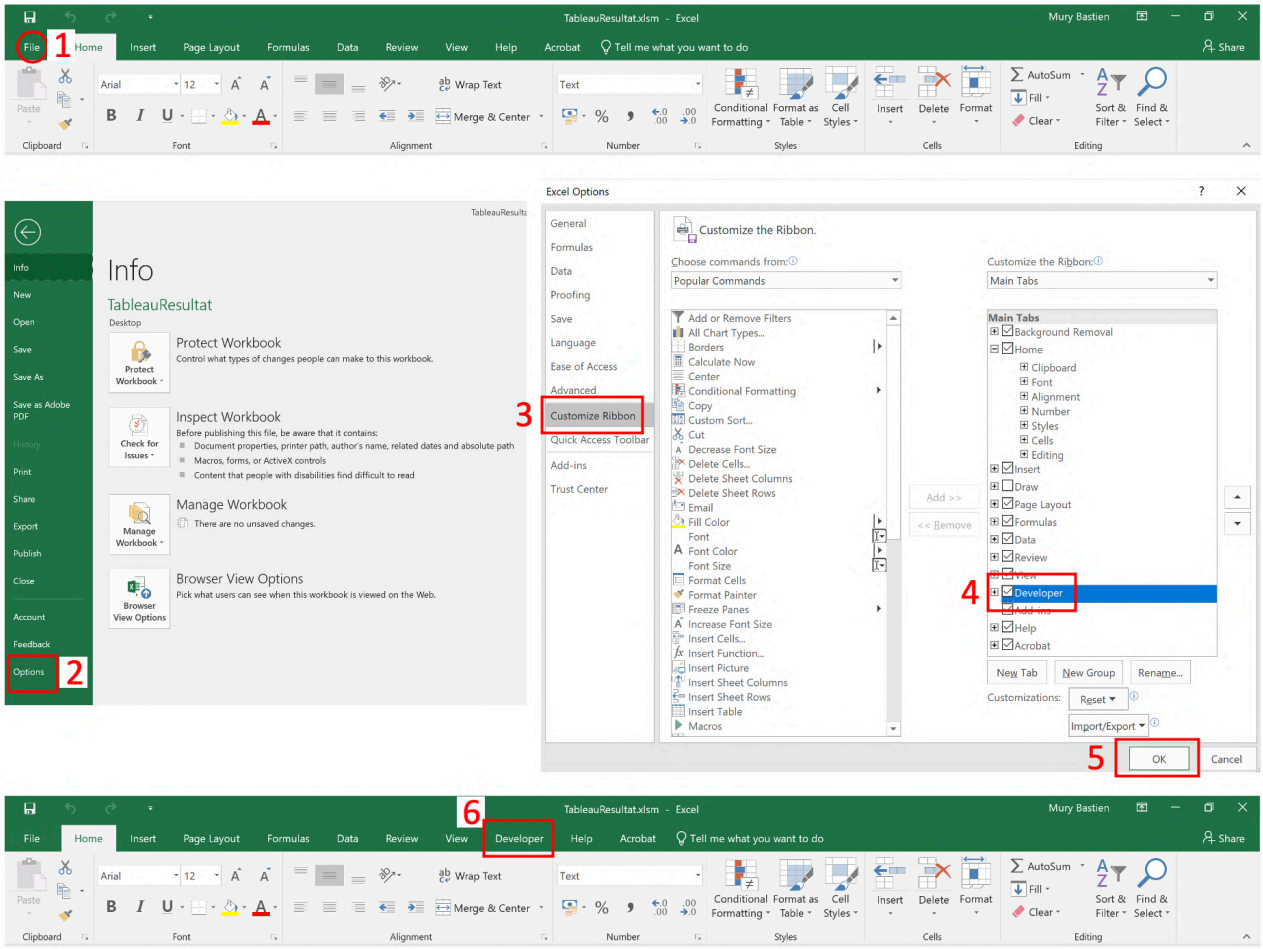


Figure 88 - Manipulations pour l'activation du mode développeur

7.2. Outil RSA

La version RSA de l'outil de traitement des données contient des macros sur Word, Excel et Powerpoint. La structure des codes va être présentée ci-dessous.

Excel

Les codes des macros sont situés dans des modules. Chaque module est assigné à un bouton et donc à une action réalisée par l'outil. Cette répartition dans les modules est valable pour toutes les macros, sur Word, Excel et PowerPoint. Dans l'outil Excel pour les RSA, il y a deux codes situés dans deux modules. Module1 contient le code assimilé au bouton « Processus de création du tableau » qui permet d'enclencher le processus de création du tableau. Module2 contient le code assimilé au bouton « Exporter les données » qui permet d'exporter le tableau dans le document Word.

Le code du module Module1 (« Processus de création du tableau ») fonctionne selon la logique suivante. Il va parcourir tous les thèmes étudiés dans les RSA les uns après les autres. Ces thèmes sont listés dans la page du document Excel nommée « Choix ». Pour chaque thème, le code fait appel à UserForm1, un formulaire demandant à l'utilisateur si un déficit a été relevé. Si l'utilisateur répond positivement, le code appelle la fonction interne nouvelleLigne(reponse). Cette fonction va sélectionner la première ligne vide dans la page Excel, créer une nouvelle ligne, la mettre en forme et la remplir. Un InputBox est utilisé pour demander à l'utilisateur de décrire le déficit en question. Lorsque tous les thèmes ont été traités, le code s'arrête.

Le module Module2 (« Exporter les données ») fonctionne de la manière suivante. Il sélectionne d'abord la totalité du tableau présent dans le document et le copie en mémoire. Il demande ensuite à l'utilisateur de choisir un document Word dans l'ordinateur. À la suite du choix, la macro va ouvrir le document Word et copier le tableau dans ce dernier. Ensuite, il enregistre le document Word et le ferme.

Word

Parmi les cinq modules présents dans le document Outil_Rapport.docm, un seul est utile pour les RSA : Module3. Ce dernier sert à rédiger automatiquement le rapport.

Le but du code est d'utiliser le tableau collé depuis Excel pour générer un rapport dans Word. La majorité des formules sont basiques. Il s'agit d'écrire du texte, d'aller à la ligne, de se déplacer dans le document, de faire des sauts de page ou de copier et coller les éléments du tableau. La seule fonction plus technique est NetText() qui permet d'assigner le contenu de la cellule d'un tableau à une variable. Pour commencer, le code appelle un formulaire (UserForm1) qui demande à l'utilisateur le type de chantier étudié (routier ou autoroutier). La variable publique Choix déclarée dans le module Module5 est alors nommée en fonction de la réponse de l'utilisateur. Le nom de cette variable va ensuite faire varier le code grâce à des instructions conditionnelles. Le code crée ensuite la page de titre en faisant varier la taille de la police et en centrant le texte. Enfin, une page résumant les thèmes du RSA est créée. Pour cela, le code appelle une fonction interne : pageThemes(). Pour finir, il crée le tableau résumant les déficits relevés. Il créé d'abord le tableau vide et remplit les deux premières colonnes qui ne changent pas d'un rapport à l'autre. La macro utilise ensuite une boucle parcourant les lignes du tableau des données pour remplir la fin du tableau ligne par ligne. La fonction check(theme) permet de détecter si le thème du déficit étudié correspond au thème de la ligne du tableau traitée. Cette fonction interne est appelée régulièrement durant le processus de création du tableau.

PowerPoint

La macro powerPoint contient quatre modules : Module1 est appelé par le bouton Élevé qui crée des points rouges pour les déficits de gravité élevée, Module2 est appelé par le bouton Moyen qui crée des points oranges pour les déficits de gravité

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

moyenne, Module3 est appelé par le bouton Faible qui crée des points jaunes pour les déficits de gravité faible et Module4 est appelé par le bouton Neutre qui crée des points verts pour les déficits sans précision de la gravité. La structure du code est identique pour les quatre modules. La seule différence est l'indice de couleur choisi pour le fond du cercle créé.

Le code crée deux objets différents. Il crée d'abord l'objet « forme » qui correspond au cercle. Il choisit la couleur, la taille et la position de ce cercle. Il crée ensuite l'objet « texte » qui correspond au numéro à l'intérieur du texte. Pour cela, il demande à l'utilisateur de choisir un numéro avec un InputBox. En fonction de la réponse de l'utilisateur, la position du texte est modifiée. En effet, si le numéro compte deux chiffres (>10), il doit être placé différemment que s'il n'en compte qu'un (1-9). Le but étant de placer le numéro de manière centrée par rapport au cercle. La dernière étape du code consiste à fusionner les deux objets.

7.3. Outil Points critiques

Tout comme la version RSA, l'outil des Points critiques dispose de macros pour Excel, Word et PowerPoint. Étant donné que le code de l'outil PowerPoint est identique à celui de la version RSA, il ne sera pas représenté ici. Toutefois, les codes des macros Excel et Word seront présentés dans cette section.

Excel

Il y a en tout quatre codes situés dans quatre modules. Module1 contient le code assimilé au bouton « Ajouter un point critique » qui permet d'ajouter une ligne au tableau. Module2 contient le code assimilé au bouton « Exporter les données » qui permet d'exporter le tableau dans le document Word. Module3 contient le code assimilé au bouton « Importer les coordonnées WGS84 » qui permet d'importer les coordonnées WGS84 des déficits dans le tableau. Module4 contient le code assimilé au bouton « Calculer les coordonnées MN95 » qui permet de réaliser la transformation de coordonnées entre WGS84 et MN95.

Le module Module1 (« Ajouter un point critique ») fonctionne selon la logique suivante. Il cherche tout d'abord la première ligne vide dans le tableur. Il met ensuite en forme la ligne en modifiant sa hauteur, en encadrant les cellules et en ajoutant un numéro dans la première colonne. La ligne vide est maintenant créée. Le formulaire UserForm1 est ensuite appelé. Ce dernier contient une liste déroulante. Cette liste est remplie par les différents types de points critiques possibles qui sont listés dans la deuxième feuille du document Excel : Choix. L'utilisateur doit donc choisir un thème et le choix qu'il fait est inscrit dans la deuxième colonne du tableau.

Le module Module2 (« Exporter les données ») fonctionne de la manière suivante. Il sélectionne d'abord la totalité du tableau présent dans le document et le copie en mémoire. Il demande ensuite à l'utilisateur de choisir un document Word dans l'ordinateur. À la suite du choix, la macro va ouvrir le document Word et copier le tableau dans ce dernier. Ensuite, il enregistre le document Word et le ferme.

Le module Module3 (« Importer les coordonnées WGS84 ») demande d'abord à l'utilisateur de sélectionner un fichier CSV dans l'ordinateur. Il va ensuite ouvrir ce fichier et le parcourir ligne par ligne. Pour chaque ligne, il copie les informations et les colle dans le tableau Excel aux colonnes prévues à cet effet.

Le module Module4, appelé (« Calculer les coordonnées MN95 »), est composé d'un grand nombre de formules et de constantes. Le code effectue le traitement des coordonnées ligne par ligne, en exécutant tous les calculs de transformation pour les coordonnées de la ligne 1, afin de créer les nouvelles coordonnées MN95. Une fois cette étape terminée, le code passe à la ligne 2, et ainsi de suite. Pour réaliser ce processus itératif, la fonctionnalité Do While est utilisée pour créer une boucle. De plus

amples informations sur les modifications de coordonnées sont fournies plus tard dans ce chapitre (section 7.5).

Word

Parmi les cinq modules présents dans le document Outil_Rapport.docm, un seul est utile pour le relevé des points critiques : Module4 (rédaction automatique du rapport des points critiques).

Le code de ce module a pour fonction de générer le rapport. Il n'utilise presque que des fonctions basiques permettant d'écrire du texte, d'aller à la ligne, de se déplacer dans le document, de faire des sauts de page ou de copier et coller les éléments du tableau. La seule fonction plus technique est NetText() qui permet d'assigner le contenu de la cellule d'un tableau à une variable.

Comme pour la version RSA, le code va d'abord appeler le formuler UserForm1 pour définir la variable publique Choix en fonction de la réponse de l'utilisateur, ce qui permet de faire varier le code en fonction du type de chantier (routier ou autoroutier). Le code créé ensuite la page de titre en faisant varier la taille de la police et en centrant le texte. Ensuite, il passe à une nouvelle page. Il rédige alors une introduction pour le rapport. Cette introduction est la même pour tous les rapports, le texte est donc écrit tel quel dans le code. Sur la même page, la macro insère un objet image avec la fonction InsertCaption. Une légende automatique indiquant le nombre de points critiques est également créée. Finalement, les points critiques sont listés sur une troisième page. Pour cela, le code va parcourir le tableau des données avec une boucle.

7.4. Outil RSI

Comme les autres versions, la version RSI de l'outil de traitement des données contient des macros sur Word, Excel et Powerpoint. La structure du code PowerPoint a déjà été présentée précédemment. Les codes Excel et Word vont être présentés ici.

Excel

Il y a en tout sept codes situés dans sept modules. Module1 contient le code assimilé au bouton « Ajouter une ligne » qui permet d'ajouter une ligne au tableau. Module2 contient le code assimilé au bouton « Exporter les données » qui permet d'exporter le tableau dans le document Word. Module4 contient le code assimilé au bouton « Importer les coordonnées WGS84 » qui permet d'importer les coordonnées WGS84 des déficits dans le tableau. Module5 contient le code assimilé au bouton « Exporter les statistiques » qui permet d'exporter les graphiques en format PNG. Module6 contient le code assimilé au bouton « Exporter le tableau PDF » qui permet d'exporter le tableau en format PDF. Module7 contient le code du bouton « Calculer les coordonnées MN95 » qui permet de réaliser la transformation de coordonnées entre WGS84 et MN95. Enfin, Module8 contient le code qui est assimilé au bouton « Exporter le tableau CSV » qui permet d'exporter les données sous format CSV.

Le module Module1 (« Ajouter une ligne ») fonctionne selon la logique suivante. Il cherche tout d'abord la première ligne vide dans le tableur. Il met ensuite en forme la ligne en modifiant sa hauteur et en encadrant les cellules. La ligne vide est maintenant créée. Pour demander des informations à l'utilisateur, la fonction InputBox est utilisée. Lorsque la saisie est plus complexe qu'un texte à remplir, le module va appeler un formulaire créé manuellement. Le formulaire UF2 crée une liste déroulante permettant de choisir la famille de déficit. Il est basé sur la feuille Excel « Choix » et utilise la fonctionnalité ComboBox. En fonction du choix de famille réalisé, un des quatre formulaires suivants va être appelé : UF31 (famille Visibilité), UF32 (famille Équipements et sécurité), UF33 (famille Guidage des usagers) ou UF34 (famille Organisation générale). Ces formulaires proposent à nouveau une liste déroulante

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

permettant de sélectionner le thème du déficit. Finalement, le dernier formulaire appelé est UF1. Ce dernier utilise la fonctionnalité des OptionButton et permet de proposer à l'utilisateur de cocher le niveau d'évaluation de la gravité du déficit. Le code va ensuite utiliser les informations données par l'utilisateur pour remplir la nouvelle ligne.

Le module Module2 (« Exporter les données ») fonctionne de la manière suivante. Il sélectionne d'abord la totalité du tableau présent dans le document et le copie en mémoire. Il demande ensuite à l'utilisateur de choisir un document Word dans l'ordinateur. À la suite du choix, la macro va ouvrir le document Word et copier le tableau dans ce dernier. Ensuite, il enregistre le document Word et le ferme.

Le module Module4 (« Importer les coordonnées WGS84 ») demande d'abord à l'utilisateur de sélectionner un fichier CSV dans l'ordinateur. Il va ensuite ouvrir ce fichier et le parcourir ligne par ligne. Pour chaque ligne, il copie les informations et les colle dans le tableau Excel aux colonnes prévues à cet effet.

Le module Module5 (« Exporter les statistiques ») demande à l'utilisateur de sélectionner un endroit dans l'ordinateur. Cet endroit correspond au lieu où les images seront exportées. Il va ensuite sélectionner chaque graphique et l'exporter au format PNG.

Le module Module6 (« Exporter le tableau PDF ») demande à nouveau à l'utilisateur de sélectionner un endroit dans l'ordinateur qui correspondra où le tableau PDF sera exporté. Pour exporter le PDF, le code de base appelle une fonction nommée EditionPDF().

Le module Module7, appelé (« Calculer les coordonnées MN95 »), est composé d'un grand nombre de formules et de constantes. Le code effectue le traitement des coordonnées ligne par ligne, en exécutant tous les calculs de transformation pour les coordonnées de la ligne 1, afin de créer les nouvelles coordonnées MN95. Une fois cette étape terminée, le code passe à la ligne 2, et ainsi de suite. Pour réaliser ce processus itératif, la fonctionnalité Do While est utilisée pour créer une boucle. De plus amples informations sur les modifications de coordonnées sont fournies plus tard dans ce chapitre (section 7.5).

Le module Module8 (« Exporter le tableau CSV ») demande à nouveau à l'utilisateur de sélectionner un endroit dans l'ordinateur qui correspondra où le tableau CSV sera exporté. Il utilise ensuite les données de la feuille « Feuille CSV » pour exporter le tableau au bon format.

Word

Parmi les cinq modules présents dans le document Outil_Rapport.docm, deux sont utiles pour le RSI : Module1 (rédaction automatique du rapport RSI) et Module2 (exportation des fiches de déficits en PDF).

Le module Module1 a pour fonction de générer le rapport. Il n'utilise presque que des fonctions basiques permettant d'écrire du texte, d'aller à la ligne, de se déplacer dans le document, de faire des sauts de page ou de copier et coller les éléments du tableau. La seule fonction plus technique est NetText() qui permet d'assigner le contenu de la cellule d'un tableau à une variable. Pour la création du tableau des trois degrés d'évaluation du déficit (élevé, moyen, faible), le code de base appelle une autre fonction présente dans le module permettant de créer le tableau vierge. Cette fonction est nommée tableau(). Ensuite, pour remplir le tableau, le code de base appelle l'une des trois fonctions suivantes : eleve(), moyen() ou faible(). En résumé, le code créé d'abord la page de titre, il utilise ensuite une boucle parcourant les lignes du tableau des données pour créer les pages de déficits. Pour finir, il réutilise une boucle pour créer le tableau résumant les déficits sur la dernière page. Le formulaire UserForm1 permet de demander à l'utilisateur le type de chantier et nommant la variable publique « Choix » en conséquence est à nouveau utilisé.

Le module Module2 sert à exporter les fiches de déficits en format PDF. Le code est basé sur le travail de Monsieur Florent Zolliker. Le code demande d'abord à l'utilisateur de choisir un lieu dans l'ordinateur. C'est dans ce lieu que seront exportées les fiches PDF. Le code demande ensuite à l'utilisateur de lui donner la première et la dernière page de la liste des pages des déficits. La macro parcoure ensuite les pages et crée un PDF pour chacune d'entre elles.

7.5. Changements de coordonnées

Le processus de localisation d'un point sur un chantier ou une carte topographique nécessite l'utilisation de coordonnées géographiques. Selon le système de coordonnées utilisé, les informations fournies sur l'emplacement du point peuvent varier. Dans cette section, les différences entre les coordonnées globales WGS84 et les coordonnées suisses projetées MN95 vont être expliquées. Le processus de conversion d'un système vers l'autre va également être développé.

Dans le logiciel de cartographie QGIS, la localisation des points est obtenue en coordonnées globales WGS84. Ces coordonnées sont exprimées en latitude et en longitude, mesurées en angle. Elles sont très précises, mais ne sont pas très visuelles pour l'utilisateur, en raison du nombre élevé de décimales. En effet, elles varient très peu d'une extrémité à l'autre d'un chantier, ce qui les rend difficilement compréhensibles pour les personnes qui ne sont pas familiarisées avec ce système de coordonnées.

Afin de faciliter la visualisation des données, il est nécessaire de convertir ces coordonnées en coordonnées suisses projetées MN95, qui sont exprimées en mètres et sont donc beaucoup plus faciles à visualiser pour l'utilisateur. La projection utilisée est une projection conforme à axe cylindrique qui conserve les angles. La surface de référence utilisée pour cette projection est l'ellipsoïde de Bessel, avec l'observatoire de Berne comme point central. La figure 89 illustre la différence entre ces deux types de coordonnées en comparant deux points aux extrémités d'un chantier (chantier du tram).

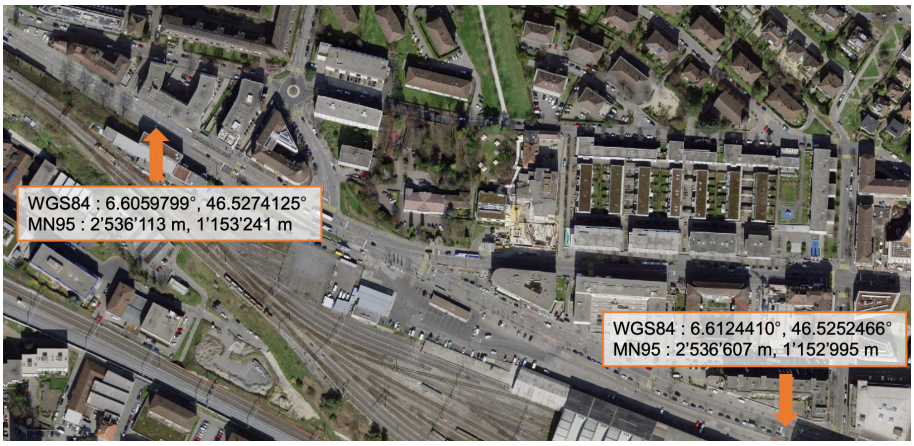


Figure 89 – Comparaison des coordonnées globales et locales

Une automatisation de la conversion des coordonnées géographiques WGS84 vers MN95 a été mise en place grâce à une macro Excel. Cette automatisation se déroule en 4 étapes distinctes pour garantir une conversion précise et fiable. La première étape consiste à convertir les coordonnées WGS84 ellipsoïdales en coordonnées cartésiennes. Cette conversion permet de représenter les coordonnées géographiques en un système de coordonnées cartésiennes, plus facile à manipuler pour les étapes suivantes. La deuxième étape consiste à transformer les coordonnées

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

WGS84 cartésiennes globales en coordonnées CH1903+ cartésiennes locales. Cette transformation prend en compte les différences de références géodésiques entre les deux systèmes de coordonnées pour garantir une précision optimale. La troisième étape consiste à convertir les coordonnées CH1903+ cartésiennes sous forme ellipsoïdale. Cela implique de prendre en compte les caractéristiques de la forme de la Terre, qui est approximée par un ellipsoïde. Une fois que les coordonnées CH1903+ sont converties en coordonnées ellipsoïdales, la quatrième et dernière étape consiste à projeter ces coordonnées dans le système MN95.

Ces différentes étapes sont complexes. Des constantes et des formules mathématiques spécifiques sont nécessaires pour effectuer cette conversion. Certaines étapes nécessitent même des itérations pour obtenir une précision suffisante. Le processus est donc très difficile à effectuer manuellement. C'est pourquoi une automatisation efficace est indispensable pour garantir la précision et la fiabilité des résultats. Et c'est ce qui a été fait avec le document Excel.

Le schéma de la Figure 90 illustre le processus de conversion des coordonnées.

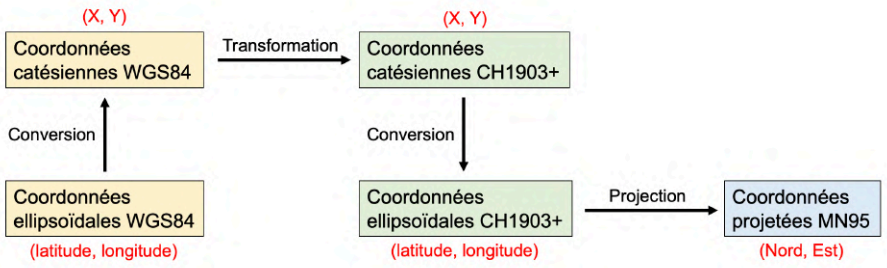


Figure 90 – Processus de conversion des coordonnées

8. Partie 3 de l'outil : système de notation

Ce chapitre va traiter de la troisième et dernière partie de l'outil d'application des RSI et RSA aux chantiers routiers. Le but de cette partie est de trouver une manière de donner une note à un chantier en fonction de sa situation. Un chantier bien géré et bien sécurisé doit obtenir une bonne note, alors qu'un chantier ayant beaucoup de déficits de sécurité doit obtenir une mauvaise note. Les notes sont données sur la base d'inspections RSI. Ce chapitre va donc expliquer comment sont données les notes et comment les interpréter. Une manière d'utiliser ces notes sera aussi proposée. Enfin, un document Excel dédié à la notation des chantiers a été créé. Une présentation de ce document va être faite.

8.1. Critères de notation

Dans la méthodologie d'application des RSI sur les chantiers routiers présentée précédemment, les déficits sont divisés en quatre familles différentes. Voici un rappel de ces familles :

- Visibilité
- Équipements et sécurité
- Guidage des usagers
- Organisation générale

Dans le système de notation, chaque famille est évaluée selon trois critères qui sont décrits ci-dessous :

- La densité D décrit le nombre de déficits relevés pour une certaine surface de chantier.
- La gravité G décrit l'évaluation générale des déficits relevés, en se basant sur le risque d'accident qu'ils génèrent.
- Les mesures M décrivent la facilité ou au contraire la difficulté à mettre en place des mesures pour contrer les déficits de sécurité.

Chacun de ces indicateurs compte 4 niveaux compris entre 0 et 3. Un niveau élevé correspond à une situation problématique alors qu'un niveau de faible valeur indique que la situation est contrôlée. Les niveaux des critères sont toujours entiers. La manière de noter chaque critère est présentée ci-dessous.

Le niveau de l'indicateur densité D est purement objectif et est basé sur le nombre de déficits relevés. La densité peut être calculée avec la formule suivante en prenant la surface en 10^3 m^2 :

Densité = NbrDéficits / Surface chantier

Le niveau est ensuite déterminé selon le tableau suivant :

Tableau 1 - Niveaux d'évaluation du critère Densité

Nb Déficits / 1000m²	Densité D
> 0,5	3
0,25-5	2
0-0,25	1
0	0

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Le niveau de l'indicateur gravité G est plus subjectif. Selon la méthodologie présentée au chapitre 5, chaque déficit se voit donner une évaluation de gravité. La gravité peut être faible, moyenne ou élevée. Le but est donc de réaliser une mise en commun de toutes ces évaluations pour obtenir le niveau de l'indicateur G de chaque famille de déficits. Pour cela, il faut tout d'abord compter le nombre de déficits de gravité élevée *NbrGraves*, le nombre de déficits de gravité moyenne *NbrMoyens* et le nombre de déficits de gravité faible *NbrFaibles* parmi tous les déficits relevés. La formule suivante permet d'obtenir l'indicateur G en fonction de ces trois valeurs.

$$G = \text{Arrondi}(4 - (3^{NbrFaibles} * 2^{NbrMoyens} * 1^{NbrGraves})^{(1/NbrTot)})$$

La formule est plus compliquée qu'une simple moyenne. Il s'agit d'une moyenne géométrique donnant plus de poids aux déficits plus graves. Le but de cette manière de faire est d'éviter de minimiser l'impact d'un gros déficit en le cachant avec plusieurs déficits faibles. Un exemple est donné pour illustrer ce choix. Dans cet exemple, un RSI a permis de relever 5 déficits. Dans un premier cas, 3 déficits sont faibles et 2 sont moyens. Cette situation semble à priori peu problématique. Dans un deuxième cas, 4 déficits sont faibles, mais un déficit est de forte gravité. Selon la nature de ce déficit grave, il ne serait certainement pas judicieux de qualifier cette situation comme étant peu problématique. Le tableau 2 donne le résultat de l'évaluation avec la méthode d'une simple moyenne et avec la méthode choisie de la moyenne géométrique.

Tableau 2 - Comparaison des méthodes de moyenne

Situation	Moyenne classique	Moyenne géométrique
Situation 1 (3 faibles + 2 moyens)	1,4 -> G = **1**	1,45 -> G = **1**
Situation 2 (4 faibles + 1 grave)	1,4 -> G = **1**	1,59 -> G = **2**

Ce petit exemple illustre parfaitement l'intérêt d'utiliser une moyenne géométrique. Une moyenne classique donne un niveau G de 1 dans les deux situations. À l'inverse, la moyenne géométrique permet à la situation 2 d'obtenir un niveau G de 2, prenant donc plus en compte la présence d'un déficit grave.

Le dernier indicateur concerne les mesures et est nommé M. Il fonctionne exactement de la même manière que l'indicateur G. Pour chaque déficit relevé, des mesures de correction sont imaginées. La mise en place de ces mesures est ensuite évaluée selon trois catégories : facile, moyen et difficile. Cette évaluation subjective est faite par l'ingénieur en prenant en compte le coût de la mesure, le temps de réalisation et les conséquences que la mesure implique. Une fois les mesures de chaque déficit évalué, le but est de réaliser une mise en commun de toutes ces évaluations pour obtenir le niveau de l'indicateur M de chaque famille. Pour cela, il faut à nouveau compter le nombre de mesures de niveau difficile *NbrDifficiles*, le nombre de mesures de niveau moyen *NbrMoyens* et le nombre de mesures de niveau facile *NbrFaciles*. La formule suivante permet d'obtenir l'indicateur M en fonction de ces trois valeurs. Pour la même raison que pour l'indicateur G, c'est une moyenne géométrique qui permet d'obtenir le niveau de l'indicateur M.

$$M = \text{Arrondi}(4 - (3^{NbrFaciles} * 2^{NbrMoyens} * 1^{NbrDifficiles})^{(1/NbrTot)})$$

Une dernière particularité existe dans l'évaluation des niveaux de gravité G. Dans le cas où un déficit extrêmement grave nécessitant une intervention urgente serait relevé, un véto peut être utilisé. Le véto est une technique utilisée dans les analyses multicritères permettant de supprimer toute compensation lorsqu'une certaine

situation arrive. Dans ce cas, la présence du déficit extrêmement grave donnera automatiquement un niveau 10 à l'indicateur de la gravité des déficits. Cette manière de faire a l'avantage de laisser la possibilité à l'ingénieur de pouvoir insister volontairement sur la gravité des déficits sans être restreints par la compensation générée par la présence de petits déficits.

Le tableau 3 résume les différents critères, les différents niveaux possibles et leurs significations.

Tableau 3 - Résumé des critères et des niveaux

Niveau	Densité D	Gravité G	Mesures M
0	Aucun déficit relevé	-	-
1	Nombre de déficits relevés faible	Déficits relevés de gravité globalement faible	Mesures proposées de difficulté de mise en place globalement facile
2	Nombre de déficits relevés moyen	Déficits relevés de gravité globalement moyenne	Mesures proposées de difficulté de mise en place globalement moyenne
3	Nombre de déficits relevés élevé	Déficits relevés de gravité globalement grave	Mesures proposées de difficulté de mise en place globalement difficile
10	-	Un déficit extrêmement grave relevé	-

Il est important de souligner que l'évaluation de ces trois critères est faite pour chaque famille de manière indépendante. Au total, 12 évaluations de niveau sont faites lors d'une notation (4 familles x 3 critères).

8.2. Calcul des notes

Une fois les indicateurs D, G et M évalués pour chaque famille, l'étape suivante concerne leur combinaison pour obtenir des notes. L'état de la situation C est donc calculé pour chaque famille avec la formule suivante :

$$C = D*\max(G,M)$$

L'état C combine donc la densité de déficits relevés avec l'indicateur le plus élevé entre la gravité et la difficulté des mesures proposées. Une note pour chaque famille peut ensuite être calculée en se basant sur cet état. La formule de la note est la suivante :

$$\text{Note} = \min(C/5, 5)$$

La note des familles est donc comprise entre 0 et 5. 0 correspond à une situation sans aucun problème. 5 correspond à une situation très problématique.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Une note globale est également donnée. Pour faire cela, une pondération est donnée à chaque famille. La pondération est résumée dans le tableau 4.

Tableau 4 – Pondérations en fonction de la famille

Famille	Pondération P
Visibilité	3
Équipements et sécurité	3
Guidage des usagers	3
Organisation générale	1

La pondération a été fixée en fonction du nombre de déficits relevés pour chaque famille durant les études de cas. Il est apparu que les trois premières familles génèrent en moyenne un nombre semblable de déficit, ce qui explique la pondération identique de 3. La quatrième famille génère trois fois moins de déficits, expliquant la pondération de 1.

La note globale est ensuite calculée selon la formule suivante :

```
Note = min((SOMME Ci * Pi)/10,5)
```

La note globale est à nouveau comprise entre 0 et 5. 0 correspond à une situation sans aucun problème et 5 correspond à une situation très problématique.

8.3. Interprétation des notes

Le but des notes n'est pas de remplacer un rapport ou de donner un résultat absolu de l'état de la sécurité d'un chantier. Le but est de donner un résultat facilement comparable afin d'évaluer l'évolution de la situation du chantier dans le temps. En effet, le but derrière ces notes est de réaliser une évaluation de la situation d'un chantier régulièrement et d'observer l'évolution des notes. Pour cela, des histogrammes permettent de représenter les notes de manière évolutive dans le temps. Ces graphiques peuvent permettre de justifier les mesures de sécurité mises en place en cas de bons résultats, ou au contraire, ils peuvent servir de preuve d'appui à la demande d'action de l'entreprise de construction en cas de dégradation des notes dans le temps. La figure 91 est un exemple de ces graphiques, réalisé avec des valeurs fictives.

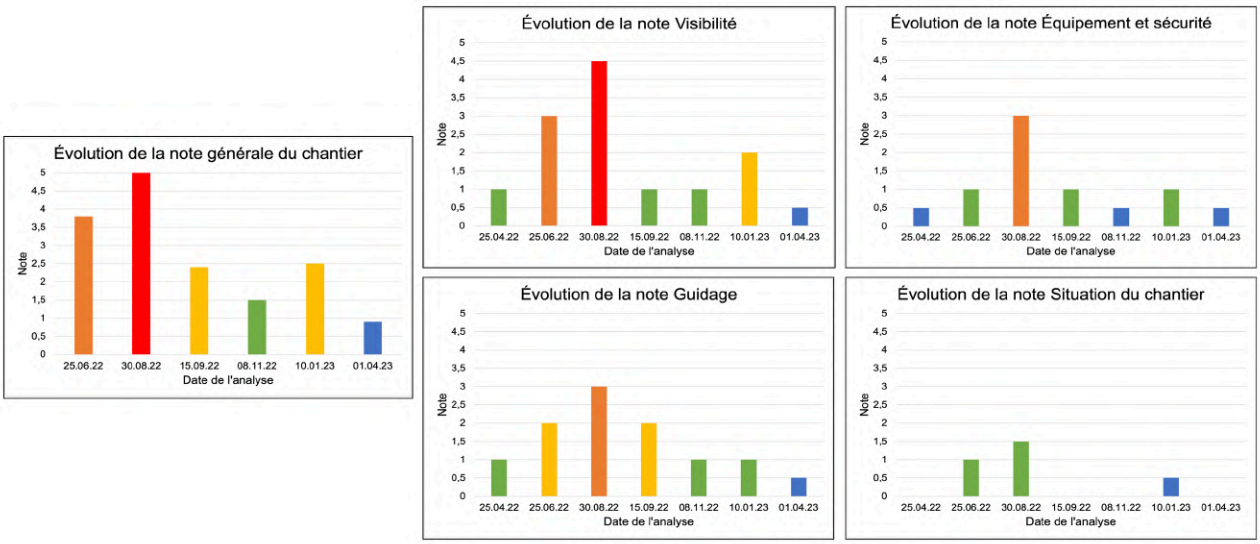


Figure 91 - Graphiques de notation basés sur des valeurs fictives

Cet exemple fictif illustre une situation où le niveau de sécurité dans un chantier se serait dégradé petit à petit jusqu'à atteindre une situation critique en août 2022. Cette alerte aurait permis de prendre des mesures et l'impact de ces mesures se refléterait dans la suite de l'évolution des notes, qui resteraient dans un cadre acceptable durant la suite du projet. Les graphiques des notes de chaque famille permettent également de montrer que le principal problème viendrait de la visibilité, ce qui donne une indication sur le levier d'action à activer pour réduire les problèmes. Il est important de noter que cette situation fictive sert à illustrer la fonction de cet outil. Dans la réalité, les résultats seront probablement moins flagrants et plus nuancés.

Une question apparaît avec la création de cet outil : à quelle fréquence réaliser un RSI pour obtenir une nouvelle note et une mise à jour de la situation du chantier ? Il n'y a cependant pas de réponse unique à cette question. Cela dépend de plusieurs facteurs. Tout d'abord, la taille du chantier peut faire varier cette fréquence. Un immense chantier avançant très vite et générant beaucoup de potentiels dangers pourrait nécessiter une vérification presque hebdomadaire. À l'inverse, un chantier de taille moyenne ou un chantier évoluant peu pourrait n'avoir besoin d'un RSI que tous les deux ou trois mois. Ensuite, un autre facteur qui peut influencer la fréquence est le planning du chantier. Une nouvelle grande étape avec des changements d'emprise routière justifie la réalisation d'un nouveau RSI. Il faut donc planifier la date des RSI en prenant en compte le calendrier du chantier. Finalement, il est important de souligner que cet outil de notation n'est pas adapté pour les petits chantiers. Il ne serait en effet pas possible d'évaluer l'évolution d'un chantier ne durant que quelques jours.

8.4. Utilisation de l'outil Excel

Le système de notation présenté dans ce chapitre a été automatisé dans un document Excel utilisant des macros. Le but de cette section est de présenter ce document et d'expliquer le fonctionnement de ce dernier.

Le document Excel est composé de trois pages. La première page (1-Indicateurs) a pour but de déterminer les niveaux des indicateurs pour chaque famille. Pour obtenir ces niveaux, l'utilisateur doit remplir les cases jaunes du tableau. Pour chaque famille, l'utilisateur doit indiquer le nombre de déficits relevés correspondant à chaque niveau de gravité, et à chaque niveau de difficulté des mesures. L'utilisateur doit également indiquer la surface totale du chantier analysé. Le tableau Excel calcule ensuite automatiquement la valeur des 3 indicateurs pour chaque famille (dans les cases bleues). La figure 92 illustre les fonctionnalités de cette page avec des valeurs fictives.

		Nombre de déficits relevés par niveau de gravité				Nombre de déficits relevés par niveau de difficulté des mesures					
Familles	**Nombre de déficits**	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**M1**	**M2**	**M3**	**Densité D**	**Gravité G**	**Mesures M**
Visibilité	8	3	2	3	0	2	7	0	2	2	2
Équipements et sécurité	13	7	5	1	0	1	11	1	3	2	2
Guidage des usagers	10	4	6	0	0	0	10	0	3	2	2
Organisation générale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Surface analysée :	17	[1000m2]									

Figure 92 – Page 1 du document Excel pour les notations

La deuxième page du document Excel (2-Résultat) a pour but de calculer les différentes notes de l'évaluation. L'utilisateur doit remplir les cases jaunes correspondant aux niveaux des indicateurs calculés sur la page précédente. Le calcul des notes se fera ensuite automatiquement. La case prévue pour la date de réalisation du RSI doit également être remplie par l'utilisateur. Le bouton « Enregistrer les notes »

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

est utile pour l'étape suivante du processus. La figure 93 illustre cette deuxième page avec les mêmes valeurs fictives que la figure 92.

Thème	Densité D	Gravité G	Mesures M	C = DxGxM	Pondération P	CxP	Notes /5
Visibilité	2	2	2	4	3	12	2
Équipements et sécurité	3	2	2	6	3	18	3
Guidage des usagers	3	2	2	6	3	18	3
Organisation générale	0	0	0	0	1	0	0
					Total :	48	4,8

Date : 15.03.23

Enregistrer les notes

Figure 93 - Page 2 du document Excel pour les notations

La troisième et dernière page du document est nommée 3-Evolution et sert à stocker les données des analyses. L'étape a été automatisée par une macro. Une fois que l'utilisateur a obtenu les notes de l'analyse dans la page 2, il peut appuyer sur le bouton « Enregistrer les notes ». Les notes sont ensuite automatiquement transférées sur la page 3 et les graphiques illustrant l'évolution des notes sont générés.

8.5. Fonctionnement du document et des macros

Cette section s'adresse à un utilisateur qui voudrait comprendre comment fonctionne le document, que ce soit dans les feuilles Excel ou dans les codes de la macro.

Les deux premières feuilles Excel n'ont aucun élément technique ne nécessitant des explications particulières. Il s'agit de simples calculs standards et de formules Excel. La troisième feuille a pour but la création des graphiques et une subtilité existe dans cette dernière. Afin de réaliser des graphiques ayant des couleurs différentes en fonction de la valeur de la note, une manipulation a dû être faite. Les catégories de couleur ont dû être créées manuellement. Ainsi, il n'y a pas un seul tableau pour stocker les données, mais six. Chaque tableau a pour point commun qu'une ligne correspond à une analyse. Le tableau de gauche est le tableau de base. Il sert à stocker les données des analyses avec toutes les notes. Tous les autres tableaux sont créés sur la base du premier. Chaque tableau correspond à une note. Les différentes catégories de couleurs sont créées en fonction des notes (0-1, 1-2, 2-3, 3-4 et 4-5) et chaque catégorie est une colonne du tableau. Les colonnes sont ensuite remplies comme ceci : si la note est comprise dans la catégorie, la colonne case de la colonne prend la valeur de la note. Les autres colonnes prennent la valeur 0. La figure 94 illustre cette logique.

Tableau de base

Numéro analyse	Date	Note visibilité	Note Equipement & Sécurité	Note Guidage	Note Situation	Note générale
1	15.03.23	2	3	3	0	4,8
2	16.03.24	2	3	3	0	2,2
3	17.03.25	2	3	3	0	0,5

	Note générale				
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5
Date	0	0	0	0	0
15.03.23	0	0	0	0	4,8
16.03.24	0	0	2,2	0	0
17.03.25	0,5	0	0	0	0

Figure 94 - Logique de remplissage des tableaux

La deuxième partie technique de ce document concerne la macro Excel. Cette macro sert à transférer les données de la feuille 2 vers la feuille 3 lors de l'activation du bouton « Enregistrer les notes ». Elle met aussi à jour les graphiques. Le fonctionnement de la macro n'a rien de complexe. Le code va tout d'abord ajouter une nouvelle ligne vide et mise en forme en dessous des tableaux existants de la feuille 3. Il va ensuite, note après note, copier les valeurs de la feuille 2 et les coller dans le tableau de la feuille 3. Enfin, il va mettre à jour les graphiques. Pour faire cela, il va, graphique après graphique, augmenter d'une ligne la plage de sélection des données du graphique. Il va également appeler la fonction Couleur() qui a pour but d'assurer que les différentes catégories de notes ont la bonne couleur associée dans le graphique.

9. Étude de cas 1 : chantier du tram Lausanne Flon – Renens

9.1. Planification de l'étude de cas

L'existence et la proximité du chantier du tram de Lausanne sont une excellente opportunité pour la réalisation d'une étude de cas dans ce Projet de Master. Le chantier est impactant, possède des déficits de sécurité à traiter et la période du Projet de Master couvre plusieurs étapes du chantier. Le choix est donc fait de réaliser plusieurs études sur ce chantier. Le but est de pouvoir tester le processus complet de l'outil en réalisant un RSA, une recherche des points critiques et un RSI. Il a d'ailleurs été fait le choix de réaliser plusieurs RSI sur ce chantier. Les objectifs de ce choix sont multiples. Premièrement, cela permet de tester régulièrement l'outil afin de pouvoir détecter des pistes d'amélioration et corriger des potentiels défauts. Ensuite, cela permet de vérifier l'impact qu'une série de RSI pourrait avoir sur la sécurité d'un chantier. Dans l'idéal, le nombre de déficits devrait être réduit entre la première et la dernière analyse. En effet, le retour de chaque RSI devrait permettre de corriger les déficits et donc d'améliorer la situation. Le système de notation des RSI (partie 3 de l'outil présenté au chapitre 8) pourra également être mis en application dans cette étude de cas.

La liste ci-dessous résume les différentes études réalisées sur le lot 7 du chantier du tram.

Tableau 5 - Études réalisées sur le chantier du tram

Étude réalisée	Date	Étape analysée
RSI 1	15 mars 2023	Étape 4ter
RSA	30 mars 2023	Étape 5
Points critiques	30 mars 2023	Étape 5
RSI 2	5 avril 2023	Étape 5
RSI 3	19 avril 2023	Étape 5
RSI 4	24 mai 2023	Étape 5

9.2. Résultats des RSI et RSA

RSI 1 - 15 mars

La première étude réalisée sur le chantier du tram est un RSI. Ce dernier a été fait le 15 mars 2023 durant l'étape 4ter, une sous-étape de l'étape 4. La visite de terrain s'est déroulée de 8h45 à 9h45, avec une météo dégagée. Il y avait deux objectifs principaux à ce premier RSI. Tout d'abord, le but était de tester l'outil pour pouvoir l'améliorer grâce au retour que cette expérience pratique allait apporter. Ensuite, le deuxième but était d'évaluer l'état de la situation de ce chantier d'un point de vue de la sécurité. Si des améliorations sont possibles grâce à ce premier RSI, cela serait une première réussite.

Durant ce RSI, 22 déficits ont été relevés. La figure 95 résume la liste de ces déficits en indiquant le thème et l'évaluation de chaque déficit.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Numéro de déficit	Type de déficit	Évaluation du déficit
1	Visibilité - Lisibilité	Faible
2	Équipements et sécurité - Dégradations	Faible
3	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Moyen
4	Guidage des usagers - Garantie de capacité	Moyen
5	Visibilité - Lisibilité	Moyen
6	Visibilité - Lisibilité	Faible
7	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
8	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
9	Équipements et sécurité - Ouvriers	Faible
10	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
11	Équipements et sécurité - Éléments de sécurisation	Élevé
12	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Moyen
13	Guidage des usagers - Garantie de capacité	Moyen
14	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
15	Équipements et sécurité - Éléments de sécurisation	Faible
16	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Élevé
17	Guidage des usagers - Signalisation	Moyen
18	Guidage des usagers - Garantie de capacité	Moyen
19	Visibilité - Obstacles latéraux	Élevé
20	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
21	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
22	Guidage des usagers - Priorités	Faible

Figure 95 – Liste des déficits relevé dans le RSI du 15 mars

Cette liste, extraite du rapport du RSI, permet d'avoir une première vision de l'étude réalisée. 22 déficits est un nombre conséquent. Il est cependant à noter que 12 de ces déficits sont de gravité faible (54%) et seuls 3 sont de gravité élevée (14%). Beaucoup de ces déficits sont donc de la négligence de la part de l'entreprise de construction et il ne semble pas y avoir de problèmes majeurs dans les concepts de sécurité du chantier. Une autre information donnée par cette liste est le type des déficits présents en majorité sur ce chantier. Il apparaît que 14 déficits (64%) font partie de la famille « Guidage des usagers ». Cela donne une indication forte sur l'axe de progression à traiter pour réaliser des améliorations. Les graphiques de la figure 96, extraits du document Excel de l'outil, illustrent ces enseignements.

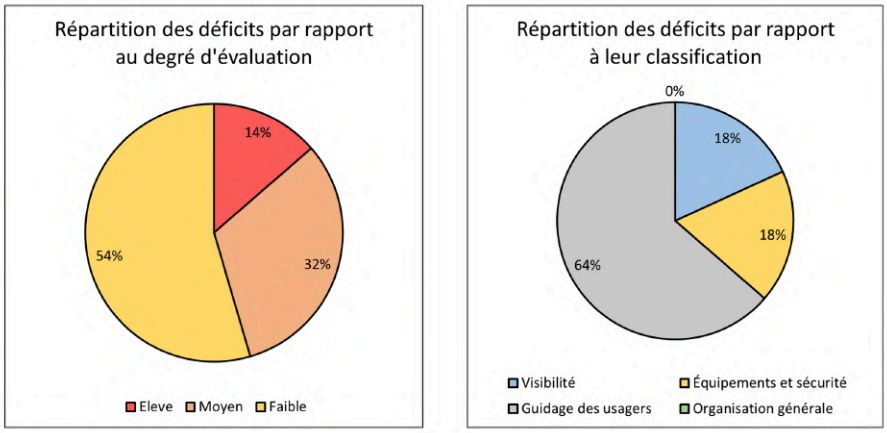


Figure 96 - Répartition des déficits par gravité et par famille

Une information intéressante à analyser est la répartition des déficits sur la longueur du chantier. La figure 97, extraite du document Excel de l'outil, illustre cela. Il apparaît que les déficits semblent répartis plutôt homogènement, avec tout de même une densité plus élevée sur les 200 premiers mètres (partie Ouest du chantier).

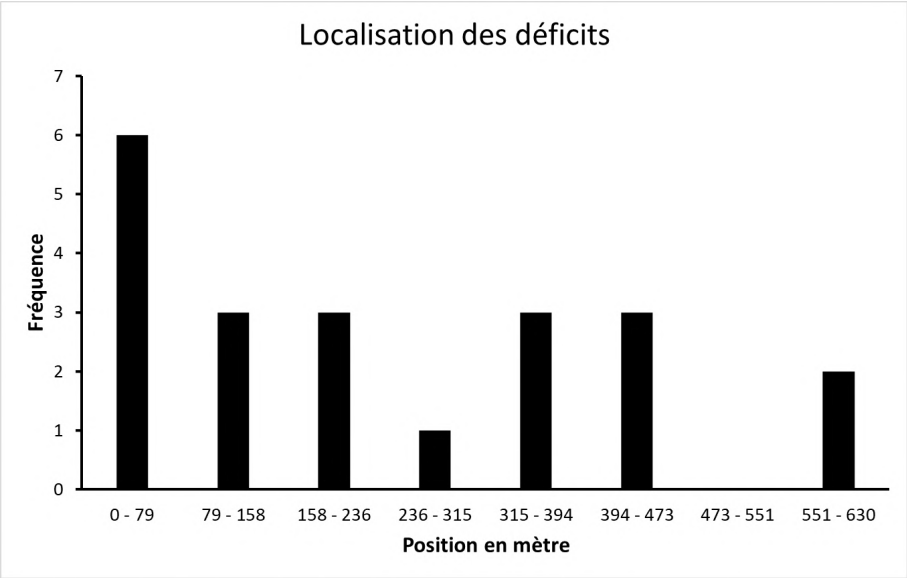


Figure 97 – Graphique de localisation des déficits relevés

Une autre façon de représenter la localisation des déficits est la carte. La figure 98 représente cette carte. Les déficits sont placés à l'endroit de leur localisation. La couleur des pastilles indique l'évaluation de la gravité du déficit. Le rouge représente un cas grave, le orange un cas moyen et le jaune un cas faible. Cela permet de se rendre plus facilement compte de la localisation des déficits graves à traiter en priorité. Cette carte permet aussi de remarquer une zone à haute densité de déficits à l'Ouest du chantier, ce qui confirme l'observation faite avec la figure 97.

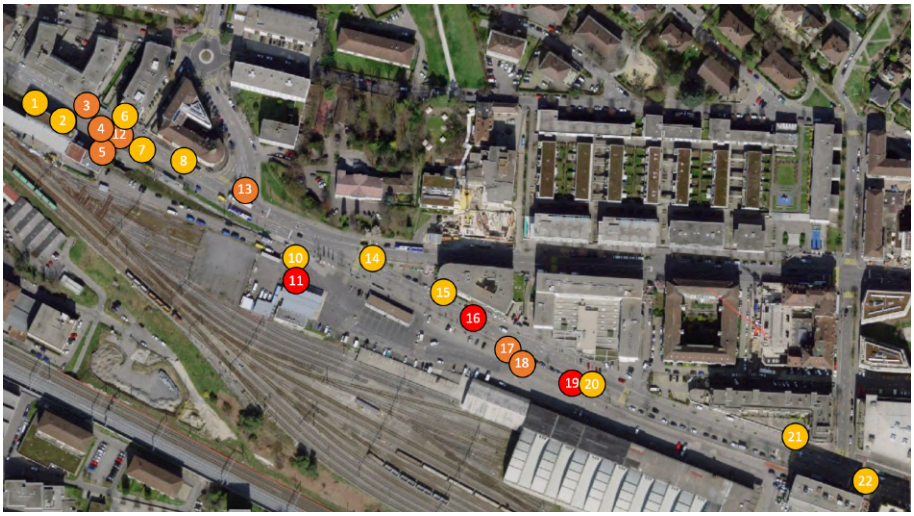


Figure 98 – Carte de localisation des déficits relevés

Pour ne pas surcharger le rapport, il n'y aura pas de description complète de tous les déficits relevés. Seuls les trois déficits de gravité élevée vont être expliqués. Pour plus d'informations sur les autres déficits, il est recommandé de consulter directement le rapport du RSI.

Déficit numéro 11 - Éléments de sécurisation

Le premier déficit présenté ici est le déficit numéro 11. Il fait partie de la famille *Équipements et sécurité* et du thème *Éléments de sécurisation*. Dans la zone d'accès de la Coop, il n'y a aucun élément de sécurisation (barrières, balises, cônes) entre le

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

chemin pour piétons et le passage pour véhicules, alors que la zone est dangereuse avec le passage régulier de véhicules. La mesure proposée est donc d'installer des barrières pour remplacer le simple marquage au sol présent lors de la visite. À la suite d'une discussion avec monsieur Epiney, il est apparu que la première proposition était déjà de mettre des barrières. Mais pour des questions d'exploitation Coop, cela n'a pas été possible. La situation sans barrière a donc été acceptée en partant du principe que le passage recommandé pour les piétons est au nord de la route. La figure 99 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 99 – Déficit 11 du RSI du 15 mars

Déficit numéro 16 - Déroulement du trafic

Le deuxième déficit est le déficit numéro 16. Il fait partie de la famille *Guidage des usagers* et du thème *Déroulement du trafic*. La ligne entre les deux voies de circulation sur la rue de Genève est presque effacée et les véhicules ne savent pas qu'ils doivent rouler sur le trottoir à droite car il est carrossable. Cela génère des situations de danger avec des véhicules roulant dans des sens opposés qui se croisent de manière proche. Il faudrait renforcer le marquage pour améliorer la situation. La figure 100 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 100 - Déficit 16 du RSI du 15 mars

Déficit numéro 19 - Obstacles latéraux

Le troisième et dernier déficit présenté ici est le déficit numéro 19. Il fait partie de la famille *Visibilité* et du thème *Obstacles latéraux*. La signalisation du passage piéton est très problématique. En plus du panneau indiquant le passage piéton, une planche en bois et un tonneau rouge et blanc ont été placés comme support. Le problème de ce support large et opaque est qu'il camoufle les piétons pour les usagers de la route. Il faudrait supprimer la planche en bois pour corriger ce déficit. La figure 101 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 101 - Déficit 19 du RSI du 15 mars

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

RSA - 30 mars

La deuxième étude réalisée sur ce chantier est un RSA. Ce dernier a été fait sur la base des plans de la nouvelle étape du chantier : l'étape 5. Le RSA a été fait le 30 mars, soit une semaine avant la mise en place de l'étape 5 prévue le 5 avril. Comme pour le RSI, la réalisation de ce RSA avait deux buts. Premièrement, il était intéressant de tester l'outil sur un cas concret pour pouvoir l'améliorer. Deuxièmement, le but du RSA était de relever des éventuels déficits pour pouvoir les corriger avant la mise en place de la nouvelle étape.

Dans le RSA, 16 thèmes différents ont été vérifiés. Pour 12 de ces thèmes, aucun déficit n'a été relevé. Mais 5 déficits ont tout de même pu être relevés dans les derniers thèmes. Le tableau de la figure 102, extrait du rapport RSA, résume la liste des thèmes vérifiés et le nombre de déficits relevés pour chacun.

No	Thème vérifié	Résultat de l'analyse
1	Périmètres du chantier	Situation conforme
2	Largeurs des voies	Situation conforme
3	Barrières de sécurité et balises	1 déficit relevé
4	Collisions frontales	Situation conforme
5	Niches d'évacuation	Situation conforme
6	Gestion du trafic	1 déficit relevé
7	Panneaux de signalisation	2 déficits relevés
8	Marquage au sol	1 déficit relevé
9	Masquage des éléments non pertinents	Situation conforme
10	Feux de circulation	Situation conforme
11	Guidage des piétons	Situation conforme
12	Circulation de nuit	Situation conforme
13	Phasage du chantier	Situation conforme
14	Riverains	Situation conforme
15	Lignes de bus	Situation conforme
16	Gestion des cyclistes	Situation conforme

Figure 102 – Liste des thèmes vérifiés dans le RSA du 30 mars

Le premier déficit relevé concerne le thème des barrières de sécurité. Sur le plan, une barrière a été placée entre le trottoir et une petite place entre deux rues. Le but des barrières est de séparer les chemins pour piétons des routes ou des zones de travaux. Cette barrière est donc inutile. De plus, limiter l'accès à la petite place restreint la place pour les piétons inutilement et complique le passage des personnes à mobilité réduite. Ce déficit n'était qu'une erreur d'inattention du dessinateur qui a fait le plan.

Le deuxième déficit relevé concerne le thème de la gestion du trafic. Les accès aux zones de travaux ne sont pas indiqués sur les plans. Après une discussion avec Monsieur Epiney, il apparaît qu'il est difficile de placer ces accès car les ingénieurs en mobilité n'ont pas forcément connaissance de ce qu'il se passe dans la zone des travaux.

Les déficits 3 et 4 font partie du même thème : les panneaux de signalisation. Ces derniers sont indiqués sur les plans de manière très précise. Il y a cependant eu deux oublis. Premièrement, il manque un panneau d'obligation de tourner à droite sur la sortie d'une route secondaire. Ce déficit n'est qu'un simple outil sur le plan. Deuxièmement, certains panneaux indiquant la présence des passages piétons aux véhicules sont également absents du plan. Cependant, Monsieur Epiney a souligné que la présence de ces panneaux n'est pas strictement obligatoire car les passages piétons sont régulés par des feux de circulation. Il est intéressant de souligner que le guide des panneaux de circulation présenté dans le chapitre 5 a pu être utilisé pour faciliter la vérification de ce thème.

Finalement, le cinquième déficit a été relevé durant l'analyse du thème du marquage au sol. Il manque une ligne en traits-tillés permettant aux riverains de tourner à gauche en rejoignant la route principale. Ce déficit est un simple oubli et peut être facilement corrigé sur le plan avant la mise en place de l'étape.

En résumé, le RSA présente 5 déficits qui, bien que présents, ne sont pas graves et peuvent être facilement corrigés. Par conséquent, la situation ne pose pas de problème majeur et l'étape 5 peut être abordée en toute confiance.

Relevé de points critiques - 30 mars

À la suite du RSA, un relevé des points critiques de l'étape 5 à venir a été réalisé, également le 30 mars. Le but de ce relevé n'est pas de trouver des déficits. Le but est de relever des endroits sur le chantier qui ont un risque plus élevé que la moyenne de générer un déficit plus tard. Ce ne sont donc pas des points à corriger, mais des points à surveiller. Les points critiques sont, par exemple, les passages piétons, les routes secondaires débouchant sur le chantier, les rétrécissements ponctuels de la chaussée ou encore les arrêts de bus. L'étape du relevé des points critiques est donc une jonction entre le RSA et le RSI. Cette liste est réalisée en fin de RSA, avant la mise en place du chantier. Elle peut ensuite être utilisée par l'ingénieur durant la mise en place pour vérifier qu'il n'y a pas de déficit dans l'un de ces points critiques. Elle peut aussi être utilisée durant un RSI fait ultérieurement comme un outil permettant d'indiquer les points à vérifier prioritairement.

Dans ce relevé, 22 points critiques ont été repérés. Les principales catégories de points critiques sont les accès secondaires (8 points critiques), les feux de circulation (6 points critiques) et les passages piétons (4 points critiques). Le graphique de la figure 103 résume la répartition par thème des points critiques relevés.

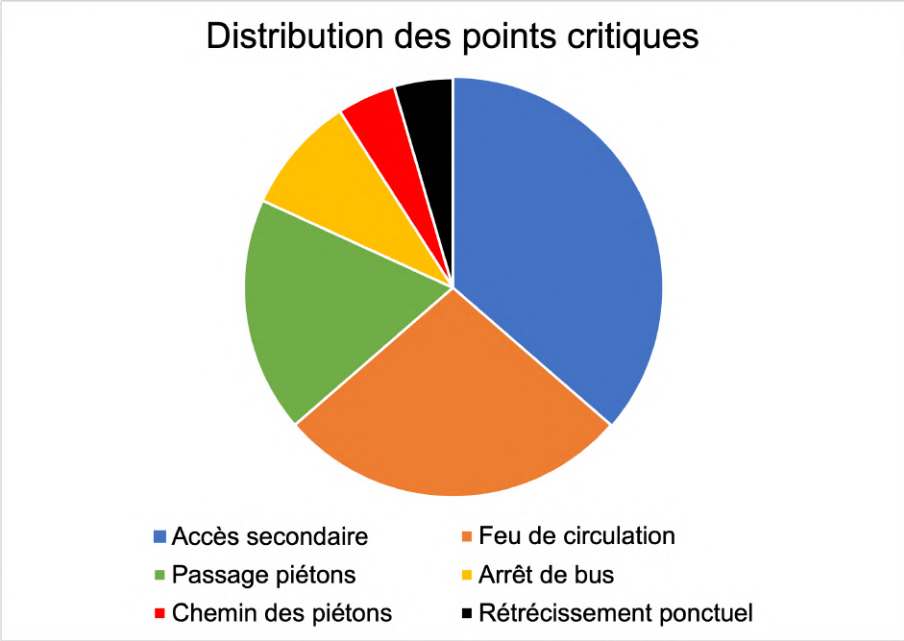


Figure 103 – Distribution des points critiques par thème

Le moyen choisi pour représenter les points critiques est la carte. Cette manière de faire permet de pouvoir se rendre compte facilement de la situation et de repérer des éventuels lieux où la concentration de points critiques est élevée. Le but est aussi de pouvoir prendre cette carte sur soi durant la réalisation d'un RSI, et de donner une attention particulière à ces points durant le relevé des déficits. La figure 104 représente la carte de la localisation des 22 points critiques relevés.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

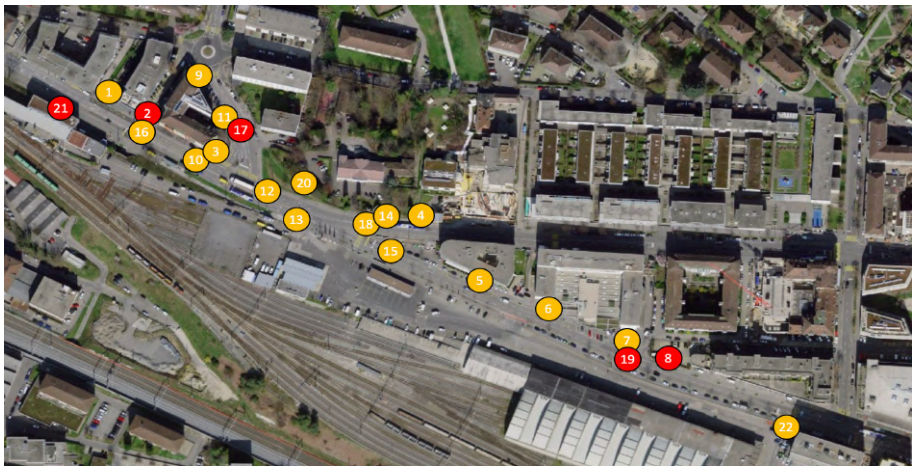


Figure 104 – Localisation des points critiques relevés

Les points critiques sont représentés par les pastilles de couleurs. Les pastilles rouges signifient qu'un déficit a été relevé à l'endroit du point critique par la suite, durant la réalisation d'un RSI. Il y a donc 5 points critiques qui ont par la suite généré un déficit, ce qui correspond à 23% des points critiques relevés. Ce pourcentage est suffisamment élevé pour justifier l'utilité de cette étape. Le contenu des déficits relevés sera traité dans la section traitant du RSI du 5 avril.

RSI 2 - 5 avril

L'étude suivante faite sur ce chantier concerne l'étape 5. Un RSA et un relevé des points critiques ont déjà été réalisés sur cette étape. L'idée est maintenant de réaliser des RSI sur cette même étape. Le but est de d'abord réaliser un premier RSI directement le jour même de la mise en place de la nouvelle étape (5 avril) puis d'en réaliser un nouveau deux semaines plus tard (19 avril) afin d'évaluer l'évolution de la situation dans le temps. Cette section va traiter du RSI du 5 avril.

Le RSI a donc été réalisé le mercredi 5 avril, jour correspond au lancement de l'étape 5. Le RSI a été effectué en deux parties. La première partie était en journée, de 15h45 à 16h45. La deuxième partie était de nuit, de 23h à 23h30. Le ciel était dégagé durant cette journée. Au total, 21 déficits ont été relevés. Le tableau de la figure 105, extrait du rapport du RSI, présente la liste des déficits avec leur évaluation.

Numéro de déficit	Type de déficit	Évaluation du déficit
1	Organisation générale - Conformité	Faible
2	Visibilité - Éclairage	Moyen
3	Guidage des usagers - Marquage au sol	Moyen
4	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Faible
5	Visibilité - Éclairage	Moyen
6	Guidage des usagers - Marquage au sol	Élevé
7	Guidage des usagers - Passages piétons	Faible
8	Équipements et sécurité - Tracé de la chaussée	Élevé
9	Visibilité - Éclairage	Moyen
10	Visibilité - Éclairage	Moyen
11	Visibilité - Éclairage	Moyen
12	Guidage des usagers - Signalisation	Faible
13	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
14	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Moyen
15	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
16	Visibilité - Obstacles latéraux	Élevé
17	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
18	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Moyen
19	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
20	Organisation générale - Conformité	Faible
21	Guidage des usagers - Passages piétons	Moyen

Figure 105 – Liste des déficits relevés dans le RSI du 5 avril

Le nombre de déficits relevés est élevé. Par rapport au premier RSI du 15 mars, il y a autant de déficits graves relevés (3) et légèrement plus de déficits moyen (9 contre 7), mais la situation semble à première vue être dans le même ordre d'idées d'un point de vue sécurité. Quelques déficits intéressants vont être présentés ci-dessous. Pour plus d'informations sur les autres déficits, il est recommandé de consulter directement le rapport du RSI.

Déficit numéro 3 - Marquage au sol

Le premier déficit présenté ici est le déficit numéro 3. Il fait partie de la famille *Guidage des usagers* et du thème *Marquage au sol*. À l'ouest de l'Avenue de Morges, un passage piéton doit être supprimé avec la nouvelle étape. Cependant, au moment de la réalisation du RSI, cette suppression n'a pas été faite et les barrières ne bloquent pas l'accès aux piétons qui continuent à l'utiliser, malgré les dangers liés au chantier et au trafic. Pour régler ce problème, il faut en priorité placer des barrières empêchant l'accès au passage piéton. Sur le long terme, il faudra également effacer ce marquage devenu non pertinent. La figure 106 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 106 - Déficit 3 du RSI du 5 avril

Déficit numéro 6 - Marquage au sol

Le second déficit présenté ici est le numéro 6. Il fait partie à nouveau de la famille *Guidage des usagers* et du thème *Marquage au sol*. Sur l'avenue de la Confrérie, le marquage de l'ancien passage piéton n'a pas été effacé. De plus, il n'y a pas de barrières qui en empêchent l'accès. La situation n'est donc pas claire pour les piétons. Sur le long terme, il faudrait supprimer le marquage non-pertinent. Sur le court terme, ajouter une barrière pour empêcher l'accès aux piétons est indispensable. La figure 107 illustre ce déficit de sécurité.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Figure 107 – Déficit 6 du RSI du 5 avril

Déficit numéro 8 - Tracé de la chaussée

Le prochain déficit est le numéro 8. Il fait partie de la famille *Équipement et sécurité* et du thème *Tracé de la chaussée*. Dans le carrefour de la Confrérie, la largeur des voies ne semble pas être suffisante pour que les bus puissent tourner en sécurité. Ils passent très proche des barrières, ce qui génère un risque d'accident. Ce déficit est particulièrement grave et nécessite une intervention d'urgence. La mesure préconisée est d'augmenter la largeur de la chaussée pour faciliter les manœuvres des grands véhicules. La figure 108 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 108 - Déficit 8 du RSI du 5 avril

Déficit numéro 9 - Éclairage

Le déficit suivant présenté ici est le numéro 9. Il fait partie de la famille *Visibilité* et du thème *Éclairage*. Ce déficit a pu être relevé grâce à la visite de chantier réalisée pendant la nuit. À plusieurs endroits sur le chantier, des nouvelles barrières et des nouvelles balises ont été placées. Pour cet exemple-là, une balise a été placée à côté de la file de voitures attendant au feu rouge. Cependant, il manque une lampe clignotante sur la balise qui n'est en conséquence pas du tout visible. Le manque de visibilité est accentué par les phares éblouissants des véhicules attendant en sens inverse. Ce type de déficit (manque d'éclairage) a été présent à de nombreuses reprises dans ce RSI (déficits 2, 5, 9, 10 et 11). La figure 109 illustre ce déficit de sécurité.

Figure 109 - Déficit 9 du RSI du 5 avril

Déficit numéro 18 - Déroulement du trafic

Le déficit présenté ici est le numéro 18. Il fait partie de la famille *Guidage des usagers* et du thème *Déroulement du trafic*. Sur la Rue de Genève, les véhicules sortant d'un des accès secondaires ont l'autorisation de s'intégrer à la route principale dans les deux directions. Cependant, pour tourner à gauche depuis l'un des accès, la place est très limitée. La solution proposée est de décaler les balises afin de faciliter le virage à gauche. Il est de plus très intéressant de souligner que la détection de ce déficit a été facilitée par le travail réalisé préalablement lors du relevé des points critiques. En effet, l'accès secondaire lié à ce déficit était l'un des points critiques (le numéro 8 sur la figure 104). Ce déficit est donc l'un des exemples justifiant l'utilité de l'étape du relevé des points critiques. La figure 110 illustre ce déficit de sécurité.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Figure 110 - Déficit 18 du RSI du 5 avril

Déficit numéro 20 - Conformité

Le dernier déficit présenté ici est le numéro 20. Il fait partie de la famille *Organisation générale* et du thème *Conformité*.

Ce déficit est particulier car il appartient à une famille moins fréquemment utilisée dans les études de cas. Il y a un problème de conformité entre la situation prévue et la situation réelle. La partie Est du chantier n'est pas conforme aux plans. Ce n'est pas quelque chose de grave, mais il est important de mettre à jour les plans pour éviter de potentielles erreurs à l'avenir.

RSI 3 - 19 avril

Deux semaines après le RSI réalisé le jour de la mise en place de l'étape 5, un nouveau RSI est effectué. Le but est d'observer si les déficits relevés et reportés deux semaines plus tôt ont été corrigés. Ce nouveau RSI a été réalisé le mercredi 19 avril entre 10h30 et 11h30. Le ciel était couvert ce jour-là.

Dans ce RSI, seuls 8 déficits ont été relevés. Le tableau de la figure 111, extrait du rapport du RSI, résume ces déficits.

Numéro de déficit	Type de déficit	Évaluation du déficit
1	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
2	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Faible
3	Visibilité - Éclairage	Moyen
4	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
5	Guidage des usagers - Signalisation	Faible
6	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
7	Guidage des usagers - Passages piétons	Élevé
8	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible

Figure 111 - Liste des déficits relevés dans le RSI du 19 avril

Le but de cette section ne va pas être de traiter ces déficits dans les détails, mais plutôt d'analyser l'évolution par rapport à la situation deux semaines plus tôt. Tout

d'abord, le nombre total de déficits est passé de 21 à 8, ce qui est un progrès considérable. Il est ensuite intéressant de regarder l'évolution des déficits plus en profondeur. Pour cela, la figure 112 représente graphiquement la classification des déficits pour les deux RSI.

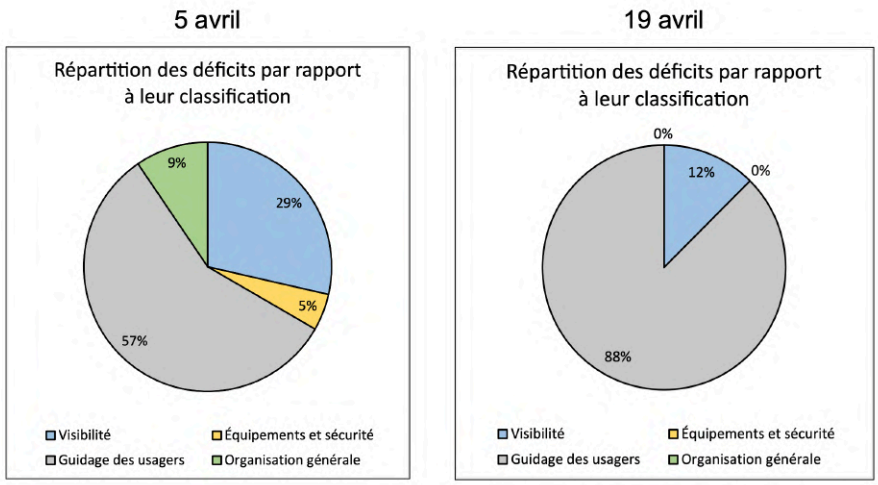


Figure 112 – Comparaison de la répartition des déficits par famille entre les deux RSI

Dans les deux cas, le principal problème est lié à la famille *Guidage des usagers*. Cette famille était déjà la plus représentée durant le RSI du 15 mars (figure 96) et cela confirme que le guidage est le principal défi de ce chantier. Il est ensuite intéressant de remarquer que deux familles avaient des déficits le 5 avril, mais plus aucun deux semaines plus tard. Il s'agit des familles *Équipements et sécurité* et *Organisation générale*. Des progrès ont donc été réalisés dans ces domaines. Enfin, la famille *Visibilité* est passée de 29% des déficits le 5 avril à seulement 12% le 19 avril. Cela indique également un progrès. La figure 113 va maintenant illustrer l'évolution de la réparation des déficits par degré de gravité.

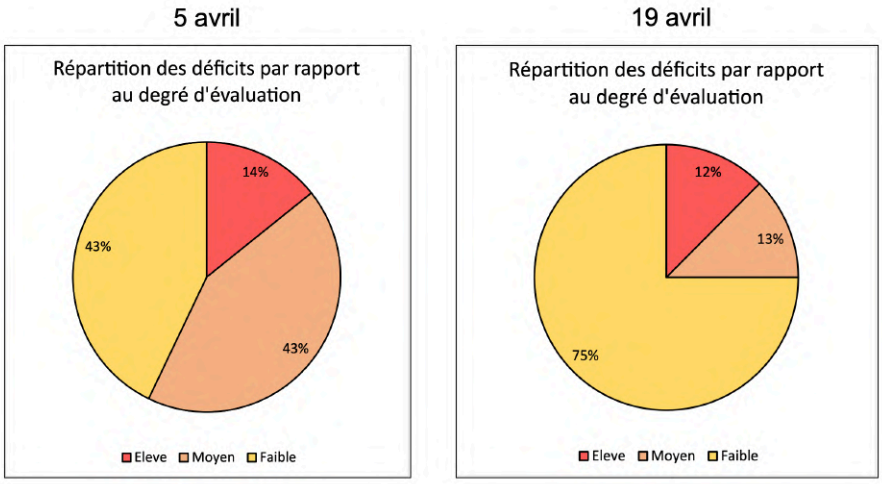


Figure 113 - Comparaison de la répartition des déficits par gravité entre les deux RSI

Une information saute aux yeux sur ce graphique : le nombre de déficits de gravité faible a fortement augmenté en deux semaines, passant de 43% à 75%. Cela indique qu'en plus d'avoir fortement diminué le nombre de déficits, la gravité des déficits restants est beaucoup moins importante après deux semaines. Les progrès réalisés sont donc considérables. Le schéma de la figure 114 permet d'illustrer ces progrès.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

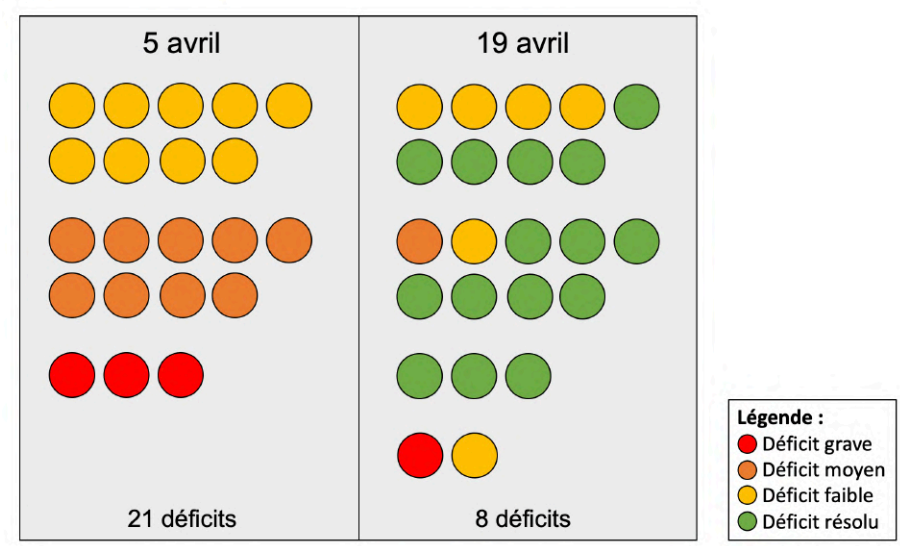


Figure 114 – Évolution de la situation entre les deux RSI

Dans ce schéma, chaque déficit est représenté par un cercle. Le 5 avril, 21 déficits ont été relevés : 9 faibles, 9 moyens et 3 graves. Deux semaines plus tard, la majorité de ces déficits n'étaient plus présents. Les trois déficits graves ont été résolus. Pour les déficits moyens, 7 ont été corrigés. Il n'en reste plus que deux, et l'un d'entre eux a vu sa gravité passer de moyenne à faible. Enfin, 5 déficits sur 9 ont été corrigés parmi les déficits de faible gravité. Cela permet de confirmer la conclusion déjà annoncée : la situation a évolué positivement pendant ces deux semaines. Il faut toutefois souligner que deux nouveaux déficits non-présents le 5 avril ont été détectés le 19 avril.

Quelques exemples de déficits corrigés vont maintenant être présentés. Premièrement, un gros travail a été fait par rapport aux problèmes des lampes de chantier. Pour rappel, de nombreuses lampes de chantier manquaient sur les barrières et les balises, générant ainsi des problèmes d'éclairage. Mais grâce au report de ces déficits, l'entreprise de construction a pu réagir et placer des lampes de chantier. La figure 115 illustre la correction d'un de ces ajouts de lampe.

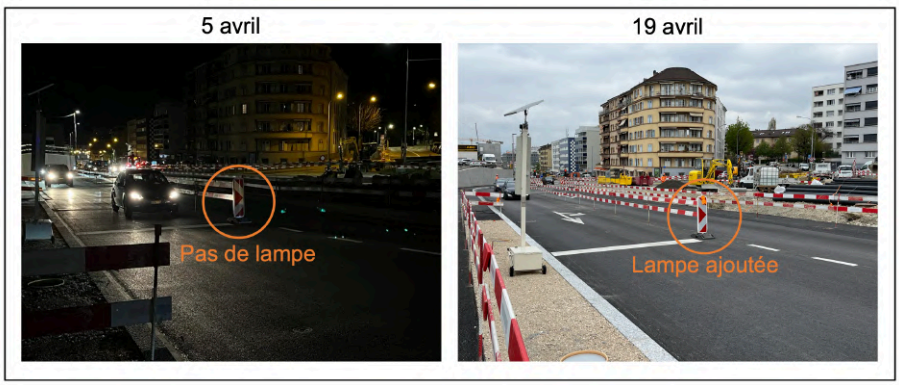


Figure 115 – Correction d'un déficit d'éclairage

Ensuite, une autre correction concerne un déficit majeur du RSI du 5 avril : la largeur des voies dans le carrefour de la Confrérie (déficit numéro 8 du dernier RSI). Ce déficit était urgent car le risque d'accident était élevé. Et heureusement, le tracé des voies a été corrigé. La figure 116 illustre cette amélioration. Le changement n'est pas très flagrant sur la photo, mais la circulation sur place est beaucoup plus fluide et sécuritaire.

Figure 116 - Correction d'un déficit de largeur de voie

Enfin, une troisième correction présentée ici est celle du passage piéton mal supprimé (déficit numéro 3 du dernier RSI). Des barrières ont été placées et le marquage au sol a été partiellement effacé. Cette correction est intéressante car elle n'est pas parfaite. Le marquage n'étant pas totalement supprimé, le déficit existe toujours. Cependant, l'ajout des barrières permet de diminuer la gravité, la faisant passer de moyenne à faible. Il y a donc une réelle amélioration. La figure 117 illustre cette amélioration.

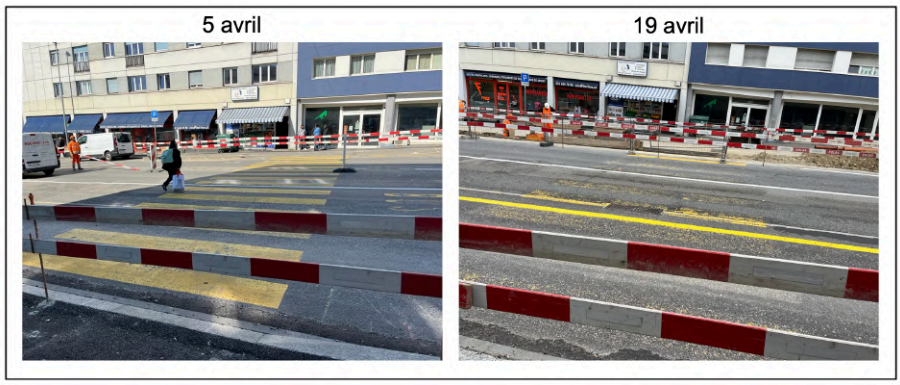


Figure 117 - Correction d'un déficit de guidage

Finalement, une dernière correction est présentée. Cette correction concerne un déficit qui avait été relevé dans les deux premiers RSI réalisés (15 mars et 5 avril). Il avait été présenté dans la section du RSI du 15 mars. Il s'agit du problème de l'obstacle latéral. La signalisation du passage piéton était très problématique. En plus du panneau indiquant le passage piéton, une planche en bois et un tonneau rouge et blanc avaient été placés comme support. Le problème de ce support large et opaque est qu'il camouflait les piétons pour les usagers de la route. Et heureusement, ce déficit a été corrigé. La planche a été mise par terre et le tonneau a été décalé. Ces petites corrections permettent de régler le problème de visibilité. La figure 118 illustre cette amélioration.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

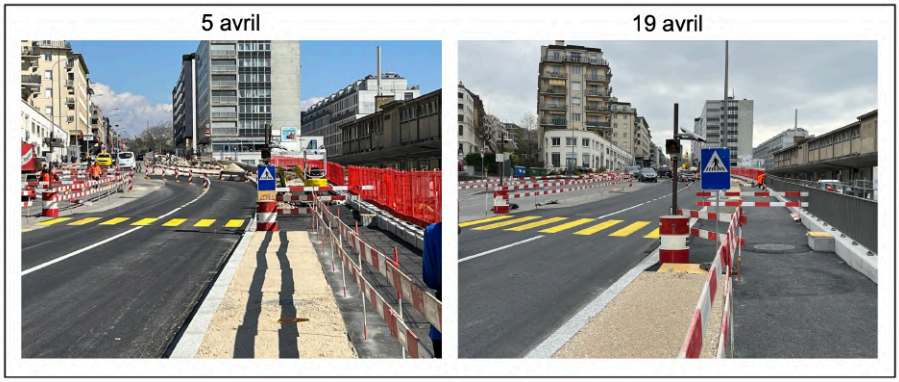


Figure 118 - Correction d'un déficit de visibilité

Pour conclure, la réalisation du RSI du 19 avril a permis de remarquer qu'une réelle amélioration a eu lieu en deux semaines. Beaucoup de déficits relevés le 5 avril ont pu être corrigés, et la réalisation du premier RSI y est sans doute pour quelque chose. La situation est donc passée de mauvaise (21 déficits avec un nombre important de déficits graves ou moyens) à tout à fait acceptable (8 déficits principalement de gravité faible). Cette amélioration justifie la réalisation de ces RSI et permet de mettre en valeur le but de ce projet : améliorer la sécurité des chantiers routiers.

RSI 4 - 24 mai

Le dernier RSI réalisé sur le chantier du tram a eu lieu un mois plus tard, le 24 mai 2023. Le but était de pouvoir observer l'évolution de la situation après une plus longue période sans intervention. Ce RSI a été réalisé entre 11h et 12h. Le ciel était couvert ce jour-là.

Dans ce RSI, 15 déficits ont été relevés. Le tableau de la figure 119, extrait du rapport du RSI, résume ces déficits.

Numéro de déficit	Type de déficit	Évaluation du déficit
1	Visibilité - Éclairage	Moyen
2	Guidage des usagers - Passages piétons	Moyen
3	Guidage des usagers - Marquage au sol	Faible
4	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
5	Guidage des usagers - Passages piétons	Moyen
6	Visibilité - Éclairage	Moyen
7	Visibilité - Éclairage	Moyen
8	Visibilité - Éclairage	Moyen
9	Guidage des usagers - Signalisation	Faible
10	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible
11	Guidage des usagers - Déroulement du trafic	Moyen
12	Équipements et sécurité - Éléments de sécurisation	Faible
13	Équipements et sécurité - Éléments de sécurisation	Faible
14	Équipements et sécurité - Éléments de sécurisation	Moyen
15	Guidage des usagers - Personnes à mobilité réduite	Faible

Figure 119 - Liste des déficits relevés dans le RSI du 24 mai

En un mois, le nombre de déficits relevés est passé de 8 à 15. Le nombre a donc presque doublé, ce qui pourrait être inquiétant. Cependant, aucun déficit grave n'a été relevé et une grande proportion des déficits sont de gravité faible. La situation semble donc à priori sous contrôle.

Les déficits relevés dans ce RSI peuvent être classés en trois catégories. Premièrement, une partie des déficits avaient déjà été relevés dans le précédent RSI mais n'ont pas été corrigés. Il s'agit souvent de déficits mineurs et l'entreprise de

construction estime qu'il n'est pas urgent de les corriger. Il est cependant important de relever à nouveau ces déficits, afin de garder une trace de ces derniers et de ne pas laisser penser qu'ils auraient été corrigés. Deuxièmement, certains déficits sont des déficits dus à l'inattention des ouvriers. En effet, un mois et demi après la mise en place de la nouvelle étape du chantier, l'entreprise de construction est moins attentive à la sécurité qu'au début. Des mauvaises habitudes ont pu se mettre en place, et le bureau de mobilité est moins présent sur le chantier. Ces déficits de sécurité sont cependant souvent de faible gravité et facile à corriger. Troisièmement, un type de déficit a été récurrent dans ce RSI : l'absence de lampe de chantier. En effet, entre le 19 avril et le 24 mai, quelques barrières et balises ont été déplacées ou ajoutées. En théorie, tous ces éléments doivent être accompagnés d'une lampe de chantier pour satisfaire les conditions d'éclairage nécessaires à une conduite sécurisée. Malheureusement, beaucoup de lampes de chantiers ont été oubliées et c'est un déficit qui a souvent été relevé. Ce type de déficit est cependant très simple à corriger.

9.3. Évolution du chantier

À la suite de la réalisation de plusieurs RSI, il est possible d'utiliser l'outil de notation présenté dans le chapitre 8. Le but est d'analyser l'évolution de la sécurité du chantier à travers le temps. Tout d'abord, le tableau 6 résume le nombre de déficits relevés pour chaque RSI réalisé.

Tableau 6 - Nombre de déficits relevé par RSI

RSI 15 mars	RSI 5 avril	RSI 19 avril	RSI 24 mai
22 déficits	21 déficits	8 déficits	15 déficits

Le nombre de déficit semble montrer que la situation a tendance à s'améliorer dans le temps. Deux RSI rapprochés permettent de diminuer fortement le nombre de déficits (diminution de 21 à 8 déficits entre le 5 et le 19 avril), ce qui donne une indication sur l'efficacité de la réalisation des déficits. Cependant, cette statistique du nombre de déficits est très brute. Elle ne prend pas en compte le niveau de gravité des déficits et le niveau de difficulté des mesures à mettre en place pour les corriger. Pour aller plus loin, il est donc nécessaire d'utiliser l'outil de notation. Ce dernier donne les résultats présentés dans la figure 120.

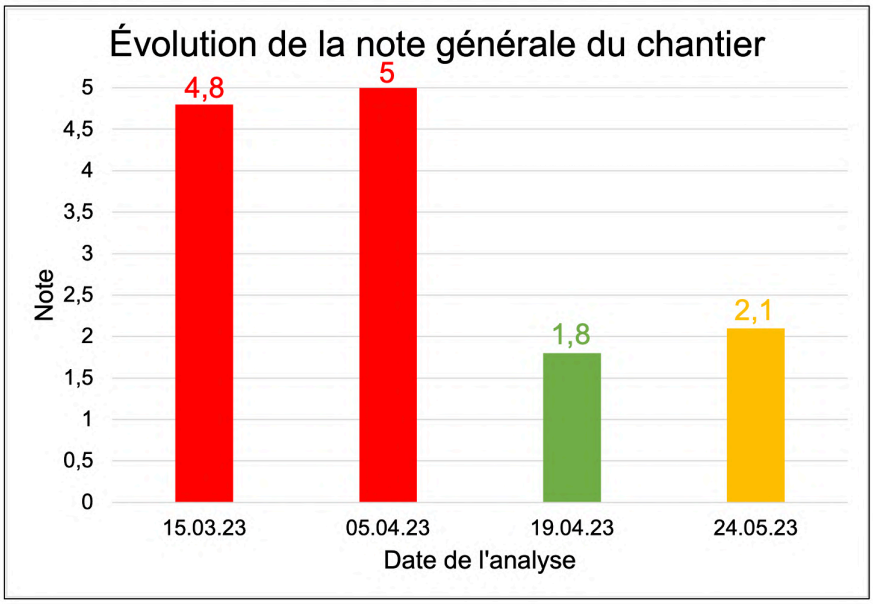


Figure 120 – Évolution de la note générale du chantier

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Le système de notation a été expliqué dans le chapitre 8. La figure précédente illustre l'évolution de la note générale du chantier au fil des RSI. Il est possible d'en tirer des conclusions. Au début, la situation était problématique. Les RSI du 15 mars et du 5 avril ont donnés des mauvaises notes (4,8 et 5). La situation s'est ensuite grandement améliorée. Le 19 avril, une note de 1,8 a pu être donnée, synonyme d'une situation très saine. Il y a donc eu une grosse amélioration du niveau de sécurité en deux semaines, à la suite du RSI du 5 avril. Cette conclusion coïncide avec les observations faites dans les sections précédentes. La réalisation de ces RSI permet d'améliorer concrètement la sécurité sur les chantiers routiers, ce qui est un succès pour ce Projet de Master. Le dernier RSI réalisé un mois plus tard, le 24 mai, avait pour but de vérifier l'évolution sur le long terme après les améliorations effectuées préalablement. Il apparait que la note reste tout à fait correcte (2,1). Elle a légèrement augmenté par rapport au 19 avril, ce qui peut être expliqué par l'ajout de quelques déficits de faible gravité dus à la baisse d'attention de l'entreprise de construction.

Il est maintenant possible de s'intéresser aux notes spécifiques de chaque famille de déficits. La figure 121 illustre les graphiques de ces notes.

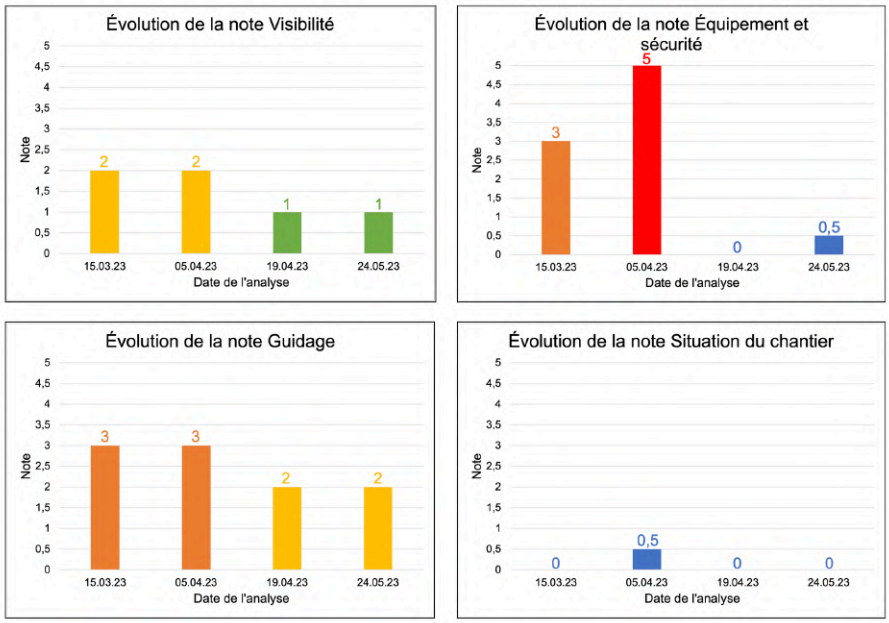


Figure 121 - Évolution des notes par famille

Les graphiques de l'évolution des notes par famille permettent de donner plus d'informations sur la situation des chantiers. Par exemple, le 5 avril, la note la plus problématique était celle de la famille *Équipements et sécurité*. Les mesures mises en place ont donc pu se rencontrer sur cela. Deux semaines plus tard, la note de cette famille était descendue à zéro, ce qui signifie que tous les déficits avaient été résolus. Sur la durée du projet, la famille la plus problématique est celle du guidage des usagers. La note moyenne est de 2,5 et ne descend jamais en dessous de 2.

9.4. Cartographie ArcGIS

La dernière réalisation faite dans cette étude de cas est un travail de cartographie. Afin de représenter le résultat des RSI de manière visuelle et interactive, la création d'une carte en ligne a été faite. Ce travail a été réalisé avec le logiciel ArcGIS selon la marche à suivre du chapitre 6. Les 3 premiers RSI sont présents sur cette carte qui est accessible en ligne depuis le lien suivant, sous réserve de la validité de la licence Citec :

https://citecdevgroup.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=7c37388b2d6245c0be08dddf5271511b

La cartographie en ligne permet de résumer l'entièreté des résultats des différents RSI. L'utilisateur peut masquer certains RSI pour observer l'évolution dans le temps, ou alors afficher la totalité des déficits de tous les RSI. Il peut également filtrer les déficits par thème ou par famille. Ce lien peut être utilisé pour transmettre les résultats en interne à un chef de projet, ou en externe à une entreprise de construction impliquée sur le chantier. Par exemple, la transmission de ce lien à l'entreprise responsable des lampes d'éclairage permettrait à cette dernière de comprendre rapidement les erreurs à corriger en utilisant le filtre des déficits d'éclairage.

9.5. Contribution de l'étude de cas

Cette étude de cas est la plus importante de ce projet. Au total, six analyses ont été faites sur une période de trois mois (quatre RSI, un RSA et un relevé des points critiques). De plus, l'outil de notation a pu être mis en application grâce à ce chantier. Toutes ces analyses ont permis d'améliorer fortement l'outil. Chaque étude a mis en lumière certains types de déficits qui ont pu être ajoutés par la suite à la version finale de l'outil. Par exemple, la visite de nuit du 19 avril a permis de se rendre compte de l'importance cruciale des lampes de chantier.

La mise en application de l'outil de notation a également permis de vérifier le calibrage des notes qui avait été réalisé en amont. Ce calibrage doit permettre d'obtenir des notes variant d'un chantier à l'autre afin de pouvoir observer l'évolution. Cette étude de cas démontre que c'est le cas : les notes varient entre 1,8 (RSI 3) et 5 (RSI 2).

Enfin, la réalisation de nombreux rapports a permis de se rendre compte des réels besoins de l'outil de traitement des données. Ce dernier a pu être modifié et amélioré. La création de l'outil de cartographie sur ArcGIS est une idée qui a pu émerger grâce à cette étude de cas, car il est apparu qu'il fallait trouver un moyen de transmettre visuellement les résultats des différents RSI.

Cette étude de cas a été extrêmement complète et intéressante et est sans aucun doute l'élément pratique central qui a accompagné la création de l'outil de ce projet. S'arrêter à cette étude aurait pu être envisagé, mais cela aurait été une erreur. En effet, l'outil vise à être général et doit pouvoir s'appliquer à tous les chantiers. Il faut donc éviter qu'il soit trop centré sur le cas du chantier du tram. La réalisation d'autres études de cas est donc nécessaire.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

10. Étude de cas 2 : chantier du Trabli

Ce nouveau chapitre a pour but de décrire la deuxième étude de cas réalisée dans le cadre du Projet de Master, qui se concentre sur le chantier du Trabli. Ce chantier se distingue par sa petite envergure, étant situé sur une zone restreinte (uniquement la rue du Trabli à Cartigny) et ayant lieu sur une courte période de 3 semaines. Le contexte et l'organisation de ce chantier ont été présentés dans le chapitre 3 de ce rapport. Ce chapitre se focalisera d'abord sur les études réalisées dans le cadre de cette étude de cas, puis expliquera les améliorations apportées à l'outil grâce à cette analyse.

10.1. Résultats de l'étude de cas

Le chantier se déroulant en juillet 2023, le timing n'a pas permis de réaliser un RSI sur cette étude de cas. L'étude se concentre donc sur la réalisation d'un RSA. Ce RSA a été fait le 3 avril 2023. Pour confirmer certaines conclusions de ce RSA, une visite de terrain a été réalisée le 18 avril 2023.

Le RSA a été réalisé selon la méthode présentée dans le chapitre 5 de ce rapport en utilisant l'outil créé dans ce rapport. Selon cette méthode, 16 thèmes ont été vérifiés. Au total, quatre déficits ont pu être relevés. Ce nombre étant relativement faible, les déficits vont être décrits en détail ci-dessous.

Déficit 1 : Largeurs des voies

Description du déficit : La largeur des trottoirs n'est pas conforme aux normes (trop étroits).

Ce déficit soulève un point extrêmement intéressant. En effet, à certains endroits, la largeur du trottoir prévue sur le plan est de 45 centimètres. Si l'on compare cette valeur avec la norme, elle est très largement insuffisante (il faudrait au minimum 1m). Cependant, cette valeur de 45 cm n'a pas été choisie par hasard. Elle correspond tout simplement à la largeur actuelle du trottoir. En effet, la route étant étroite et peu fréquentée, la présence d'un trottoir ayant une largeur dans les normes n'est pas une nécessité. Il serait alors injuste d'exiger une largeur respectant les normes pendant la durée du chantier, alors que cette exigence n'est pas satisfaite en tout temps. La figure 122 représente la situation actuelle du trottoir.

Figure 122 – Situation actuelle du trottoir dans la rue du Trabli

Les photos ont été prises durant une visite sur le terrain le 23 avril 2023. Le trottoir de 45 cm parait étroit en théorie. En pratique, il est carrément inutilisable. La photo permet de s'en rendre compte : aucun piéton ne va utiliser ce trottoir sans dépasser sur la route. De l'autre côté de la route, le trottoir fait en théorie 1 m. En pratique, la largeur semble encore moins élevée. Il est tout à fait possible d'utiliser ce trottoir, mais il est impossible de se croiser en restant dessus. Cette situation n'est cependant pas problématique, au vu du faible volume de trafic et de la faible vitesse des conducteurs.

Déficit 2 : Gestion du trafic

Description du déficit : Les accès à la zone des travaux ne sont pas précisés.

Ce type de déficit a été fréquemment relevé lors des RSI réalisés durant le Projet de Master. Après en avoir discuté avec Monsieur Epiney, il apparaît que ces accès sont parfois difficiles à placer car la position optimale dépend des travaux réalisés. Le choix est donc souvent fait de ne pas préciser de localisation pour ces lieux d'accès et de laisser l'entreprise de construction s'organiser en fonction de ses besoins.

Déficit 3 : Riverains

Description du déficit : Étapes 2 et 3 : accès des riverains au Sud de la route non-géré.

Lors de la fermeture de la route durant les étapes 2 et 3, une attention particulière a été apportée aux riverains habitant au nord de la route. La même attention n'a malheureusement pas été donnée aux quelques riverains présents au sud de la route. Ce déficit n'est pas très problématique et peut tout à fait être réglé facilement d'ici le début du chantier.

Déficit 4 : Lignes de bus

Description du déficit : Étapes 2 et 3 : itinéraire de déviation de la ligne de bus à prévoir.

La route étant coupée au trafic, il est important de prévoir un itinéraire de remplacement pour le passage du bus durant la période du chantier. Le RSA est basé sur les plans de mobilité réalisés par Citec et la déviation des bus ne figure à aucun endroit sur ces plans. Il est tout à fait possible que la situation des bus ait été gérée par Citec en parallèle de ces plans mais dans le doute, il est important de relever ce point dans le RSA.

Le tableau présenté dans la figure 123 est extrait du rapport du RSA. Il résume la liste des thèmes vérifiés et indique si un ou plusieurs déficits ont été relevés pour chaque thème. Dans le cas de ce RSA, au vu du peu de déficits relevés, le tableau présente beaucoup de vert, synonyme d'une situation non-problématique.

No	Thème vérifié	Résultat de l'analyse
1	Périmètres du chantier	Situation conforme
2	Largeurs des voies	1 déficit relevé
3	Barrières de sécurité et balises	Situation conforme
4	Collisions frontales	Situation conforme
5	Niches d'évacuation	Situation conforme
6	Gestion du trafic	1 déficit relevé
7	Panneaux de signalisation	Situation conforme
8	Marquage au sol	Situation conforme
9	Masquage des éléments non pertinents	Situation conforme
10	Feux de circulation	Situation conforme
11	Guidage des piétons	Situation conforme
12	Circulation de nuit	Situation conforme
13	Phasage du chantier	Situation conforme
14	Riverains	1 déficit relevé
15	Lignes de bus	1 déficit relevé
16	Gestion des cyclistes	Situation conforme

Figure 123 - Liste des thèmes vérifiés dans le RSA du 3 avril

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

10.2. Contribution de l'étude de cas

Cette étude de cas a permis d'obtenir un enseignement clé dans la création de l'outil : les petits chantiers ne sont pas comparables aux grands chantiers. En effet, plusieurs thèmes présents dans l'outil utilisé pour ce RSA ne sont pas pertinents pour les chantiers de faible envergure. Les niches d'évacuation, le trafic de nuit ou les risques de collisions frontales sont des exemples de thèmes qui ne sont pas pertinents à évaluer dans le cas d'un petit chantier. Ce n'est pas quelque chose de grave d'évaluer des thèmes non-pertinents, mais c'est une perte de temps. Et une perte de temps est d'autant plus préjudiciable dans un petit chantier ayant souvent des budgets plus restreints. La même conclusion peut être faite pour les RSI.

À la suite de cette conclusion, il a été fait le choix de créer une version de l'outil spécifique au cas des chantiers de faible envergure. L'objectif est d'avoir une version allégée de l'outil de base, ne gardant que les thèmes pertinents aux petits chantiers, et permettant une analyse rapide de la situation. À la suite d'une discussion avec Monsieur Epiney, il est apparu qu'une forme d'outil intéressante pourrait être de créer une liste des dix points à vérifier pour s'assurer de la sécurité dans un chantier. La version adaptée de l'outil a donc été créée en se basant sur cette idée, avec une version pour les RSA et une version pour les RSI. Le contenu de cet outil est présenté dans le chapitre 5 de ce rapport.

Une autre observation a également pu être faite grâce à cette étude de cas. Cette observation est en lien avec le premier déficit du RSA et concerne la différence entre les normes et la situation d'avant-chantier. Le cas de la largeur du trottoir n'était qu'un exemple, mais ce cas de figure pourrait se reproduire régulièrement, particulièrement dans les petits chantiers. La conclusion posée à la suite de cette étude de cas est donc la suivante : le relevé des déficits doit être basé sur les normes, mais doit aussi prendre en compte la situation du terrain avant le chantier, surtout dans le cas d'un petit chantier. Une entorse à une norme qui était déjà présente avant la mise en place du chantier n'est donc pas un déficit lié au chantier. Une analyse de la situation de la zone du chantier est donc nécessaire pour pouvoir réaliser un RSA (ou un RSI) de manière optimale.

Enfin, le déficit numéro 4 a permis de réaliser une dernière constatation. Dans le cadre d'un RSA, il peut arriver qu'un déficit n'en soit pas réellement un, mais plutôt un risque de déficit. L'exemple de la ligne de bus illustre parfaitement cela. Sur le plan, aucune information concernant une potentielle déviation des bus n'est présente. Si cette déviation n'a pas été faite, il s'agit d'un gros déficit à corriger immédiatement. Cependant, il y a de fortes chances que la déviation ait été prévue, mais ne soit juste pas inscrite sur le plan. Il y a donc deux options pour le réalisateur du RSA. Dans la première option, il pourrait partir du principe que la déviation a été prévue et qu'il n'a juste pas obtenu l'information, et ainsi ne pas relever le déficit pour éviter le relevé d'un déficit inexistant. En procédant ainsi, le risque est que l'ingénieur avait réellement oublié de prévoir la déviation. Ne pas relever ce déficit pourrait donc avoir des conséquences très préjudiciables. Dans la deuxième option, le réalisateur du RSA fait le choix de tout de même relever le déficit. En faisant cela, dans le meilleur des cas, un grave problème peut être évité et dans le pire des cas, un déficit inexistant est relevé, ce qui n'a presque aucune conséquence négative. La conclusion à cela est donc : il vaut mieux relever un déficit inexistant que de négliger un déficit potentiellement dangereux.

11. Étude de cas 3 : chantier de la Route des Nations

Ce nouveau chapitre traite de la troisième étude de cas réalisée dans le cadre du Projet de Master, qui se concentre sur le chantier de la Route des Nations. L'objectif de ce chantier est de poser un enrobé neuf sur la route devant le futur tunnel de la route des Nations. Ce chantier se distingue par ses nombreuses étapes qui se succèdent dans un court délai. Le contexte et l'organisation de ce chantier ont été présentés dans le chapitre 3 de ce rapport. Ce chapitre se focalisera d'abord sur les études réalisées dans le cadre de cette étude de cas, puis expliquera les améliorations apportées à l'outil grâce à cette analyse.

11.1. Résultats de l'étude de cas

Ce chantier présente une particularité notable : il comporte un grand nombre d'étapes à réaliser dans un laps de temps restreint (5 étapes en deux semaines). Ce grand nombre d'étapes implique également un nombre important de plans. Cette situation est particulièrement propice à la réalisation d'un RSA car il y a beaucoup à analyser.

Le RSA a été réalisé le 28 mars selon la méthode présentée dans le chapitre 5 de ce rapport en utilisant l'outil créé dans ce projet. Selon cette méthode, 16 thèmes ont été vérifiés. Au total, huit déficits ont pu être relevés. Ce nombre est considérable et est dû en partie au nombre élevé d'étapes. Deux de ces déficits sont particulièrement intéressants et vont être présentés ci-dessous.

Déficit 1 : Barrières de sécurité et balises

Description du déficit : Étapes 14a et 14b : il n'y a aucune barrière entre les travaux et les chemins piétons.

Le déficit décrit concerne les étapes 14a et 14b, où il n'existe aucune barrière physique entre les travaux en cours et les chemins piétons adjacents. En théorie, il est souhaitable de mettre en place des barrières afin de séparer clairement les piétons et les travaux. Cependant, dans la réalité, l'entreprise chargée des travaux rencontre des difficultés à installer et à retirer les barrières chaque week-end, compte tenu de la longueur totale requise, qui pourrait atteindre environ un kilomètre. Les autorités ont donc accepté de ne pas installer de barrières, en partant du principe que les travaux sont facilement identifiables et qu'il n'y a pas de différence de niveau significative entre les deux zones. Ce déficit soulève une question intéressante quant à la limite entre ce qui est acceptable faute de moyens et ce qui ne l'est pas.

Déficit 2 : Masquage des éléments non pertinents

Description du déficit : Il manque des informations sur les panneaux à supprimer/masquer entre les étapes.

Le déficit mentionné concerne l'absence d'informations sur les panneaux à supprimer ou à masquer entre les différentes étapes du chantier. Cependant, il s'agit d'un problème qui résulte du manque de ressources en matière de dessin au sein de l'équipe interne de Citec. Bien que cela constitue un détail important, il a été décidé en interne de ne plus se battre pour résoudre cette problématique. Malgré cela, ce déficit est pertinent et il est important de le relever lors de la réalisation d'un RSA.

Le tableau figurant dans la figure 124 est extrait du rapport du RSA et offre un récapitulatif des thèmes vérifiés, en indiquant si un ou plusieurs déficits ont été identifiés pour chaque thème. Dans le cadre de ce RSA, chaque thème présente entre zéro et deux déficits relevés. Par conséquent, il peut être conclu qu'aucun thème ne se révèle particulièrement problématique dans ce projet.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

No	Thème vérifié	Résultat de l'analyse
1	Périmètres du chantier	Situation conforme
2	Largeurs des voies	1 déficit relevé
3	Barrières de sécurité et balises	1 déficit relevé
4	Collisions frontales	Situation conforme
5	Niches d'évacuation	Situation conforme
6	Gestion du trafic	2 déficits relevés
7	Panneaux de signalisation	1 déficit relevé
8	Marquage au sol	Situation conforme
9	Masquage des éléments non pertinents	1 déficit relevé
10	Feux de circulation	Situation conforme
11	Guidage des piétons	1 déficit relevé
12	Circulation de nuit	Situation conforme
13	Phasage du chantier	Situation conforme
14	Riverains	Situation conforme
15	Lignes de bus	1 déficit relevé
16	Gestion des cyclistes	Situation conforme

Figure 124 - Liste des thèmes vérifiés dans le RSA du 28 mars

À la suite du RSA, il était également planifié de réaliser un RSI sur une étape de ce chantier. Le chantier était initialement planifié en avril. À cause d'une mauvaise météo, il a d'abord été reporté en juin. Cependant, un grand événement organisé dans le quartier a généré un nouveau report, sortant le chantier de la période du Projet de Master. Aucun RSI n'a donc pu être réalisé sur ce chantier. Cette situation n'est pas particulièrement problématique pour le projet car il y a déjà d'autres études de cas qui peuvent largement compenser ce manque. Cela souligne cependant l'importance d'une chose : il était crucial de planifier plusieurs études de cas afin d'assurer le minimum de résultats nécessaire à la bonne tenue du projet. Ces études de cas étant basée sur des chantiers, le risque d'un report était relativement élevé.

11.2. Contribution de l'étude de cas

La contribution de cette étude de cas à l'élaboration de l'outil a été moins significative que celle des autres études de cas. En effet, ce chantier n'a pas produit d'observations marquantes en raison de l'annulation du RSI causée par les retards, ce qui a empêché la mise en œuvre de l'outil spécifique aux petits chantiers. Néanmoins, cette étude de cas a permis de consolider les observations faites dans l'étude de cas précédente du chantier du Trabli. Les petits chantiers se distinguent considérablement des grands chantiers, car ils présentent des tolérances beaucoup plus larges. Les barrières non-prévues entre la zone des travaux et le trottoir est le parfait exemple de cela.

12. Étude de cas 4 : chantiers autoroutiers

Ce nouveau chapitre a pour objectif de présenter la quatrième étude de cas menée dans le cadre du Projet de Master, qui se concentre sur les chantiers autoroutiers. Cette étude comprend deux chantiers spécifiques : la Jonction Autoroutière du Grand-Saconnex (JAG) et l'autoroute A9 Vennes-Chexbres. Le contexte et l'organisation de ces chantiers ont été exposés dans le chapitre 3 du rapport. Ce qui rend cette étude de cas unique, c'est qu'elle se déroule dans un contexte autoroutier. L'objectif principal est donc d'utiliser ces deux chantiers comme base pour développer une version autoroutière de l'outil d'application des RSI et RSA. Ce chapitre se focalisera d'abord sur les études réalisées dans le cadre de cette étude de cas, puis expliquera les améliorations apportées à l'outil grâce à cette analyse.

12.1. Études de cas réalisées

Dans le cadre de cette étude de cas, il a été décidé de ne pas réaliser de RSI en raison de contraintes de temps et de timing. Cependant, l'idée originale était de réaliser un RSA basé sur les plans des chantiers autoroutiers.

Cette étude de cas se concentre sur deux chantiers différents, gérés par deux entreprises distinctes, à savoir Citec et RGR. Le choix d'avoir deux entreprises différentes présente l'avantage de pouvoir examiner un plus grand nombre d'éléments variés sur les plans, afin de créer un outil aussi général que possible. Cette approche permet d'éviter de se limiter aux choix et à la manière de faire d'une seule entreprise.

Le premier chantier étudié est la Jonction Autoroutière du Grand-Saconnex (JAG), où l'attention se porte sur une étape spécifique (GN101) comprenant deux plans qui présentent différents niveaux de détail. Le deuxième chantier est l'autoroute A9 à Chexbres, où un seul tronçon parmi les six est pris en compte, à savoir le secteur Bourg-en-Lavaux - Chexbres. Dans ce cas, une étape (étape 6) est examinée, comprenant deux plans correspondant à deux phases qui présentent des différences minimes. Le 17 mai, les plans du chantier A9 ont été analysés, tandis que le 22 mai, les plans du chantier JAG ont été étudiés.

Le constat tiré des analyses met en évidence la complexité d'intervenir dans des projets d'une telle envergure en cours de route, en raison notamment de la nécessité de comprendre les autorisations spéciales qui ont été obtenues. De plus, les chantiers bénéficient de ressources conséquentes et d'une attention soutenue en matière de sécurité, ce qui se traduit généralement par un nombre limité de déficits à relever lors de l'analyse des plans. Par conséquent, une étude minutieuse des plans a été réalisée, mais aucun RSA n'a été effectué dans le cadre de cette étude de cas.

12.2. Contribution de l'étude de cas

Dans le cadre de cette étude de cas, aucun RSA ni RSI n'ont été réalisés, comme expliqué précédemment. Cependant, une analyse approfondie des plans des chantiers concrets a permis de développer la version autoroutière de l'outil d'analyse des chantiers. La version autoroutière créée lors de la pré-étude a d'abord été modifiée pour s'aligner sur l'expérience acquise lors des chantiers urbains, principalement sur la forme. Le but étant que les différentes versions de l'outil aient la même forme et soient conformes entre elles. L'objectif de cette étude de cas est donc centré sur le contenu de l'outil. Le but est de corriger, vérifier et ajouter des thèmes de vérification dans trois domaines : les RSI, les RSA et les points critiques.

De nombreux nouveaux thèmes ont été ajoutés à la liste des RSA grâce à l'analyse des plans. Des exemples de ces thèmes incluent l'accès aux zones de chantier, les bandes de ralentissement et le kilométrage. L'étude des plans a permis de constater

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

que ces éléments sont intégrés aux plans et doivent donc être vérifiés dans le cadre d'un RSA. En ce qui concerne les points critiques, six thèmes ont été identifiés à la suite de l'analyse des plans. Les entrées d'autoroutes, les passages en terre-plein central et les amortisseurs de choc sont quelques exemples de ces thèmes. Pour les RSI, la liste des thèmes et des éléments à vérifier a été améliorée grâce à l'étude des plans. Toutefois, pour effectuer un travail plus complet, il aurait été optimal de réaliser un véritable RSI sur le terrain, dans le cadre d'un chantier autoroutier. Cet aspect fait partie des perspectives d'amélioration envisageables pour ce Projet de Master.

L'expérience de Monsieur Epiney a également été prise en compte pour améliorer l'outil. Il a souligné que le basculement jour-nuit était un point crucial des chantiers autoroutiers, ce qui a conduit à intégrer ce thème parmi les thèmes RSA. Enfin, le guide des panneaux a également bénéficié d'une version autoroutière, basée sur les plans de l'étude de cas, afin d'offrir des indications spécifiques pour les chantiers autoroutiers.

Ainsi, malgré l'absence de RSA et de RSI dans cette étude de cas, une analyse minutieuse des plans a permis d'améliorer l'outil d'analyse des chantiers pour sa version autoroutière. Les nouveaux thèmes ont été ajoutés, les points critiques ont été identifiés et des améliorations ont été apportées en se basant sur les plans et sur l'expertise de Monsieur Epiney.

13. Bilan

Le but de ce chapitre est de réaliser un bilan du Projet de Master. Dans une première section, une analyse des études de cas va être réalisée. Certaines observations générales faites durant ces études vont être présentées et l'apport de ces études pour la création de l'outil va être résumé. Une évaluation des résultats obtenus sera également effectuée pour démontrer l'efficacité et l'utilité de l'outil dans un contexte pratique.

Ensuite, une deuxième section traitera directement de l'outil. Dans cette section, les différents éléments de l'outil seront brièvement décrits, en soulignant les différentes possibilités d'utilisation. Une mise en évidence sera faite sur les avantages que cet outil offre par rapport aux méthodes existantes. De plus, l'applicabilité de l'outil dans d'autres contextes similaires sera imaginée. Enfin, les perspectives d'amélioration et d'évolution de l'outil seront discutées, ouvrant ainsi la voie à de futures recherches et développements.

13.1. Études de cas

L'objectif de cette première section est de faire un bilan des études de cas réalisées dans le cadre de ce Projet de Master. Pour rappel, cinq chantiers ont fait l'objet d'une étude de cas.

- Le chantier du tram de Lausanne est sans aucun doute l'étude de cas principale de ce projet. Au total, cinq visites de terrain ont été réalisées sur place, entre mars et mai 2023. L'étude de ce chantier sur le long terme a permis de réaliser un RSA et quatre RSI. L'utilisation de l'outil de notation et de la cartographie en ligne sur ArcGIS a pu être réalisée dans cette étude de cas. Cette étude a donc permis d'obtenir un véritable retour sur l'utilité de l'outil, et ce retour est très positif.
- Le chantier de la Route des Nations ne s'est pas passé comme prévu. Initialement prévu en avril, le début du chantier a d'abord été décalé en juin avant d'être finalement à nouveau décalé pour juillet. Les délais ne correspondaient alors plus avec ceux du Projet de Master. Ce genre d'imprévus est courant dans le domaine des chantiers. Cette situation illustre l'importance qu'il y avait d'avoir plusieurs études de cas dans ce projet pour être certain d'obtenir des résultats. Un RSA a tout de même pu être réalisé sur ce chantier.
- Le chantier de la Rue du Trabli a permis de travailler dans un contexte extrêmement différent du chantier du tram. En effet, ce chantier est accompagné de nombreuses restrictions d'un point de vue espace disponible et moyens financiers. Il a donc été impératif d'imaginer une version allégée de l'outil permettant de travailler sur des chantiers de petites envergures tels que celui-ci.
- Le chantier de rénovation de l'autoroute A9 entre Vennes et Vevey a permis d'ajouter une dimension autoroutière à ce projet. L'étude des plans d'une étape de ce chantier a permis de développer la version autoroutière de l'outil, qui est une partie importante de ce projet. Ce chantier est le seul à ne pas être suivi par Citec, mais par RGR. Cette différence permet de ne pas restreindre les recherches aux habitudes d'un seul bureau, ce qui serait contre-productif pour l'objectif de création d'un outil général.
- Le chantier de la jonction autoroutière du Grand-Saconnex (JAG) est la dernière étude de cas de ce projet. L'analyse de plans d'une étape a permis de confirmer et de corriger les éléments de la version autoroutière de l'outil. Cette étude sert de double vérification avec l'étude du chantier de l'A9.

Les résultats des études de cas sont dans la globalité très satisfaisants. L'outil remplit tous ses objectifs. Premièrement, le relevé de déficits et la vérification des différents

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

thèmes se fait très facilement grâce à l'outil. Au total, 66 déficits ont été relevés dans le cadre des RSI, et 17 dans le cadre des RSA. Ces nombres conséquents témoignent d'une vraie capacité de détection générée par l'outil.

Ensuite, l'outil fournit un gain de temps considérable à l'ingénieur. Grâce à la partie d'aide au traitement d'information de l'outil, il est possible de transmettre les résultats complets d'un RSI ou d'un RSA en une journée. Ce délai court est particulièrement important dans le cas d'une analyse de chantier. En effet, les déficits relevés dans un chantier doivent être corrigés rapidement. Ils sont souvent récents, peuvent parfois être très dangereux et la situation temporaire impose une réaction rapide. C'est la principale différence entre un RSI standard et un RSI chantier. Le RSI standard évalue une route qui ne va pas évoluer dans les mois à venir. Les mesures ne sont donc pas urgentes et des délais de plusieurs mois ne sont pas particulièrement problématiques. Ce n'est pas le cas dans un RSI chantier qui exige des mesures prises rapidement, et donc une réalisation rapide de la transmission des résultats de l'étude.

Finalement, l'étude du tram a permis de démontrer que l'outil a un réel impact positif sur les chantiers. En effet, la note du chantier s'est améliorée au fil des RSI. Cela s'explique par le fait que beaucoup de déficits relevés ont pu être rapidement transmis, et donc corrigés. L'outil est donc utile et cela transparaît sur le niveau de sécurité des chantiers, qui s'améliore grâce à cela.

Pour terminer cette section, quelques observations générales faites durant les RSI chantier vont être présentées sous forme de conseils. Premièrement, comme mentionné précédemment, les résultats d'un RSI chantier doivent être transmis rapidement car les mesures doivent être prises dans les plus brefs délais. Pour cette raison, l'outil permet de concevoir des résultats très rapidement. Il est cependant important que l'ingénieur réalisant l'étude ait le temps de réaliser cela directement après le relevé. Un travail de planification dans l'agenda de l'ingénieur est donc nécessaire.

Deuxièmement, la fréquence des RSI à réaliser sur un chantier doit être bien plus importante que sur une route classique. En effet, la situation évolue très vite et il est impératif de toujours garder la situation sous contrôle. La fréquence idéale des RSI dépend de l'envergure du chantier et des moyens financiers, il n'y a pas une réponse unique. Il est cependant recommandé de réaliser un RSI dès la mise en place du chantier, puis à chaque changement de phase. Une fréquence d'un RSI par mois au minimum est ensuite recommandée en cas de longue étape de chantier.

Troisièmement, les modes de fonctionner dans un RSI classique sont également valables dans un RSI chantier. Il est important de vérifier le chantier dans différentes conditions (jour et nuit) car certains déficits ne sont pas toujours visibles. Il est également nécessaire de se mettre dans la peau des différents usagers (véhicules, piétons, personnes à mobilité réduite) lors de la réalisation d'un RSI pour être sûr de repérer tous les déficits. Enfin, il est recommandé de réaliser les RSI à deux. En effet, le double regard et les discussions sont très bénéfiques pour éviter des erreurs. Ce dernier point n'a malheureusement pas pu être appliqué dans ce Projet de Master, et il constitue l'une des principales sources d'amélioration.

Quatrièmement, les thèmes de l'organisation générale du chantier (phasage, objectifs généraux) présents dans l'outil peuvent paraître comme étant des acquis évidents pour des grands chantiers. Le chantier du tram de Lausanne est cependant un exemple qui prouve que ce n'est pas toujours le cas. La planification était en effet très partielle durant le début des travaux. Cette famille de déficits a donc tout à fait sa place dans l'outil.

Finalement, une question s'est posée durant les études de cas. Si un déficit est relevé dans un RSI, mais qu'il est ensuite décidé de le tolérer, faut-il le relever à nouveau dans un futur RSI ? La proposition faite est de le relever à nouveau car il est important

de ne pas transmettre la fausse information qu'il aurait été résolu. Il peut cependant être évalué avec une gravité plus faible.

13.2. Outil

Comme expliqué dans le chapitre 4, l'outil est composé de trois parties. La première partie est un système d'aide à l'analyse des chantiers et est présentée dans le chapitre 5. Cette partie est composée de différents documents listant des thèmes à vérifier sous forme de tableaux. Différentes versions de l'outil permettent de travailler sur plusieurs types de chantiers : routiers, autoroutiers ou petits chantiers. Plusieurs guide ou catalogues (panneaux, mesures) permettent de guider l'ingénieur durant tout le processus. La deuxième partie de l'outil est un système d'aide au traitement des données relevées et est présentée dans le chapitre 6. L'outil est composé de plusieurs documents Word, Excel et PowerPoint utilisant des macros. Le principal avantage de cette partie de l'outil est de pouvoir gagner du temps dans la transmission des résultats. Une proposition de publication en ligne des résultats des RSI sous forme de cartographie interactive est également possible grâce à ArcGIS. La troisième partie de l'outil est un système de notation et est présentée dans le chapitre 8. Ce système permet d'évaluer la sécurité des chantiers et de se rendre compte de l'évolution dans le temps au long terme.

L'outil comporte plusieurs avantages par rapport aux méthodes existantes. Tout d'abord, grâce au processus semi-automatisé de traitement des résultats, l'outil est beaucoup plus rapide que les RSI classiques. Ce gain de temps est particulièrement profitable dans le contexte des chantiers. Ensuite, l'outil est simple d'utilisation. Il ne nécessite aucune compétence particulière dans un logiciel technique. Des guides d'utilisation permettent une prise en main très rapide pour n'importe quel utilisateur. Finalement, l'outil a l'avantage d'être complet. Les différentes versions (routes, autoroutes, petits chantiers) permettent une utilisation de l'outil dans tous les cas de figure.

L'outil a été créé pour un objectif précis : adapter les RSI et les RSA au cas des chantiers routiers. Les différents documents de l'outil sont donc centrés sur ce thème-là. Il pourrait cependant être possible d'utiliser les concepts de l'outil pour les adapter à d'autres cas de figure. L'exemple le plus évident concerne les RSI et RSA standards. Il est tout à fait imaginable de créer des documents ayant la même structure (liste de thèmes classés par familles), mais adaptés à des situations de routes classiques. L'outil de traitement des données pourrait également être généralisé. La génération automatique de rapports peut être développée pour tout type d'études en se basant sur la structure et les codes de l'outil. Enfin, la représentation des résultats utilisant la cartographie en ligne pourrait être reprise pour d'autres études que les RSI. Cette manière de faire est un excellent moyen de transmettre les résultats de n'importe quel diagnostic de terrain.

Pour finir, plusieurs perspectives d'amélioration existent par rapport à cet outil. D'abord, comme mentionné précédemment, l'outil pourrait être repris et développé pour d'autres études que les chantiers. Ensuite, les listes de thèmes spécifiques aux chantiers peuvent être sujettes à des modifications. En effet, lors de chaque étude réalisée dans le cadre de ce projet, de nouveaux thèmes qui n'avaient pas été imaginés ont pu faire leur apparition. La pratique de cet outil sur plusieurs années et des dizaines de chantiers permettrait de compléter de plus en plus l'outil. L'évolution des chantiers et des politiques de mobilité pousseront possiblement aussi la modification de certains thèmes de vérification dans l'avenir.

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

14. Conclusion

L'objectif principal de ce projet consistait à améliorer la gestion de la sécurité dans les chantiers routiers en créant un outil spécifiquement conçu pour faciliter cette tâche. Cet outil doit permettre de réaliser des RSA et des RSI sur le cas particulier des chantiers routiers. Pour réaliser cela, un premier travail de documentation et de recherche d'informations a été fait durant la pré-étude. À la suite de cela, la création de l'outil a pu être faite et s'est étalée sur plusieurs mois, durant toute la durée du projet. En parallèle de cette création, des études de cas sur des chantiers réels ont permis une amélioration continue de l'outil, basée sur les besoins de la pratique.

La version finale de l'outil est composée de trois parties. La première partie fournit à l'utilisateur une aide pour analyser les chantiers, tant pour les RSI que pour les RSA. Elle prend la forme de listes de thèmes présentées sous forme de tableaux. La deuxième partie de l'outil est un système de semi-automatisation du traitement des données récoltées. Le but est de produire des rapports dans un délai très court. Cette partie de l'outil prend la forme de documents Excel, Word ou PowerPoint utilisant des macros. L'utilisation de logiciel de cartographie comme ArcGIS fait également partie de cette étape. Enfin, la troisième et dernière partie de l'outil est un mode de notation des chantiers permettant d'évaluer l'évolution de la situation d'un chantier au fil du temps.

Les résultats des études de cas sont très positifs. L'outil permet de transmettre les résultats en moins d'un jour, ce qui est très important dans le cadre d'un chantier. De plus, l'étude du chantier du tram de Lausanne a permis de montrer que la sécurité augmentait grâce à l'utilisation de l'outil. L'objectif est donc atteint : l'outil est fonctionnel.

Des perspectives d'amélioration existent par rapport à cet outil. L'utilisation de ce dernier sur des nouveaux chantiers devrait permettre d'améliorer encore les listes de thèmes pour les rendre les plus fidèles possible aux besoins du terrain. L'optimisation de l'outil est un processus long terme et ce rapport donne toutes les informations pour modifier facilement les différentes fonctionnalités. Ensuite, le concept même de l'outil pourrait être repris et développé pour d'autres études que les chantiers. Le système de rédaction semi-automatique des rapports est très puissant et fait gagner beaucoup de temps. Cela pourrait être développé pour être utilisé pour tout type de rapports.

La version actuelle de l'outil est cependant déjà prête à une utilisation pratique sur des projets professionnels. Monsieur Benoit Villate et Monsieur Alexandre Lopez, tous deux ingénieurs chez Citec, ont entamé la première utilisation professionnelle de l'outil sur une étude concrète : le RSI d'un chantier autoroutier à Tavannes. L'objectif de créer un outil fonctionnel et utilisable dans le monde professionnel semble donc rempli.

15. Bibliographie

[1] « ArcGIS Pro | Logiciel de cartographie SIG 2D, 3D et 4D », 12 juin 2023. https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview.

[2] bpa - Bureau de prévention des accidents. « Recommandations Technique de la circulation | Passage piétons », 2016.

[3] « Citec | Bureaux d'études en ingénierie Transport et Mobilité », s. d. https://www.citec.ch/.

[4] Dumont, A.-G., & Tille, M. *Traité de Génie Civil 25 - Voies de circulation*, 2017.

[5] geo.admin.ch. « Swiss Geoportal ». Consulté le 12 juin 2023. https://map.geo.admin.ch.

[6] « Guichet cartographique cantonal ». Consulté le 12 juin 2023. https://www.geo.vd.ch/.

[7] Houston, D., & Ferdowsi, A. « Dropbox », 2008. https://www.dropbox.com/.

[8] OFROU. « A9 Vennes-Chexbres et Environs - N09 Vennes-Chexbres et Environs ». Consulté le 12 juin 2023. https://a9-vennes-chexbres.ofrou.ch/.

[9] Pierre-Yves Gilliéron. « Localisation par satellites », 2021.

[10] SISTRA – Fédération Professionnelle Suisse pour la Sécurité Routière. « Conditions techniques et contractuelles générales pour les travaux de sécurisation de chantiers sur les routes », 2017.

[11] « Site internet du Tramway lausannois », 6 juillet 2020. https://tramway-lausannois.ch/.

[12] TCS. « Signaux routiers », 2022.

[13] tl - Transports publics lausannois. « Guide des aménagements pour les transports publics routiers tl », 2017.

[14] VSS Zürich. « LISTE DES NORMES UTILES POUR UN RSA », 2021.

[15] VSS Zürich. « SN 641 722 RSA », 2017.

[16] VSS Zürich. « SN 641 723 Inspection RSI », 2016.

[17] VSS Zürich. « VSS 40 885 Signalisation des chantiers sur autoroutes et semi-autoroutes », 2015.

[18] VSS Zürich. « VSS 40 886 Signalisation des chantiers sur les routes principales et secondaires », 2019.

[19] Zolliker, Florent. « Inspection de sécurité routière (RSI – Road Safety Inspection) : développement d'un outil géoréférencé », 13 janvier 2023.

© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Annexes

Sommaire des annexes

Annexe 1. Macros Word 120

A 1.1. Module 1 – Rapport RSI 120

A 1.2. Module 2 – Création de fiches PDF 132

A 1.3. Module 3 – Rapport RSA 133

A 1.4. Module 4 – Rapport Points critiques 146

A 1.5. Module 5 – Création d'une variable publique 150

Annexe 2. Macros Excel – Document RSI 151

A 2.1. Module 1 – Ajout d'une ligne au tableau 151

A 2.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word 153

A 2.3. Module 3 – Création de variables publiques 154

A 2.4. Module 4 – Importation de coordonnées depuis un fichier CSV 154

A 2.5. Module 5 – Exportation des graphiques PNG 155

A 2.6. Module 6 – Exportation du tableau PDF 156

A 2.7. Module 7 – Transformation de coordonnées 157

A 2.8. Module 8 – Exportation du tableau CSV 158

Annexe 3. Macros Excel – Document RSA 160

A 3.1. Module 1 – Processus de création du tableau 160

A 3.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word 162

Annexe 4. Macros Excel – Document Points critiques 164

A 4.1. Module 1 – Ajout d'une ligne au tableau 164

A 4.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word 165

A 4.3. Module 3 – Importation de coordonnées depuis un fichier CSV 166

A 4.4. Module 4 – Transformation de coordonnées 167

Annexe 5. Macros PowerPoint 170

A 5.1. Module 1 - Création d'un point rouge 170

A 5.2. Module 2 - Création d'un point orange 171

A 5.3. Module 3 - Création d'un point jaune 172

A 5.4. Module 4 - Création d'un point vert 173

Annexe 1. Macros Word

A 1.1. Module 1 – Rapport RSI

```
Sub MainRSI()

    'Creation de variables utiles pour la suite (elles serviront à stocker les contenus
des cellules du tableau)
    Dim nbLignes As Byte
    Dim L As Byte
    Dim contenuGeneral As String
    Dim contenu As String
    Dim contenu2 As String
    Dim contenuCellule As String
    Dim contenuCelluleFamille As String
    Dim contenuCelluleTheme As String
    Dim contenuCelluleEval As String

    nbLignes = ActiveDocument.Tables(1).Rows.Count 'Compter le nombre de lignes
du tableau

    'Choix du type de chantier
    UserForm1.Show

    Selection.Font.ColorIndex = wdBlack 'Fixer la couleur du texte en noir

    'Pages de titre
==================================================

    'Ecriture du titre
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter 'Texte au
centre
    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page
    Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Road Safety Inspection (RSI) "  'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 20 'Fixer la taille du texte
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Nom de la route ou du lieu étudié" 'Ecriture de la
consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
'Insertion de l'image
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlPicture) 'Image
Selection.MoveRight 'Sortir de l'image
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 15 'Fixer la taille du texte

'Ecriture des textes (auteur, entreprise, date)
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
Selection.TypeText Text:="Auteur du rapport" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
Selection.TypeText Text:="Entreprise" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
Selection.TypeText Text:="Lieu et date" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

'Pages de déficits
==================================================

Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphLeft 'Texte à gauche
Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

For L = 1 To nbLignes 'Boucle pour parcourir les lignes du tableau (et créer une
page par déficit)

'Numéro de déficit
Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
```

```
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Déficit numéro " 'Ecrire
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 1).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp Unit:=wdLine, Count:=1, Extend:=wdExtend 'Monter d'une ligne
en selectionnant
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.MoveLeft
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold

    'Famille
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:=" - " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 3).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne en selectionnant
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown Unit:=wdLine, Count:=1, Extend:=wdExtend 'Descendre
d'une ligne en selectionnant
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.ColorIndex = wdDarkRed 'Fixer la couleur
    Selection.MoveDown 'Monter d'une ligne en selectionnant
    Selection.Font.ColorIndex = wdBlack 'Fixer la couleur
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold

    'Illustration
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Illustration : " 'Ecrire la ligne suivante
```

```
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlPicture) 'Image
    Selection.MoveRight 'Sortir de l'image
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    contenu = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 4).Range.Text) 'Selectionner
le contenu d'une cellule
    contenu2 = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 1).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.InsertCaption Label:="Figure", _
    Title:=" : Déficit numéro " + contenu2 + " - " + contenu,
Position:=wdCaptionPositionBelow 'Insertion légende
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Localisation
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Localisation du déficit de sécurité : " 'Ecrire la ligne
suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    If Choix = "Routier" Then
        Selection.TypeText Text:="Distance depuis le début de la zone d'analyse : "
'Ecrire la ligne suivante
    End If
    If Choix = "Autoroutier" Then
        Selection.TypeText Text:="Kilométrage : KM" 'Ecrire la ligne suivante
    End If
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 2).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.MoveLeft 'Bouger à gauche dans le texte
    If Choix = "Routier" Then
        Selection.TypeText Text:=" mètres " 'Ecrire la ligne suivante
    End If
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
```

```
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    Selection.TypeText Text:="Coordonnées WGS84 - Est : " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 8).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.TypeText Text:=" [°], Nord : " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 9).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.MoveLeft 'Bouger à gauche
    Selection.TypeText Text:=" [°]" 'Ecrire la ligne suivante
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    Selection.TypeText Text:="Coordonnées MN95 - Est :  " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 10).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.TypeText Text:=" [m], Nord : " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 11).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.MoveLeft 'Bouger à gauche dans le texte
    Selection.TypeText Text:=" [m]" 'Ecrire la ligne suivante
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    'Classification
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Classification du déficit de sécurité : " 'Ecrire la ligne
suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.TypeText Text:="Famille : " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 3).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
```

```
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    Selection.TypeText Text:="Thème : " 'Ecrire la ligne suivante
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 4).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.MoveUp 'Monter d'une ligne
    Selection.TypeBackspace 'Supprimer la ligne
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    'Description
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Description du déficit de sécurité : " 'Ecrire la ligne
suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 5).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    'Evaluation
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Évaluation du déficit de sécurité : " 'Ecrire la ligne
suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Call tableau 'Appel de la fonction tableau pour créer le tableau vide
    contenuCellule = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 6).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule

    If contenuCellule = "Eleve" Then
        Call eleve 'Appel de la fonction eleve pour remplir la case correspondante
    End If

    If contenuCellule = "Moyen" Then
        Call moyen 'Appel de la fonction moyen pour remplir la case correspondante
    End If

    If contenuCellule = "Faible" Then
        Call faible 'Appel de la fonction faible pour remplir la case correspondante
    End If

    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page

    'Mesure proposee
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 14 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Mesure proposée : " 'Ecrire la ligne suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 7).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:=contenuGeneral 'Ecriture du contenu de la cellule dans
le texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select 'Selection du dernier
paragraphe
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
```

```
    Selection.MoveDown 'Descendre d'une ligne

    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    Next L

    'Tableau résumé
==================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Liste globale des déficits : " 'Ecrire la ligne suivante
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Creation tableau
    ActiveDocument.Tables.Add Range:=Selection.Range, NumRows:=L,
NumColumns:=3, _
    DefaultTableBehavior:=wdWord9TableBehavior

    'Ligne de titre
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Numéro de déficit"
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Type de déficit"
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Évaluation du déficit"
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.MoveDown
    Selection.MoveLeft
    Selection.MoveLeft

    'Ajuster la taille des colonnes
    Selection.Tables(1).Columns(1).SetWidth ColumnWidth:=65,
RulerStyle:=wdAdjustNone
    Selection.Tables(1).Columns(2).SetWidth ColumnWidth:=300,
RulerStyle:=wdAdjustNone
    Selection.Tables(1).Columns(3).SetWidth ColumnWidth:=120,
RulerStyle:=wdAdjustNone

    'Lignes de déficits
    For L = 1 To nbLignes 'Boucle

        'Numero déficit
        contenuGeneral = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 1).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
        Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
        Selection.MoveUp
        Selection.Tables(1).Cell(L + 1, 1).Select 'Selectionner la cellule
        Selection.TypeText Text:=contenuGeneral
        Selection.SelectCell
        Selection.Font.Size = 12
        Selection.Font.Name = "Arial"
        Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
        Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter

        'Type déficit
        contenuCelluleFamille = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L,
3).Range.Text) 'Selectionner le contenu d'une cellule
        contenuCelluleTheme = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L,
4).Range.Text) 'Selectionner le contenu d'une cellule
        Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
        Selection.MoveUp
        Selection.Tables(1).Cell(L + 1, 2).Select 'Selectionner la cellule
        Selection.TypeText Text:=contenuCelluleFamille + " - " + contenuCelluleTheme
'Ecrire la ligne suivante
        Selection.SelectCell
        Selection.Font.Size = 12
        Selection.Font.Name = "Arial"
        Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
        Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter

        'Evaluation déficit
```

```
        contenuCelluleEval = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 6).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
        Selection.EndKey Unit:=wdStory 'Aller en bas de page
        Selection.MoveUp
        Selection.Tables(1).Cell(L + 1, 3).Select 'Selectionner la cellule
        If contenuCelluleEval = "Élevé" Then
            Selection.TypeText Text:="Élevé" 'Ecrire la ligne suivante
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond de la
cellule : rouge
        End If
        If contenuCelluleEval = "Moyen" Then
            Selection.TypeText Text:="Moyen" 'Ecrire la ligne suivante
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 8696052 'Couleur de fond de la
cellule : orange
        End If
        If contenuCelluleEval = "Faible" Then
            Selection.TypeText Text:="Faible" 'Ecrire la ligne suivante
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 6740479 'Couleur de fond de la
cellule : jaune
        End If
        Selection.SelectCell
        Selection.Font.Size = 12
        Selection.Font.Name = "Arial"
        Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
        Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter

    Next L

    Selection.MoveDown

End Sub

Sub tableau() 'Fonction servant à créer le tableau des gravités

    'Creation tableau vide
    ActiveDocument.Tables.Add Range:=Selection.Range, NumRows:=1,
NumColumns:=3, _
    DefaultTableBehavior:=wdWord9TableBehavior

    'Remplissage et mise en page du tableau
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Faible"
    Selection.MoveLeft Unit:=wdCharacter, Count:=6, Extend:=wdExtend
    Selection.Font.ColorIndex = wdGray25
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Moyen"
    Selection.MoveLeft Unit:=wdCharacter, Count:=5, Extend:=wdExtend
    Selection.Font.ColorIndex = wdGray25
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.Font.Size = 12
    Selection.Font.Name = "Arial"
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.TypeText Text:="Élevé"
    Selection.MoveLeft Unit:=wdCharacter, Count:=5, Extend:=wdExtend
    Selection.Font.ColorIndex = wdGray25

    'Ajuster la taille des colonnes
    Selection.Tables(1).Columns(1).SetWidth ColumnWidth:=63.8,
RulerStyle:=wdAdjustNone
    Selection.Tables(1).Columns(2).SetWidth ColumnWidth:=63.8,
RulerStyle:=wdAdjustNone
    Selection.Tables(1).Columns(3).SetWidth ColumnWidth:=63.8,
RulerStyle:=wdAdjustNone

End Sub

Sub faible()

    'Modification d'une case
    Selection.Tables(1).Columns(1).Select
    Selection.Font.ColorIndex = wdBlack 'Fixer la couleur
    Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 6740479 'Couleur de fond de la
cellule : jaune

End Sub
```

```
Sub moyen()

   'Modification d'une case
   Selection.Tables(1).Columns(2).Select
   Selection.Font.ColorIndex = wdBlack 'Fixer la couleur
   Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 8696052 'Couleur de fond de la
cellule : orange

End Sub

Sub eleve()

   'Modification d'une case
   Selection.Tables(1).Columns(3).Select
   Selection.Font.ColorIndex = wdBlack 'Fixer la couleur
   Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond de la
cellule : rouge

End Sub

Public Function NetText(stTemp As String) As String 'Fonction servant à assimiler le
contenu d'une cellule à une variable
   'Nous utilisans les caractères de la chaîne sans les deux derniers
   NetText = Left(stTemp, Len(stTemp) - 2)
End Function
```

A 1.2. Module 2 – Création de fiches PDF

```
Sub SaveAsSeparatePDF() 'Code créé par Florent Zolliker

   'Creation de variables utiles pour la suite
   Dim i As Long
   Dim xStr As String
   Dim xPathStr As Variant
   Dim xDictoryStr As String
   Dim xFileDlg As FileDialog
   Dim xStartPage, xEndPage As Long
   Dim xStartPageStr, xEndPageStr As String

   'Lieu d'exportation
   Set xFileDlg = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
   If xFileDlg.Show <> -1 Then
      MsgBox "Choisisser le dossier dans lequel vous voulez exporter les feuilles de
deficits", vbInformation, "Kutools for Word"
      Exit Sub
   End If
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    'Selection des pages a exporter
    xPathStr = xFileDlg.SelectedItems(1)
    xStartPageStr = InputBox("Commencer a enregistrer en PDF à partir de la page __? (Attention a bien compter egalement la page de garde)" & vbNewLine & "(ex: 1)", "Kutools for Word")
    xEndPageStr = InputBox("Enregistrer en PDF jusqu'a la page __? (Attention a bien compter egalement la page de garde)" & vbNewLine & "(ex: 7)", "Kutools for Word")
    If Not (IsNumeric(xStartPageStr) And IsNumeric(xEndPageStr)) Then
        MsgBox "La page de depart et de fin doivent être sous forme numerique", vbInformation, "Kutools for Word"
        Exit Sub
    End If
    xStartPage = CInt(xStartPageStr)
    xEndPage = CInt(xEndPageStr)
    If xStartPage > xEndPage Then
        MsgBox "La page de depart ne peut pas être plus grande que la page de fin", vbInformation, "Kutools for Word"
        Exit Sub
    End If
    If xEndPage > ActiveDocument.BuiltInDocumentProperties(wdPropertyPages) Then
        xEndPage = ActiveDocument.BuiltInDocumentProperties(wdPropertyPages)
    End If

    'Creation des pages PDF
    For i = xStartPage To xEndPage
        ActiveDocument.ExportAsFixedFormat xPathStr & "\Deficit " & (i - xStartPage + 1) & ".pdf", _
        wdExportFormatPDF, False, wdExportOptimizeForPrint, wdExportFromTo, i, i, wdExportDocumentWithMarkup, _
        False, False, wdExportCreateHeadingBookmarks, True, False, False
        Next

End Sub
```

A 1.3. Module 3 – Rapport RSA

```
Sub MainRSA()

    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim nbLignes As Byte
    Dim L As Byte
    Dim L2 As Byte

    nbLignes = ActiveDocument.Tables(1).Rows.Count 'Compter le nombre de ligne du tableau
```

```
    'Choix du type de chantier
    UserForm1.Show

    'Pages de titre
==================================================
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter 'Texte au
centre

    'Ecriture du titre
    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page
    Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Road Safety Audit (RSA) "  'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 20 'Fixer la taille du texte
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Nom de la route ou du lieu étudié" 'Ecriture de la
consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Insertion de l'image
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlPicture) 'Image
    Selection.MoveRight 'Sortir de l'image
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Font.Size = 15 'Fixer la taille du texte

    'Ecriture des textes (auteur, entreprise, date)
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Auteur du rapport" 'Ecriture de la consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Entreprise" 'Ecriture de la consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Lieu et date" 'Ecriture de la consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphLeft 'Texte à gauche
    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    'Pages des thèmes
==================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Listes des thèmes vérifiés dans le cadre du RSA"
'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    If Choix = "Routier" Then
        Call pageThemes 'Appel de la fonction qui va écrire la liste des thèmes étudiés
    End If
    If Choix = "Autoroutier" Then
        Call pageThemesAutoroute 'Appel de la fonction qui va écrire la liste des
thèmes étudiés
    End If

    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    'Pages de déficits
==================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Liste des déficits relevés" 'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```

```
    For L = 1 To nbLignes 'Boucle pour parcourir les lignes du tableau

    numéro = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 1).Range.Text) 'Selectionner
le contenu d'une cellule
    theme = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 2).Range.Text) 'Selectionner
le contenu d'une cellule
    Description = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 3).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:=numéro + ") " + theme + " : " 'Ecrire la ligne
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:=Description 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Next L

    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    'Tableau résumé
=====================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Tableau récapitulatif" 'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Creation tableau
    If Choix = "Routier" Then
        ActiveDocument.Tables.Add Range:=Selection.Range, NumRows:=17,
NumColumns:=3, _
        DefaultTableBehavior:=wdWord9TableBehavior
    End If
    If Choix = "Autoroutier" Then
        ActiveDocument.Tables.Add Range:=Selection.Range, NumRows:=18,
NumColumns:=3, _
        DefaultTableBehavior:=wdWord9TableBehavior
    End If
    Selection.Tables(1).Columns(1).SetWidth ColumnWidth:=45,
RulerStyle:=wdAdjustNone
    Selection.Tables(1).Columns(2).SetWidth ColumnWidth:=250,
RulerStyle:=wdAdjustNone
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.Tables(1).Columns(3).SetWidth ColumnWidth:=120,
RulerStyle:=wdAdjustNone

    'Première ligne
    Selection.SelectCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="No"
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Thème vérifié"
    Selection.MoveRight Unit:=wdCell
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
    Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
    Selection.Font.Bold = wdToggle
    Selection.TypeText Text:="Résultat de l'analyse"

    'Première colonne
    If Choix = "Routier" Then
        For L = 2 To 17
            ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 1).Select
            Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
            Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
            Selection.TypeText Text:=L - 1
        Next L
    End If
    If Choix = "Autoroutier" Then
        For L = 2 To 18
            ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 1).Select
            Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter
            Selection.Cells.VerticalAlignment = wdCellAlignVerticalCenter
            Selection.TypeText Text:=L - 1
        Next L
    End If

    'Deuxième colonne

    If Choix = "Routier" Then
        ActiveDocument.Tables(2).Cell(2, 2).Select
        Selection.TypeText Text:="Périmètres du chantier"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Largeurs des voies"
```

```
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Barrières de sécurité et balises"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Collisions frontales"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Niches d'évacuation"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Gestion du trafic"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Panneaux de signalisation"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Marquage au sol"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Masquage des éléments non pertinents"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Feux de circulation"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Guidage des piétons"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Circulation de nuit"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Phasage du chantier"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Riverains"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Lignes de bus"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Gestion des cyclistes"
End If
If Choix = "Autoroutier" Then
    ActiveDocument.Tables(2).Cell(2, 2).Select
    Selection.TypeText Text:="Périmètres du chantier"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Largeurs des voies"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Balises et dispositifs de retenue"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Collisions frontales"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Niches d'évacuation"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Tracé des voies de circulation"
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeText Text:="Panneaux de signalisation"
    Selection.MoveDown
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
        Selection.TypeText Text:="Marquage au sol"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Masquage des éléments non pertinents"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Éclairage"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Limitations de vitesse"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Circulation de nuit"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Phasage du chantier"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Kilométrage"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Accès aux zones de travaux"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Tunnels"
        Selection.MoveDown
        Selection.TypeText Text:="Bandes de ralentissement"
    End If

    'Troisième colonne
    If Choix = "Routier" Then
        For L = 2 To 17
            theme = NetText(ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 2).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
            verif = check(theme)
            If verif = 0 Then
                ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
                Selection.TypeText Text:="Situation conforme"
                Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 9359529 'Couleur de fond
de la cellule : vert
            End If
            If verif = 1 Then
                verifSTR = CStr(verif)
                ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
                Selection.TypeText Text:=verifSTR + " déficit relevé"
                Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond
de la cellule : rouge
            End If
            If verif > 1 Then
                verifSTR = CStr(verif)
                ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
                Selection.TypeText Text:=verifSTR + " déficits relevés"
```

```
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond
de la cellule : rouge
        End If
      Next L
   End If

   If Choix = "Autoroutier" Then
      For L = 2 To 18
        theme = NetText(ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 2).Range.Text)
'Selectionner le contenu d'une cellule
        verif = check(theme)
        If verif = 0 Then
            ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
            Selection.TypeText Text:="Situation conforme"
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 9359529 'Couleur de fond
de la cellule : vert
        End If
        If verif = 1 Then
            verifSTR = CStr(verif)
            ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
            Selection.TypeText Text:=verifSTR + " déficit relevé"
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond
de la cellule : rouge
        End If
        If verif > 1 Then
            verifSTR = CStr(verif)
            ActiveDocument.Tables(2).Cell(L, 3).Select
            Selection.TypeText Text:=verifSTR + " déficits relevés"
            Selection.Shading.BackgroundPatternColor = 5790717 'Couleur de fond
de la cellule : rouge
        End If
      Next L
   End If


End Sub

Public Function NetText(stTemp As String) As String 'Fonction servant à assimiler le
contenu d'une cellule à une variable
   'Nous utilisans les caractères de la chaîne sans les deux derniers
   NetText = Left(stTemp, Len(stTemp) - 2)
End Function

Sub pageThemes()

   Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.TypeText Text:="Thème 1 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Périmètres du chantier (circulation, travaux, piétons) "
'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 2 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Largeur des voies de circulation" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 3 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Barrières de sécurité, balises et cônes de balisage"
'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 4 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Zone de sécurité pour les collisions frontales" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 5 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Niches d'évacuation pour les véhicules" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 6 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Gestion du trafic" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 7 : " 'Ecrire
```

```
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Panneaux de signalisation" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 8 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Marquage au sol" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 9 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Masquage des éléments (marquage, signalisations)
non pertinents durant la période du chantier" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 10 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Feux de circulation" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 11 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Guidage des piétons" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 12 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Circulation de nuit" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 13 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Phasage du chantier" 'Ecrire
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 14 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Gestion des accès pour les riverains" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 15 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Lignes de bus : passage et arrêts" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 16 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Gestion des cyclistes" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

End Sub

Sub pageThemesAutoroute()

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 1 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Périmètres du chantier (circulation, travaux, piétons) "
'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 2 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Largeur des voies de circulation" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 3 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
```

```
Selection.TypeText Text:="Balises et dispositifs de retenue" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 4 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Zone de sécurité pour les collisions frontales" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 5 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Niches d'évacuation pour les véhicules" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 6 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Tracé des voies de circulation" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 7 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Panneaux de signalisation" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 8 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Marquage au sol" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 9 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Masquage des éléments (marquage, signalisations)
non pertinents durant la période du chantier" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 10 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Éclairage" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 11 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Limitations de vitesse" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 12 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Circulation de nuit" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 13 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Phasage du chantier" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 14 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Kilométrage" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Thème 15 : " 'Ecrire
Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
Selection.TypeText Text:="Accès aux zones de travaux" 'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
```

```
    Selection.TypeText Text:="Thème 16 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Tunnels" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Thème 17 : " 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:="Bandes de ralentissement" 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

End Sub

Function check(theme) As Double 'Fonction servant à détecter si le thème du déficit
étudié correspond au thème de la ligne du tableau traitée
    check = 0
    themeSTR = CStr(theme) 'on convertit le theme en String
    nbLignes = ActiveDocument.Tables(1).Rows.Count 'Compter le nombre de ligne
du tableau

    For L2 = 1 To nbLignes 'Boucle pour parcourir les lignes du tableau

    themeDeficit = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L2, 2).Range.Text)
    themeDeficitSTR = CStr(themeDeficit)
    If themeDeficitSTR = themeSTR Then
        check = check + 1 'check devient 1 s'il y a une correspondance, il reste o sinon
    End If

    Next L2

End Function
```

A 1.4. Module 4 – Rapport Points critiques

```
Sub MainPtCrit()

    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim nbLignes As Byte

    'Compter le nombre de ligne du tableau
    nbLignes = ActiveDocument.Tables(1).Rows.Count
    nbLignesSTR = CStr(nbLignes) 'convertir le nombre de lignes en String

    'Choix du type de chantier
    UserForm1.Show
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
'Page de titre ==================================================

'Ecriture du titre
Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphCenter 'Texte au centre
Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page
Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
Selection.TypeText Text:="Relevé des points critiques"  'Ecrire
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 20 'Fixer la taille du texte
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à remplir
Selection.TypeText Text:="Nom de la route ou du lieu étudié" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
Selection.TypeParagraph 'A la ligne

'Insertion de l'image
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlPicture) 'Image
Selection.MoveRight 'Sortir de l'image
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 24 'Fixer la taille du texte
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Font.Size = 15 'Fixer la taille du texte

'Ecriture des textes (auteur, entreprise, date)
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à remplir
Selection.TypeText Text:="Auteur du rapport" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
Selection.TypeParagraph 'A la ligne
Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à remplir
Selection.TypeText Text:="Entreprise" 'Ecriture de la consigne
Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
```

```
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlRichText) 'Texte à
remplir
    Selection.TypeText Text:="Lieu et date" 'Ecriture de la consigne
    Selection.MoveRight 'Sortir de la selection
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphLeft 'Texte à gauche
    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    'Introduction ====================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Introduction" 'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Ecriture du texte d'introduction
    Selection.TypeText Text:="Le but de ce document est de relever les points
critiques du chantier ou de l'étape de chantier "
    Selection.TypeText Text:="avant sa mise en place. Il est important de souligner
qu'un point critique n'est pas un déficit. "
    Selection.TypeText Text:="Un point critique est un endroit dans le chantier qui a
un risque plus élevé que la moyenne "
    Selection.TypeText Text:="de générer un déficit plus tard. Ce ne sont donc pas
des points à corriger, mais des points "
    Selection.TypeText Text:="à surveiller. Les points critiques sont, par exemple, les
passages piétons, les routes "
    Selection.TypeText Text:="secondaires débouchant sur le chantier, les
rétrécissements ponctuels de la chaussée ou "
    Selection.TypeText Text:="encore les arrêts de bus. L'étape du relevé des points
critiques est une jonction entre le RSA "
    Selection.TypeText Text:="et le RSI. Cette liste est réalisée en fin de RSA, avant
la mise en place du chantier. Elle peut ensuite "
    Selection.TypeText Text:="être utilisée par l'ingénieur durant la mise en place pour
vérifier qu'il n'y a pas de déficit dans "
    Selection.TypeText Text:="l'un de ces points critiques. Elle peut aussi être utilisée
durant un RSI fait ultérieurement "
    Selection.TypeText Text:="comme un outil permettant d'indiquer les points à
vérifier prioritairement."

    'Mise en page du texte
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.Previous(Unit:=wdParagraph, Count:=1).Select
    Selection.ParagraphFormat.Alignment = wdAlignParagraphJustify
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    Selection.MoveDown
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Carte des points critiques
==================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Localisation des points critiques" 'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    'Illustration
    Selection.Range.ContentControls.Add (wdContentControlPicture) 'Image
    Selection.MoveRight 'Sortir de l'image
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.InsertCaption Label:="Figure", _
    Title:=" : Carte de la localisation des " + nbLignesSTR + " points critiques",
Position:=wdCaptionPositionBelow
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Selection.InsertBreak Type:=wdPageBreak 'Saut de page

    'Liste des points critiques
==================================================

    Selection.Font.Size = 18 'Fixer la taille
    Selection.Font.Name = "Arial" 'Fixer la police
    Selection.TypeText Text:="Légende des points critiques" 'Ecrire
    Selection.Font.Size = 11 'Fixer la taille
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    For L = 1 To nbLignes 'Boucle pour parcourir les lignes du tableau

    'Selection du contenu des cellules
    numéro = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 1).Range.Text)
    theme = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 2).Range.Text)
    longitude = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 3).Range.Text)
    latitude = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 4).Range.Text)
    Est = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 5).Range.Text)
    Nord = NetText(ActiveDocument.Tables(1).Cell(L, 6).Range.Text)

    'Ecriture des lignes
```

```
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeText Text:=numéro + ") " + theme 'Ecrire
    Selection.Font.Bold = wdToggle 'Touche Bold
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeText Text:="Coordonnées MN95 - Nord : " + Nord + " [m], Est : " +
Est + " [m] " 'Ecrire
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne
    Selection.TypeParagraph 'A la ligne

    Next L

End Sub

Public Function NetText(stTemp As String) As String 'Fonction servant à assimiler le
contenu d'une cellule à une variable
    'Nous utilisans les caractères de la chaîne sans les deux derniers
    NetText = Left(stTemp, Len(stTemp) - 2)
End Function
```

A 1.5. Module 5 – Création d’une variable publique

```
Public Choix As String
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

Annexe 2. Macros Excel – Document RSI

A 2.1. Module 1 – Ajout d'une ligne au tableau

```
Sub AjoutLigne()

    'Selectionner la premiere ligne vide
    Dim DerniereLigne As Long
    DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
    Cells(DerniereLigne, 2).Offset(1, 0).Select

    'Mettre en forme le rang vide
    ActiveCell.Range("A1:K1").Select
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
```

```
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    Selection.RowHeight = 60

    ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select

    'Ajouter le numero de deficit
    Dim N As Integer
    N = Selection.Row
    ActiveCell.Offset(0, 1).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = N - 4

    'Fenetre de demande de la localisation
    ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select
    Dim localisation As String
    localisation = InputBox("Donnez le kilométrage du déficit de sécurité",
"Localisation du déficit de sécurité")
    While Not (IsNumeric(localisation) Or localisation = "")
        MsgBox "Le kilométrage doit être écrit sous forme numérique", vbInformation,
"Kutools for Word"
        localisation = InputBox("Donnez le kilométrage du déficit de sécurité",
"Kilométrage du déficit de sécurité")
    Wend
    ActiveCell.Offset(0, 2).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = localisation

    'Fenetre de demande de la famille
    UF2.Show
    Sheets("Choix").Select

    'Fenetre de demande du theme en fonction du choix de la famille
    If Mess(2) = Cells(3, 3).Value Then
        UF31.Show
    End If
    If Mess(2) = Cells(4, 3).Value Then
        UF32.Show
    End If
    If Mess(2) = Cells(5, 3).Value Then
        UF33.Show
    End If
    If Mess(2) = Cells(6, 3).Value Then
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    UF34.Show
  End If

  'Fenetre de demande de la description
  ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select
  Dim description As String
  description = InputBox("Décrivez le déficit de sécurité", "Description du déficit de
sécurité")
  ActiveCell.Offset(0, 5).Range("A1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = description

  'Fenetre de demande de l'evaluation
  UF1.Show

  'Fenetre de demande de la mesure proposee
  ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select
  Dim photo As String
  photo = InputBox("Donnez la mesure proposée", "Mesure proposée")
  ActiveCell.Offset(0, 7).Range("A1").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = photo

End Sub
```

A 2.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word

```
Sub Eval()

  'Copier le tableau
  Dim DerniereLigne As Long
  DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
  Range("B5:L" & DerniereLigne).Copy

  'Creation de variables utiles pour la suite
  Dim DocApp As Object
  Dim DocFile As Object
  Dim DocName As String
  On Error Resume Next

  'Ouverture de Word
  Set DocApp = GetObject(, "Word.Application")
  If Err.Number = 429 Then
    Err.Clear
   Set DocApp = CreateObject("Word.Application")
  End If
  DocApp.Visible = True
```

```
    'Selection du fichier
    Dim dialogBox As FileDialog
    Set dialogBox = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
    Dim selectedFile As String
    With dialogBox
        .Filters.Add "DOCM", "*.docm", 1
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show = True Then
            DocName = .SelectedItems(1)
        End If
    End With

    'Si le fichier n'est pas selectionné : message d'erreur
    If Dir(DocName) = "" Then
        MsgBox ("Le fichier n'a pas été selectionné.")
        Exit Sub
    End If

    'Coller le tableau dans ledocument Word
    DocApp.Activate
    Set DocFile = DocApp.Documents(DocName)
    If DocFile Is Nothing Then Set DocFile = DocApp.Documents.Open(DocName)
        DocFile.Activate
        DocFile.Range.Paste
        DocFile.Save DocApp.Quit
        Set DocFile = Nothing
        Set DocApp = Nothing
        Application.CutCopyMode = False

End Sub
```

A 2.3. Module 3 – Création de variables publiques

```
'Creation de variables pour les formulaires
Public Mess(1 To 3) As String
Public Prec_UF As Byte
```

A 2.4. Module 4 – Importation de coordonnées depuis un fichier CSV

```
Sub ImporterCoord()

    'Selection du fichier CSV
    Dim dialogBox As FileDialog
    Set dialogBox = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
    Dim selectedFile As String
    With dialogBox
        .Filters.Add "CSV", "*.csv", 1
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show = True Then
            selectedFile = .SelectedItems(1)
        End If
    End With

    'Copie du fichier CSV dans le tableau Excel
    If selectedFile <> "" Then
        Open selectedFile For Input As #1
            Dim rowNumber As Long
            Dim lineFromFile As String
            Dim lineItems As Variant 'array of string
            Dim itteration As Integer
            rowNumber = 1
            Do Until EOF(1) 'false till end of file is reache then it will turn true
                Line Input #1, lineFromFile ' reads a single line from an open sequential file
                lineItems = Split(lineFromFile, ",")
                For itteration = 0 To 1 'nbr de colonnes par ligne
                    Range("I5").Cells(rowNumber, itteration + 1) = lineItems(itteration)
                Next
                rowNumber = rowNumber + 1
            Loop
        Close #1
    End If

End Sub
```

A 2.5. Module 5 – Exportation des graphiques PNG

```
Sub sauvegardeStats()

    'Creation de variables utilespour la suite
    Dim i As Long
    Dim xStr As String
    Dim xPathStr As Variant
    Dim xDictoryStr As String
    Dim xFileDlg As FileDialog

    'Choix du lieu d'exportation
    Set xFileDlg = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
    If xFileDlg.Show <> -1 Then
        MsgBox "Choisissez le dossier dans lequel vous voulez exporter les graphiques",
vbInformation, "Kutools for Word"
        Exit Sub
    End If
    xPathStr = xFileDlg.SelectedItems(1)
```

```
    'Exportation image Evaluation
    Dim objChart1 As ChartObject
    Set objChart1 = Worksheets("Statistiques").ChartObjects("Graphique 1")
    objChart1.Chart.Export xPathStr & "\Evaluation.png", "PNG"

    'Exportation image Classification
    Dim objChart2 As ChartObject
    Set objChart2 = Worksheets("Statistiques").ChartObjects("Graphique 2")
    objChart2.Chart.Export xPathStr & "\Classification.png", "PNG"

    'Exportation image Localisation
    Dim objChart3 As ChartObject
    Set objChart3 = Worksheets("Statistiques").ChartObjects("Graphique 28")
    objChart3.Chart.Export xPathStr & "\Localisation.png", "PNG"

End Sub
```

A 2.6. Module 6 – Exportation du tableau PDF

```
Sub NomPdf()

    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim xPathStr As Variant
    Dim xFileDlg As FileDialog

    'Choix du lieu d'exportation
    Set xFileDlg = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
    If xFileDlg.Show <> -1 Then
        MsgBox "Choisissez le dossier dans lequel vous voulez exporter le PDF du
tableau", vbInformation, "Kutools for Word"
        Exit Sub
    End If
    xPathStr = xFileDlg.SelectedItems(1)
    Chemin = xPathStr & "\"
    Fich = "TableauResultats" & ".pdf"
    NomFiche = Chemin & Fich

     'Appel fonction exportation
    Call EditionPDF(NomFiche)

    'Messagede confirmation
    MsgBox "PDF enregistré"

End Sub
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
Sub EditionPDF(NomFiche) 'Fonction d'exportation du PDF

  Worksheets("Resultats").ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
    Filename:=NomFiche, _
    Quality:=xlQualityMinimum, _
    IncludeDocProperties:=True, _
    IgnorePrintAreas:=False, _
    OpenAfterPublish:=False

End Sub
```

A 2.7. Module 7 – Transformation de coordonnées

```
Sub TransfoCoord()

  'Trouver le nombre de ligne à traiter
  Dim DerniereLigne As Long
  DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row 'premiere ligne vide

  'Fixer les constantes
  Z = 460.487
  a_glob = 6378137
  b_glob = 6356752.3142
  ajoutX = -674.374
  ajoutY = -15.056
  ajoutZ = -405.346
  a_local = 6377397.155
  b_local = 6356078.96282

  E2 = 0.006674372230614
  E_proj = E2 ^ (1 / 2)
  phi_0_proj = (46 + 57 / 60 + 8.66 / 3600) * WorksheetFunction.Pi / 180 'Latitude
Berne
  lambda_0_proj = (7 + 26 / 60 + 22.5 / 3600) * WorksheetFunction.Pi / 180
'Longitude Berne
  R_proj = (a_local * (1 - E2) ^ (1 / 2)) / (1 - E2 * Sin(phi_0_proj) ^ 2)
  alpha = (1 + (E2 * Cos(phi_0_proj) ^ 4) / (1 - E2)) ^ (1 / 2)
  b0 = WorksheetFunction.Asin(Sin(phi_0_proj) / alpha)
  K = Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + b0 / 2)) _
  - alpha * Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + phi_0_proj / 2)) _
  + ((alpha * E_proj) / 2) * Log((1 + E_proj * Sin(phi_0_proj)) / (1 - E_proj *
Sin(phi_0_proj)))

  'Boucle de conversion
  For i = 5 To DerniereLigne:
    Est = Cells(i, 9).Value * WorksheetFunction.Pi / 180
    Nord = Cells(i, 10).Value * WorksheetFunction.Pi / 180
```

```
    'ellipsoide -> cartesien
    e = ((a_glob ^ 2 - b_glob ^ 2) ^ (1 / 2)) / a_glob
    Rn = a_glob / (Sqr(1 - (e ^ 2 * Sin(Nord) ^ 2)))
    x_WGS = (Rn + Z) * Cos(Nord) * Cos(Est)
    y_WGS = (Rn + Z) * Cos(Nord) * Sin(Est)
    z_WGS = (Rn * (1 - e ^ 2) + Z) * Sin(Nord)

    'WGS84 -> CH1903+
    x_CH = x_WGS + ajoutX
    y_CH = y_WGS + ajoutY
    z_CH = z_WGS + ajoutZ

    'cartesien -> ellipsoide
    e = (a_local ^ 2 - b_local ^ 2) ^ (1 / 2) / a_local
    Phi = Atn((z_CH) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
    Rn = a_local / ((1 - (e ^ 2 * Sin(Phi) ^ 2)) ^ (1 / 2))
    phi_1 = Atn((z_CH + Rn * e ^ 2 * Sin(Phi)) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
    Do While Abs(Phi - phi_1) > 1E-10
       Phi = phi_1
       Rn = a_local / ((1 - (e ^ 2 * Sin(Phi) ^ 2)) ^ (1 / 2))
       phi_1 = Atn((z_CH + Rn * e ^ 2 * Sin(Phi)) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
    Loop
    Phi = phi_1
    lambda = Atn(y_CH / x_CH)

    'Projection
    S = alpha * Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + Phi / 2)) _
    - ((alpha * E_proj) / 2) * Log((1 + E_proj * Sin(Phi)) / (1 - E_proj * Sin(Phi))) + K
    b = 2 * (Atn(Exp(S)) - WorksheetFunction.Pi / 4)
    l = alpha * (lambda - lambda_0_proj)
    l_rot = Atn((Sin(l)) / (Sin(b0) * Tan(b) + Cos(b0) * Cos(l)))
    b_rot = WorksheetFunction.Asin(Cos(b0) * Sin(b) - Sin(b0) * Cos(b) * Cos(l))
    Y = R_proj * l_rot + 2600000
    X = (R_proj / 2) * Log((1 + Sin(b_rot)) / (1 - Sin(b_rot))) + 1200000

    'Ecriture dans le tableau
    Cells(i, 11).Value = Y
    Cells(i, 12).Value = X
  Next

End Sub
```

A 2.8. Module 8 – Exportation du tableau CSV

```
Sub sauvegardeCSV()
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim xPathStr As Variant
    Dim xFileDlg As FileDialog

    'Choix du lieu d'exportation
    Set xFileDlg = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
    If xFileDlg.Show <> -1 Then
        MsgBox "Choisissez le dossier dans lequel vous voulez exporter le CSV",
vbInformation, "Kutools for Word"
        Exit Sub
    End If
    xPathStr = xFileDlg.SelectedItems(1)

    'Exportation
    Dim wb As Workbook, ws As Worksheet
    Dim strPath As String, strFilename As String
    Set wb = ThisWorkbook
    Set ws = wb.Worksheets("feuille CSV")
    strPath = wb.Path & Application.PathSeparator
    strFilename = "\TableauArcGIS.csv"
    ws.Copy
    With ActiveWorkbook
        .SaveAs Filename:=xPathStr & strFilename, _
            FileFormat:=xlCSV, _
            local:=True
        .Close savechanges:=False
    End With

End Sub
```

Annexe 3. Macros Excel – Document RSA

A 3.1. Module 1 – Processus de création du tableau

```
'Creation de variables utiles pour la suite
Public reponse As String
Public themeSTR As String

Sub Processus()

   Dim compte As Double 'variable pour parcourir les thèmes
   compte = 1

   'on parcoure tous les thèmes
   While compte < 17

      'on demande s'il y a un déficit sur ce thème
      Sheets("Choix").Select
      theme = Cells(compte, 2).Value
      themeSTR = CStr(theme)
      Sheets("Resultats").Select
      reponse = theme
      UserForm1.Show

      'S'il n'y a pas de déficit, on passe au thème suivant
       If reponse = "Aucun" Then
         compte = compte + 1

      'S'il y a un déficit, on crééune nouvelle ligne
      Else
         nouvelleLigne (reponse)

      End If

   Wend

End Sub

Sub nouvelleLigne(reponse) 'création d'une nouvelle lign

   'Selectionner la premiere ligne vide
   Dim DerniereLigne As Long
   DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
   Cells(DerniereLigne, 2).Offset(1, 0).Select
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
'Mettre en forme le rang vide
ActiveCell.Range("A1:C1").Select
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
Selection.RowHeight = 60

ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select

'Ajouter le numero de deficit
```

```
    Dim N As Integer
    N = Selection.Row
    ActiveCell.Offset(0, 1).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = N - 3

    'Ajouter le thème
    ActiveCell.Offset(0, 1).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = reponse

    'Fenetre de demande de la description
    ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select
    Dim description As String
    description = InputBox("Décrivez le déficit de sécurité", "Description du déficit de
sécurité")
    ActiveCell.Offset(0, 3).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = description

End Sub
```

A 3.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word

```
Sub ExportationTableau()

    'Copier le tableau
    Dim DerniereLigne As Long
    DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
    Range("B4:D" & DerniereLigne).Copy

    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim DocApp As Object
    Dim DocFile As Object
    Dim DocName As String
    On Error Resume Next

    'Ouverture de Word
    Set DocApp = GetObject(, "Word.Application")
    If Err.Number = 429 Then
      Err.Clear
     Set DocApp = CreateObject("Word.Application")
    End If
    DocApp.Visible = True

    'Selection du fichier
    Dim dialogBox As FileDialog
    Set dialogBox = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
    Dim selectedFile As String
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    With dialogBox
        .Filters.Add "DOCM", "*.docm", 1
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show = True Then
            DocName = .SelectedItems(1)
        End If
    End With

    'Si le fichier n'est pas selectionné : message d'erreur
    If Dir(DocName) = "" Then
        MsgBox ("Le fichier n'a pas été selectionné.")
        Exit Sub
    End If

    'Coller le tableau dans le document Word
    DocApp.Activate
    Set DocFile = DocApp.Documents(DocName)
    If DocFile Is Nothing Then Set DocFile = DocApp.Documents.Open(DocName)
        DocFile.Activate
        DocFile.Range.Paste
        DocFile.Save DocApp.Quit
        Set DocFile = Nothing
        Set DocApp = Nothing
        Application.CutCopyMode = False

End Sub
```

Annexe 4. Macros Excel – Document Points critiques

A 4.1. Module 1 – Ajout d'une ligne au tableau

```
Sub AjoutLigne()

    'Selectionner la premiere ligne vide
    Dim DerniereLigne As Long
    DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
    Cells(DerniereLigne, 2).Offset(1, 0).Select

    'Mettre en forme le rang vide
    ActiveCell.Range("A1:F1").Select
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    Selection.RowHeight = 60

    ActiveCell.Offset(0, 0).Rows("1:1").EntireRow.Select

    'Ajouter le numero de deficit
    Dim N As Integer
    N = Selection.Row
    ActiveCell.Offset(0, 1).Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = N - 3

    'Fenetre de demande du theme
    UserForm1.Show

End Sub
```

A 4.2. Module 2 – Exportation du tableau dans Word

```
Sub ExportationTableau()

    'Copier le tableau
    Dim DerniereLigne As Long
    DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
    Range("B5:L" & DerniereLigne).Copy

    'Creation de variables utiles pour la suite
    Dim DocApp As Object
    Dim DocFile As Object
    Dim DocName As String
    On Error Resume Next

    'Ouverture de Word
    Set DocApp = GetObject(, "Word.Application")
    If Err.Number = 429 Then
       Err.Clear
      Set DocApp = CreateObject("Word.Application")
    End If
    DocApp.Visible = True

    'Selection du fichier
```

```
    Dim dialogBox As FileDialog
    Set dialogBox = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
    Dim selectedFile As String
    With dialogBox
        .Filters.Add "DOCM", "*.docm", 1
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show = True Then
            DocName = .SelectedItems(1)
        End If
    End With

    'Si le fichier n'est pas selectionné : message d'erreur
    If Dir(DocName) = "" Then
        MsgBox ("Le fichier n'a pas été selectionné.")
        Exit Sub
    End If

    'Coller le tableau dans ledocument Word
    DocApp.Activate
    Set DocFile = DocApp.Documents(DocName)
    If DocFile Is Nothing Then Set DocFile = DocApp.Documents.Open(DocName)
        DocFile.Activate
        DocFile.Range.Paste
        DocFile.Save DocApp.Quit
        Set DocFile = Nothing
        Set DocApp = Nothing
        Application.CutCopyMode = False

End Sub
```

A 4.3. Module 3 – Importation de coordonnées depuis un fichier CSV

```
Sub ImporterCoord()

    'Selection du fichier CSV
    Dim dialogBox As FileDialog
    Set dialogBox = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
    Dim selectedFile As String
    With dialogBox
        .Filters.Add "CSV", "*.csv", 1
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show = True Then
            selectedFile = .SelectedItems(1)
        End If
    End With
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
    'Copie du fichier CSV dans le tableau Excel
    If selectedFile <> "" Then
        Open selectedFile For Input As #1
            Dim rowNumber As Long
            Dim lineFromFile As String
            Dim lineItems As Variant 'array of string
            Dim itteration As Integer
            rowNumber = 1
            Do Until EOF(1) 'false till end of file is reache then it will turn true
                Line Input #1, lineFromFile ' reads a single line from an open sequential file
                lineItems = Split(lineFromFile, ",")
                For itteration = 0 To 1 'nbr de colonnes par ligne
                    Range("D4").Cells(rowNumber, itteration + 1) = lineItems(itteration)
                Next
                rowNumber = rowNumber + 1
            Loop
        Close #1
    End If

End Sub
```

A 4.4. Module 4 – Transformation de coordonnées

```
Sub TransfoCoord()

    'Trouver le nombre de lignes à traiter
    Dim DerniereLigne As Long
    DerniereLigne = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row 'premiere ligne vide

    'Fixer les constantes
    Z = 460.487
    a_glob = 6378137
    b_glob = 6356752.3142
    ajoutX = -674.374
    ajoutY = -15.056
    ajoutZ = -405.346
    a_local = 6377397.155
    b_local = 6356078.96282

    E2 = 0.006674372230614
    E_proj = E2 ^ (1 / 2)
    phi_0_proj = (46 + 57 / 60 + 8.66 / 3600) * WorksheetFunction.Pi / 180 'Latitude
Berne
    lambda_0_proj = (7 + 26 / 60 + 22.5 / 3600) * WorksheetFunction.Pi / 180
'Longitude Berne
```

```
    R_proj = (a_local * (1 - E2) ^ (1 / 2)) / (1 - E2 * Sin(phi_0_proj) ^ 2)
    alpha = (1 + (E2 * Cos(phi_0_proj) ^ 4) / (1 - E2)) ^ (1 / 2)
    b0 = WorksheetFunction.Asin(Sin(phi_0_proj) / alpha)
    K = Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + b0 / 2)) _
    - alpha * Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + phi_0_proj / 2)) _
    + ((alpha * E_proj) / 2) * Log((1 + E_proj * Sin(phi_0_proj)) / (1 - E_proj *
Sin(phi_0_proj)))

    'Boucle de conversion (ligne après ligne)
    For i = 4 To DerniereLigne:
        Est = Cells(i, 4).Value * WorksheetFunction.Pi / 180
        Nord = Cells(i, 5).Value * WorksheetFunction.Pi / 180

        'ellipsoide -> cartesien
        e = ((a_glob ^ 2 - b_glob ^ 2) ^ (1 / 2)) / a_glob
        Rn = a_glob / (Sqr(1 - (e ^ 2 * Sin(Nord) ^ 2)))
        x_WGS = (Rn + Z) * Cos(Nord) * Cos(Est)
        y_WGS = (Rn + Z) * Cos(Nord) * Sin(Est)
        z_WGS = (Rn * (1 - e ^ 2) + Z) * Sin(Nord)

        'WGS84 -> CH1903+
        x_CH = x_WGS + ajoutX
        y_CH = y_WGS + ajoutY
        z_CH = z_WGS + ajoutZ

        'cartesien -> ellipsoide
        e = (a_local ^ 2 - b_local ^ 2) ^ (1 / 2) / a_local
        Phi = Atn((z_CH) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
        Rn = a_local / ((1 - (e ^ 2 * Sin(Phi) ^ 2)) ^ (1 / 2))
        phi_1 = Atn((z_CH + Rn * e ^ 2 * Sin(Phi)) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
        Do While Abs(Phi - phi_1) > 1E-10
            Phi = phi_1
            Rn = a_local / ((1 - (e ^ 2 * Sin(Phi) ^ 2)) ^ (1 / 2))
            phi_1 = Atn((z_CH + Rn * e ^ 2 * Sin(Phi)) / (x_CH ^ 2 + y_CH ^ 2) ^ (1 / 2))
        Loop
        Phi = phi_1
        lambda = Atn(y_CH / x_CH)

        'Projection
        S = alpha * Log(Tan(WorksheetFunction.Pi / 4 + Phi / 2)) _
        - ((alpha * E_proj) / 2) * Log((1 + E_proj * Sin(Phi)) / (1 - E_proj * Sin(Phi))) + K
        b = 2 * (Atn(Exp(S)) - WorksheetFunction.Pi / 4)
        l = alpha * (lambda - lambda_0_proj)
        l_rot = Atn((Sin(l)) / (Sin(b0) * Tan(b) + Cos(b0) * Cos(l)))
        b_rot = WorksheetFunction.Asin(Cos(b0) * Sin(b) - Sin(b0) * Cos(b) * Cos(l))
```

 © EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

```
        Y = R_proj * l_rot + 2600000
        X = (R_proj / 2) * Log((1 + Sin(b_rot)) / (1 - Sin(b_rot))) + 1200000

        'Ecriture dans le tableau
        Cells(i, 6).Value = Y
        Cells(i, 7).Value = X

    Next

End Sub
```

Annexe 5. Macros PowerPoint

A 5.1. Module 1 - Création d'un point rouge

```
Sub Rouge()

   Dim forme As Shape
   Set myDocument = ActivePresentation.Slides(1)
   Dim texte As Shape

   'Creation du cercle
   Set forme = myDocument.Shapes.AddShape(msoShapeOval, _
      20, 20, 25, 25) 'Créer un cercle
   forme.Name = "forme1"
   forme.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0) 'fond rouge
   forme.Line.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0) 'contour noir

   Dim numero As String
   numero = InputBox("Donnez le numéro du déficit", "Numéro du déficit de sécurité")
   numeroInt = CInt(numero)

   'Creation du numero
   If numeroInt > 9 Then 'Si le numero contient 2 chiffres. la placement dans le cercle
change un peu
      Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
         Left:=18.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
   Else
      Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
         Left:=21.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
   End If
   texte.Name = "forme2"
   texte.TextFrame.TextRange.Text = numero
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Name = "Arial"
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Size = 12
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Color = RGB(255, 255, 255)

   'Groupement
   myDocument.Shapes.Range(Array("forme1", "forme2")).Group

   'Pour liberer les noms forme1 et forme2 pour le prochain appel de la macro
   forme.Name = "old1"
   texte.Name = "old2"

End Sub
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

A 5.2. Module 2 - Création d'un point orange

```
Sub Orange()

    Dim forme As Shape
    Set myDocument = ActivePresentation.Slides(1)
    Dim texte As Shape

    'Creation du cercle
    Set forme = myDocument.Shapes.AddShape(msoShapeOval, _
        20, 20, 25, 25) 'Créer un cercle
    forme.Name = "forme1"
    forme.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 125, 51) 'fond orange
    forme.Line.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0) 'contour noir

    Dim numero As String
    numero = InputBox("Donnez le numéro du déficit", "Numéro du déficit de sécurité")
    numeroInt = CInt(numero)

    'Creation du numero
    If numeroInt > 9 Then 'Si le numero contient 2 chiffres. la placement dans le cercle
change un peu
        Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
            Left:=18.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
    Else
        Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
            Left:=21.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
    End If
    texte.Name = "forme2"
    texte.TextFrame.TextRange.Text = numero
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Name = "Arial"
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Size = 12
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Color = RGB(255, 255, 255)

    'Groupement
    myDocument.Shapes.Range(Array("forme1", "forme2")).Group

    'Pour liberer les noms forme1 et forme2 pour le prochain appel de la macro
    forme.Name = "old1"
    texte.Name = "old2"

End Sub
```

A 5.3. Module 3 - Création d'un point jaune

```
Sub Jaune()

   Dim forme As Shape
   Set myDocument = ActivePresentation.Slides(1)
   Dim texte As Shape

   'Creation du cercle
   Set forme = myDocument.Shapes.AddShape(msoShapeOval, _
      20, 20, 25, 25) 'Créer un cercle
   forme.Name = "forme1"
   forme.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 200, 0) 'fond jaune
   forme.Line.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0) 'contour noir

   Dim numero As String
   numero = InputBox("Donnez le numéro du deficit", "Numéro du déficit de sécurité")
   numeroInt = CInt(numero)

   'Creation du numero
   If numeroInt > 9 Then 'Si le numero contient 2 chiffres. la placement dans le cercle
change un peu
      Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
         Left:=18.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
   Else
      Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
         Left:=21.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
   End If
   texte.Name = "forme2"
   texte.TextFrame.TextRange.Text = numero
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Name = "Arial"
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Size = 12
   texte.TextFrame.TextRange.Font.Color = RGB(255, 255, 255)

   'Groupement
   myDocument.Shapes.Range(Array("forme1", "forme2")).Group

   'Pour liberer les noms forme1 et forme2 pour le prochain appel de la macro
   forme.Name = "old1"
   texte.Name = "old2"

End Sub
```


© EPFL Section de Génie-Civil & Citec Ingénieurs Conseils – 06 2023

A 5.4. Module 4 - Création d'un point vert

```
Sub Vert()

    Dim forme As Shape
    Set myDocument = ActivePresentation.Slides(1)
    Dim texte As Shape

    'Creation du cercle
    Set forme = myDocument.Shapes.AddShape(msoShapeOval, _
        20, 20, 25, 25) 'Créer un cercle
    forme.Name = "forme1"
    forme.Fill.ForeColor.RGB = RGB(0, 204, 0) 'fond vert
    forme.Line.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0) 'contour noir

    Dim numero As String
    numero = InputBox("Donnez le numéro du deficit", "Numéro du déficit de sécurité")
    numeroInt = CInt(numero)

    'Creation du numero
    If numeroInt > 9 Then 'Si le numero contient 2 chiffres. la placement dans le cercle
change un peu
        Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
            Left:=18.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
    Else
        Set texte =
myDocument.Shapes.AddTextbox(Orientation:=msoTextOrientationHorizontal, _
            Left:=21.5, Top:=21.5, Width:=50, Height:=50)
    End If
    texte.Name = "forme2"
    texte.TextFrame.TextRange.Text = numero
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Name = "Arial"
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Size = 12
    texte.TextFrame.TextRange.Font.Color = RGB(255, 255, 255)

    'Groupement
    myDocument.Shapes.Range(Array("forme1", "forme2")).Group

    'Pour liberer les noms forme1 et forme2 pour le prochain appel de la macro
    forme.Name = "old1"
    texte.Name = "old2"

End Sub
```