



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES  
DE LA SOCIÉTÉ



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTY OF SCIENCE



Centre de recherche sur l'environnement alpin  
Zentrum für alpine Umweltforschung  
Research center on alpine environment

# **Certificat complémentaire de géomatique**

## **Dossier de stage**

---

*Utilisation et développement d'outils SIG dans le domaine des dangers naturels*

---

Par

Amaury CHAMPION

Superviseure : Corine Frischknecht

Jury : Andrea Moscariello

Janvier 2024

## 1 Résumé

---

Ce stage porte sur l'utilisation et le développement d'outils SIG principalement dans le domaine des dangers naturels. Le travail effectué porte sur 4 projets différents réalisés au CREALP, le centre de recherche sur l'environnement alpin situé à Sion, canton du Valais. Le premier projet consiste à développer des formulaires numériques de collecte de données géospatiales en utilisant l'application ArcGIS Survey123 d'ESRI. Ces formulaires serviront de support pour la maintenance du réseau de piézomètres de la surveillance de la nappe de la plaine du Rhône et du projet de la 3<sup>ème</sup> correction du Rhône. Le 2<sup>ème</sup> projet consiste en le contrôle qualité et en l'informatisation de cartes de danger de crues de 2 canaux : le canal Sion-Riddes et le Canal des Iles. Pour le 3<sup>ème</sup> projet, il est question de quantifier et de cartographier les zones à risques de déclenchement de laves torrentielles en se basant sur des géodonnées géologiques (lithologie), géomorphologiques (pente), historiques (cadastre d'événements) et environnementales (couvert forestier). Ce projet porte sur tout le canton du Valais avec un accent sur les bassins versants connus pour l'occurrence de tels événements. Concernant le 4<sup>ème</sup> projet, il s'agit d'abord de la finalisation de mise à jour d'une carte de sols de fondation selon les nouvelles normes SIA 261 et le cadastre des forages actualisé. La zone d'étude porte sur le secteur de Sembrancher, dans la plaine du Rhône. Ensuite, un processus de traitements SIG a été développé pour généraliser les cartes de sols de fondation. Ce processus doit permettre à la fois de réduire la complexité de la carte, tout en préservant le niveau d'information dans les secteurs sensibles comme par exemple les zones à bâtir.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Présentation du CREALP</b>	<b>6</b>
<hr/>		
2.1	Vue d'ensemble	6
2.2	Histoire	6
<b>3</b>	<b>Objectifs du stage</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Partie I : Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123</b>	<b>8</b>
<hr/>		
<b>4.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>8</b>
4.1.1	Objectif	8
4.1.2	Survey123	8
4.1.3	Bordereau SOP-ESO réseau cantonal	8
4.1.4	Logbook SOP-ESO R3	9
<b>4.2</b>	<b>Données de base</b>	<b>9</b>
4.2.1	Information des stations et du réseau	9
<b>4.3</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>10</b>
4.3.1	Workflow et modèle conceptuel	10
4.3.2	Préparation de la base de données	12
4.3.3	Implémentation sur ArcGIS Survey123	13
<b>4.4</b>	<b>Construction des formulaires et résultats</b>	<b>14</b>
4.4.1	Extraction des données via FME	14
4.4.2	Formulaire QuantES	14
4.4.3	Logbook	20
4.4.4	Publication des formulaires	23
<b>5</b>	<b>Partie II - Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues, Canal Sion-Riddes et Canal des Iles</b>	<b>24</b>
<hr/>		
<b>5.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Données de base</b>	<b>24</b>

5.2.1	<i>Carte de danger, d'intensité et périmètre d'étude</i>	24
5.2.2	<i>Rapport technique</i>	25
<b>5.3</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>25</b>
5.3.1	<i>Check des données</i>	25
5.3.2	<i>Contrôle de qualité des cartes SIG</i>	26
5.3.3	<i>Implémentation dans la base de données</i>	28
<b>5.4</b>	<b>Résultats</b>	<b>29</b>
5.4.1	<i>Vérification et correction topologique des cartes de danger et d'intensité</i>	29
5.4.2	<i>Informatisation des géodonnées</i>	30
5.4.3	<i>Mise à jour de la base de données</i>	31
<b>5.5</b>	<b>Références</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Partie III - Système d'alerte de laves torrentielles, cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>32</b>
6.2.1	<i>Données de base</i>	32
6.2.2	<i>Création d'une géodatabase fichier</i>	33
6.2.3	<i>Processus de filtration</i>	33
6.2.4	<i>Processus de généralisation</i>	34
<b>6.3</b>	<b>Création du géodatabase fichier</b>	<b>34</b>
6.3.1	<i>Dépôts non-consolidés</i>	34
6.3.2	<i>Couvert forestier</i>	36
6.3.3	<i>Pente</i>	37
<b>6.4</b>	<b>Création de la carte</b>	<b>37</b>
6.4.1	<i>Préparation des différentes couches</i>	37
6.4.2	<i>Génération de la carte</i>	37
6.4.3	<i>Quantification des zones susceptibles</i>	38
<b>6.5</b>	<b>Références</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Partie IV - Cartes de classes de sols de fondation, Actualisation de la carte de Sembrancher et processus de généralisation</b>	<b>40</b>

<b>7.1</b>	<b>Introduction</b>	<b>40</b>
7.1.1	<i>Le danger sismique en Valais</i>	40
7.1.2	<i>Cartes de sols de fondation</i>	40
<b>7.2</b>	<b>Données de base</b>	<b>41</b>
7.2.1	<i>Données de forage</i>	41
7.2.2	<i>Cartes géologiques</i>	41
7.2.3	<i>Données historiques</i>	41
<b>7.3</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>43</b>
7.3.1	<i>Norme SIA 261 et attribution des classes de sol</i>	43
7.3.2	<i>Processus de généralisation des cartes</i>	46
<b>7.4</b>	<b>Résultats</b>	<b>47</b>
7.4.1	<i>Finalisation de la carte de sols de fondation de Sembrancher</i>	47
7.4.2	<i>Publication des cartes</i>	53
<b>7.5</b>	<b>Références</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Partie V – Conclusions, perspectives et déroulement du stage</b>	<b>54</b>
<b>8.1</b>	<b>Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123</b>	<b>54</b>
<b>8.2</b>	<b>Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues</b>	<b>54</b>
<b>8.3</b>	<b>Cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais</b>	<b>54</b>
<b>8.4</b>	<b>Cartes de classes de sols de fondation – actualisation de la carte de Sembrancher et processus de généralisation</b>	<b>54</b>
<b>8.5</b>	<b>Déroulement du stage</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Réalisations concrètes</b>	<b>56</b>

---

## 2 Présentation du CREALP

---

### 2.1 Vue d'ensemble

Situé au cœur même des Alpes, à Sion, dans le canton du Valais, le CREALP est une fondation à but non lucratif créée en 1968 grâce à l'initiative conjointe de l'État du Valais et de la Ville de Sion. Cette organisation s'investit dans des missions, des expertises et des projets novateurs en matière d'études environnementales.

Son champ d'expertise couvre diverses thématiques, principalement axées sur les dangers naturels (géologie, hydrologie) et la gestion durable et intégrée des ressources. De plus, le CREALP œuvre dans le développement d'outils et de plateformes en ligne dédiés à la gestion et à la valorisation des données environnementales.

Fidèle à sa mission, cette fondation collabore étroitement avec diverses institutions publiques à l'échelle cantonale, communale et fédérale, ainsi qu'avec des partenaires du secteur privé, dans le but de relever les défis environnementaux qui se présentent. Une facette importante de son rôle consiste à dispenser des formations destinées aux professionnels et aux étudiants, non seulement en Suisse, mais également à l'international.

Le centre entretient des liens étroits avec le nouveau campus Energypolis de l'EPFL Valais. Ce campus en plein développement se construit en étroite collaboration avec la HES-SO Valais-Wallis et d'autres acteurs du vivier local de recherche et d'innovation. Cette évolution offre un grand potentiel pour les sciences environnementales alpines en Suisse.

### 2.2 Histoire

Initialement baptisé Centre de recherches scientifiques, fondamentales et appliquées de Sion (CRSFA), cet établissement fut instauré pour encourager la recherche appliquée en géologie, hydrologie et climatologie dans la région valaisanne, ainsi que de façon plus globale, dans les zones alpines. L'impulsion décisive pour l'essor scientifique du centre fut amorcée en 1987 sous la houlette du géologue cantonal du Valais à l'époque, M Jean-Daniel Rouiller, conduisant à son changement officiel de dénomination en Centre de recherche sur l'environnement alpin (CREALP) en 1998. Au fil des deux dernières décennies, le CREALP s'est pleinement investi aux côtés du Canton du Valais, offrant son appui technique et scientifique ainsi que son expertise dans les domaines susmentionnés. De fait, le centre joue un rôle de trait d'union entre le monde académique, les applications pratiques, les structures institutionnelles et d'autres organismes à but non-lucratif.

## 3 Objectifs du stage

---

Le stage a été défini pour une durée totale de 4 mois à 90% avec pour objectif de développer mes compétences autour des outils SIG en participant aux activités du CREALP nécessitant une expertise en géomatique. Les divers projets en lien avec les dangers naturels, auxquels j'ai eu la chance de participer, m'ont permis de mettre en pratique les connaissances géomatiques acquises lors des cours du certificat. Mon travail a été principalement supervisé par Pascal Ornstein, directeur adjoint du CREALP et expert en hydrogéoinformatique. J'ai également été sous la supervision de Thierry Nendaz, hydrogéologue, et Saskia Gindraux, spécialiste en glaciologie et remote sensing. À leurs côtés, j'ai pu profiter de leurs fines connaissances sur les outils SIG et la gestion des bases de données pour développer et apprendre de

nombreuses compétences dans ces domaines d'expertise. Au total, j'ai participé activement à 4 projets nécessitant une expertise SIG :

- 1) Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123, superviseur : Pascal Ornstein.
- 2) Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues : Canal Sion-Riddes et Canal des Iles, superviseur : Thierry Nendaz.
- 3) Système d'alerte de laves torrentielles : cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais, superviseuse : Saskia Gindraux.
- 4) Carte des sols de fondation : actualisation de la carte de Sembrancher et développement d'un de processus de généralisation, superviseur : Pascal Ornstein.

Chaque projet a nécessité l'utilisation de logiciels SIG que nous pouvons lister de la manière suivante :

- 1) ArcGIS Pro *version 3.1.2* a été utilisé pour tous les projets car il contient les outils nécessaires à la réalisation des traitements SIG réalisés lors de ce stage et qu'il est un logiciel clé utilisé quotidiennement au CREALP.
- 2) ArcGIS Survey123 *version 3.14* a uniquement été utilisé pour la numérisation des formulaires de maintenance (projet 1) et a été choisi dans la continuité d'un travail similaire déjà réalisé au CREALP.
- 3) QGIS *version 3.24.0* a été utilisé uniquement pour réaliser les corrections topologiques et pour informatiser les cartes de danger de crues (projet 2). Il a également été utilisé pour la préparation des livrables du projet des cartes de sols de fondation (projet 4), car le requérant souhaitait recevoir les données sous forme de GeoPackage.
- 4) FME *version 2022.2* a été utilisé à chaque fois qu'un travail d'extraction, de transformation ou de conversion sur des bases de données a dû être effectué. Il s'agit d'un logiciel important utilisé au CREALP pour la gestion des données.

Ces différents projets ainsi que le travail que le travail que j'ai effectué au cours du stage seront présentés dans les prochaines parties de ce dossier de stage.

## 4 Partie I : Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123

---

### 4.1 Introduction

#### 4.1.1 Objectif

Le but de ce projet consiste à développer de formulaires de collecte de données géospatiales en utilisant l'application ArcGIS Survey123<sup>1</sup>. La nature des formulaires concerne la maintenance du réseau de piézomètres de la surveillance de la nappe de la plaine du Rhône et du projet de la 3<sup>ème</sup> correction du Rhône. Ces deux réseaux, qui sont actuellement constitués de plus de 300 stations de mesure, sont gérés par le CREALP qui est notamment chargé d'assurer le bon fonctionnement instrumental ainsi que la collecte, la vérification et la valorisation des données. Actuellement, le CREALP gère la maintenance de ces stations à l'aide de formulaires papiers, qui sont complétés par les opérateurs de terrain lors des campagnes de maintenance qui ont lieu plusieurs fois par an. Dans le but d'homogénéiser et faciliter la gestion des données de maintenance, le CREALP a décidé de numériser ces formulaires.

#### 4.1.2 Survey123

ArcGIS Survey123 est un logiciel de collecte de données géospatiales conçu pour simplifier et améliorer la collecte, le suivi et l'analyse de données récoltées sur le terrain. Il fait partie de la suite de logiciels de cartographie et d'analyse géospatiale d'ESRI, une entreprise leader dans le domaine des systèmes d'information géographique (SIG). ArcGIS Survey123 est souvent utilisé par divers acteurs professionnels des domaines environnementaux et est employé notamment pour la gestion de réseau d'instruments.

Voici un résumé non-exhaustif des diverses fonctionnalités principales du logiciel :

1. Collecte de données : ArcGIS Survey123 permet la création de formulaires de collecte de données personnalisés en utilisant une interface accessible. Ces formulaires peuvent inclure différents types d'information comme par exemple du texte, des images, des dessins ou encore des cartes.
2. Intégration géospatiale : le logiciel intègre des fonctionnalités géospatiales qui permettent de capturer et d'enregistrer des coordonnées géographiques à partir de périphériques mobiles, tels que des smartphones et des tablettes. Cela permet de géolocaliser les données collectées.
3. Travail hors ligne : Survey123 offre la possibilité de collecter des données hors ligne, ce qui est particulièrement utile dans les environnements où la couverture internet est limitée ou indisponible. Les données peuvent être stockées localement et synchronisées ultérieurement lorsque la connexion est rétablie.
4. Analyse et visualisation : Une fois que les données sont collectées, Survey123 offre des outils pour les visualiser sur une carte interactive. Les données peuvent être filtrées, triées et analysées pour en extraire toute information utile. L'utilisation d'un formulaire numérique plutôt que papier permet d'uniformiser les données saisies et d'alimenter une base de données, qui est mise à jour à chaque fois que de nouvelles opérations sont réalisées.

---

<sup>1</sup> <https://www.esri.com/fr-fr/arcgis/products/arcgis-survey123/overview>



### **4.1.3 Bordereau SOP-ESO réseau cantonal**

Le bordereau « *SOP-ESO réseau cantonal* » est utilisé pour la surveillance quantitative de la nappe phréatique pour le réseau cantonal de piézomètre. Ce formulaire permet à l'opérateur qui le remplit de pouvoir documenter les diverses interventions effectuées sur une station à chaque campagne. Lors d'un contrôle, des mesures manuelles de conductivité, de température et de niveau de la nappe sont reportées. On note également les mesures automatiques indiqués par le data logger (DL) relié à la sonde. L'opérateur peut aussi indiquer toute opération de maintenance sur le piézomètre, comme le remplacement d'une batterie, la remise à l'heure du DL, le remplacement du DL, l'activation de la télétransmission, ... Tout dégât du point d'observation doit être notifié sur le bordereau et décrit en détail, permettant ainsi de prévoir les interventions de maintenance nécessaires à la remise en fonction de l'instrument. En effet, un dégât trop important peut même empêcher le contrôle d'une station et la récupération des données.

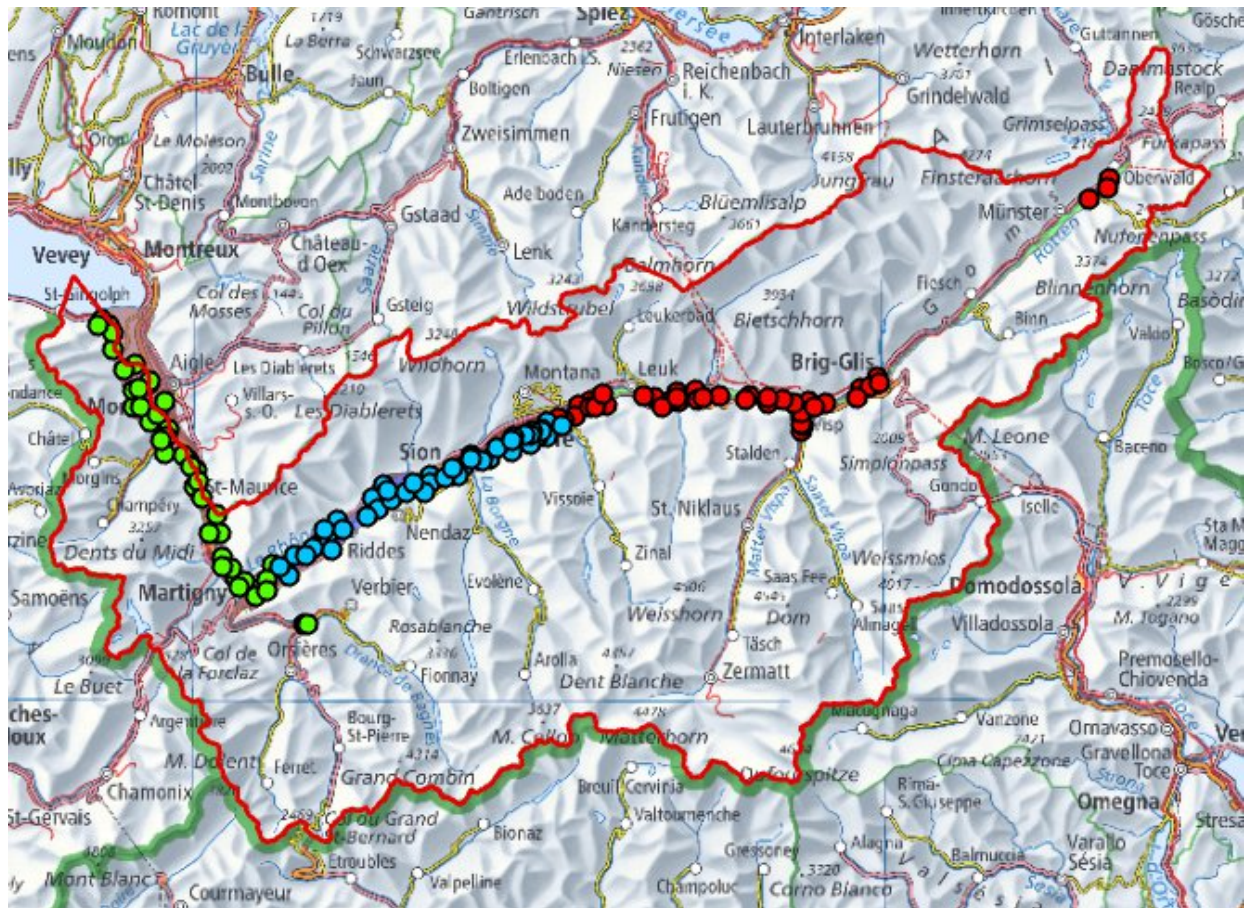
### **4.1.4 Logbook SOP-ESO R3**

À l'inverse du « *bordereau SOP-ESO réseau cantonal* » qui est rempli sur une tablette par un opérateur de terrain sur site, le « *Logbook SOP-ESO R3* » est rempli sur un ordinateur depuis un bureau. Ce formulaire a pour but de permettre à un utilisateur de pouvoir décrire un problème constaté sur un piézomètre et de prévoir en conséquence la maintenance de ce dernier (date, type d'opération). La source de la constatation du problème doit également être renseignée, il peut s'agir soit d'une communication extérieure (mail, téléphone), soit de l'arrêt de la télétransmission des données, mais aussi d'une campagne de terrain.

## **4.2 Données de base**

### **4.2.1 Information des stations et du réseau**

Le réseau cantonal est constitué de plus de 130 piézomètres qui se situent entre l'Oberwald et le lac Léman. Ce réseau permet un suivi général à large échelle de la nappe phréatique de la plaine du Rhône. Le réseau de surveillance temporaire du projet de la 3<sup>ème</sup> correction du Rhône comporte environ 180 stations réparties principalement autour des zones de chantier (figure 1). Ces stations mesurent la nappe avant, pendant et après les travaux. L'ensemble des instruments de ces deux réseaux sont répartis en 3 zones : le Bas-Valais, le Valais central et le Haut-Valais. Toutes les informations concernant les stations se trouvent dans une base de données du CREALP à partir de laquelle nous avons extrait uniquement les informations utiles au formulaire. Ces informations sont stockées sous la forme d'un fichier .csv qui est placé dans le répertoire de travail du formulaire numérique. Des photos des stations sont également disponibles et servent d'aide à la localisation et l'identification de l'instrument pour l'opérateur de terrain.



**Figure 1 :** Position des piézomètres du réseau cantonal, en rouge ceux appartenant au Haut-Valais, en bleu au Valais Central et en vert au Bas-Valais.

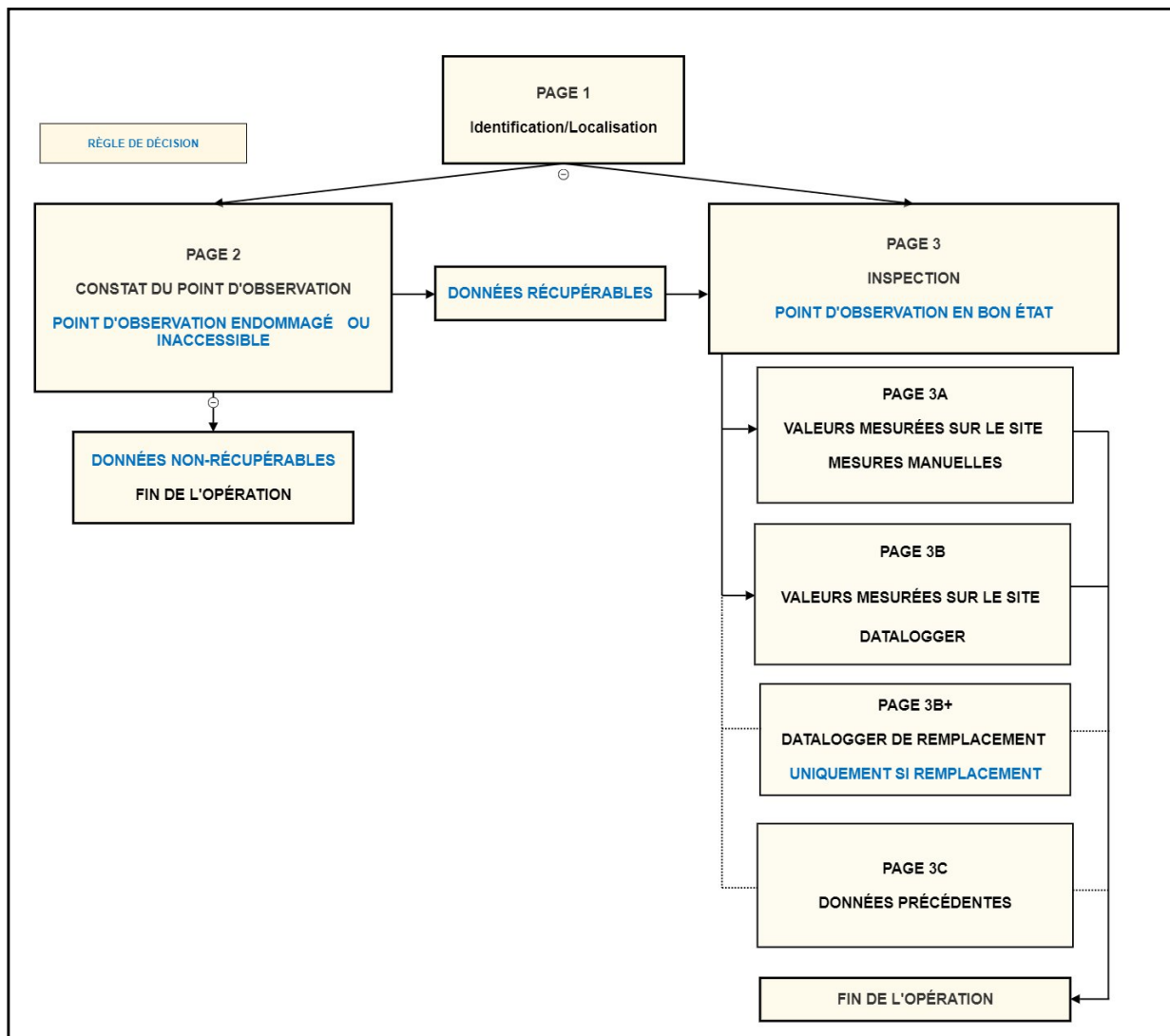
### 4.3 Méthodologie

#### 4.3.1 Workflow et modèle conceptuel

La première étape dans ce projet a été de construire un workflow ainsi qu'un modèle conceptuel sur les logiciels *Smartdraw*<sup>2</sup> (figure 2) et *xmind*<sup>3</sup> (figure 3) mis à disposition par le CREALP. Le workflow représente un arbre avec des règles de décision définies à chaque embranchement en fonction du déroulement de l'opération de terrain. Il contient également des informations sur la pagination et le contenu. Le workflow sert entre autres de « squelette » de travail et sert de base pour le développement de l'application.

<sup>2</sup> <https://www.smartdraw.com/>

<sup>3</sup> <https://xmind.app/fr/>



**Figure 2 :** Workflow de ce travail pour le formulaire « QuantES » construit sur le logiciel *Smartdraw*.

Pour compléter le workflow, nous avons conçu un modèle conceptuel sur *xmind* qui permet la construction d'une mindmap (figure 3). La mindmap est un outil puissant qui facilite les processus de conceptualisation, allant du brainstorming général à la structuration précise de l'information. Elle permet aussi de créer des connexions entre les différents points qui interagissent entre eux au sein de la même page, ainsi que de rajouter des « bulles flottantes » indépendantes d'information. La mindmap contient donc toute l'information qui doit figurer sur chaque page du formulaire informatisé, qui est nommé par l'acronyme « QuantES », mais également ses caractéristiques :

- Les champs de saisies ainsi que le type de saisie (champ de valeur, liste monovaluée, sélection multiple, ...)
- L'obligation ou non de remplir le champ pour valider le formulaire
- Les informations remontées par le formulaire vers l'opérateur (localisation de la station, type d'ouverture de piézomètre, numéro de clé, ...)

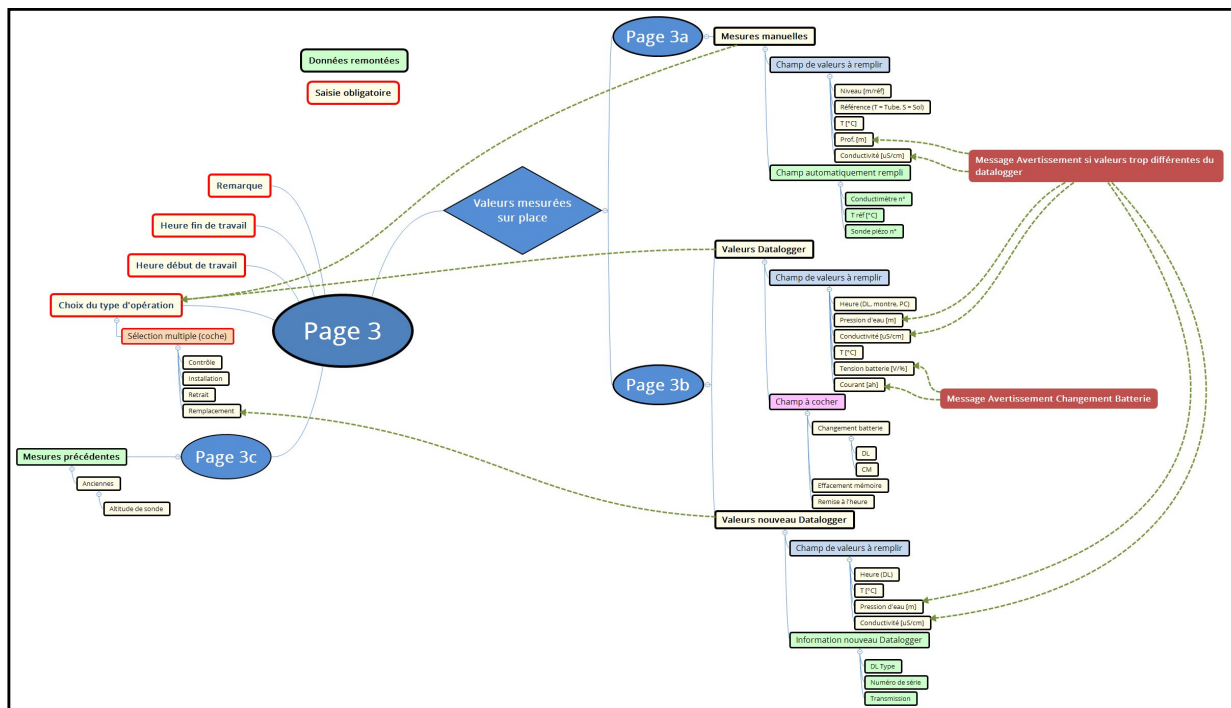


Figure 3 : Mindmap de la page 3 du bordereau QuantES réalisée sur xmind.

#### 4.3.2 Préparation de la base de données

Pour la construction du formulaire QuantES, nous avons besoin d'un certain nombre d'informations sur les stations qui seront amenées à être remontées à l'utilisateur lors de la complétion du formulaire. Toutes les données concernant le réseau piézométrique se trouvent dans une base de données. Nous devons donc préparer une nouvelle base de données qui sera utilisée par le formulaire. Pour ce faire, nous allons nous servir d'un outil de gestion de données appelé « FME<sup>4</sup> ».

FME, acronyme de "Feature Manipulation Engine," est un puissant logiciel d'intégration et de transformation de données géospatiales. FME permet de convertir, de fusionner, de filtrer et de redistribuer des données provenant de sources diverses, tout en assurant leur cohérence et leur qualité.

Les informations relatives aux stations dont nous avons besoin sont les suivantes :

- Nom de la station
- Type de dta logger
- Numéro de série
- Type de télétransmission
- Les coordonnées X et Y pour les systèmes de coordonnées géographiques WGS84 et projetées CH1903+ LV95
- Fréquence de mesure
- Type de bouchon
- Type/numéro clé
- Profondeur sonde
- Identifiant forage
- Identifiant réseau

<sup>4</sup> <https://www.inser.ch/fr/produit/fme>

- Secteur géographique
- Photo de la station

La plupart de ces informations peuvent être directement extraites de la base de données. Certaines, comme par exemple le secteur géographique, peuvent être obtenues à l'aide de divers outils de transformation sur FME. Les détails de ces processus se trouvent dans le chapitre « Création du formulaire et résultats ».

Une fois toutes les informations extraites, il faut les déposer dans le dossier de travail du projet Survey123. Pour être lues par le logiciel, les données doivent être contenues sous forme de tableau csv avec des séparateurs en virgule. Les photos des stations utilisées dans le formulaire doivent aussi trouver dans ce même répertoire.

### **4.3.3 Implémentation sur ArcGIS Survey123**

Une fois le workflow, le modèle conceptuel et la base de données préparés, nous pouvons commencer à implémenter les formulaires sur Survey123. Pour ce faire, il faut utiliser le langage XLSform<sup>5</sup> au travers d'un fichier Excel, sur lequel se base ArcGIS Survey123 pour la création du formulaire. Le fichier Excel contient au total 9 onglets dont 3 que nous utilisons pour la programmation du formulaire. Les 6 autres onglets contiennent uniquement des informations qui peuvent être utilisées comme aide à la prise en main de l'Excel. Les 3 onglets que nous utilisons sont :

- 1) « survey », où le contenu ainsi que la structure du formulaire sont programmés ;
- 2) « choices », où les listes de choix pour les saisies sont définies ;
- 3) « settings », où l'on décide d'information général du formulaire, comme par exemple son titre ou encore le style du formulaire.

#### **4.3.3.1 Structure du formulaire et pagination**

L'implantation de la structure du formulaire et de la pagination se réalise avant l'implémentation du contenu détaillé des pages. Dans le fichier Excel, sous l'onglet « settings », on peut définir l'en-tête du formulaire, ainsi que son style, sa description ou encore le pied de page.

#### **4.3.3.2 Définitions des listes des choix**

En remplissant le formulaire, l'opérateur doit être capable de renseigner la station sur laquelle il effectue par exemple un contrôle. Des listes de choix doivent donc être préalablement établis pour permettre à l'utilisateur d'effectuer des choix parmi d'autres lors de son travail. Cela peut être réalisé sous l'onglet « choices » de l'Excel. Il faut ensuite rentrer le nom de la liste, un code associé à l'objet appartenant à la liste ainsi qu'un nom qui s'affichera lors du choix.

#### **4.3.3.3 Implémentation du formulaire page par page**

Une fois les préparatifs terminés, nous pouvons commencer à implémenter le formulaire en détail sur Survey123. Pour ce faire, nous nous basons sur le modèle conceptuel et le workflow. Si un des éléments ne s'implémente pas bien, nous pouvons facilement modifier le modèle et apporter les modifications nécessaires à la réussite de l'implémentation. Cette étape souligne à nouveau que la réalisation de ce type de travail prend la forme d'un processus itératif et évolutif.

---

<sup>5</sup> <https://xlsform.org/en/>

## 4.4 Construction des formulaires et résultats

### 4.4.1 Extraction des données via FME

L'extraction des informations nécessaires au formulaire s'est faite à partir de la base de données via un processus sur FME. Ce processus peut être divisé en plusieurs étapes que nous pouvons résumer avec la marche à suivre suivante sur FME :

- 1) Importer la base de données contenant les informations des stations.
- 2) Filtrer pour garder uniquement les informations nécessaires aux formulaires (outil : AttributeManager).
- 3) Géoréférencer les données à partir des champs contenant les coordonnées X et Y en CH1903+LV95 (outil : VertexCreator).
- 4) Attribuer les stations à un secteur à partir d'un fichier contenant les polygones représentant le Bas-Valais, le Valais Central et le Haut-Valais (outil : SpatialFilter et AttributeManager).
- 5) Pour utiliser la localisation des stations dans le formulaire, nous utilisons google.maps<sup>6</sup> et map.geo.admin<sup>7</sup>, c'est pourquoi nous avons besoin, des coordonnées en latitude/longitude sur WGS84 ainsi que des coordonnées projetées métriques selon le système suisse CH1903+LV95, que nous avons déjà. Pour extraire les coordonnées en latitude/longitude selon le système WGS84, il faut reprojeter les points en coordonnées suisses en latitude/longitude sur l'ellipsoïde WGS84 et extraire les nouvelles coordonnées vers la base de données (outil : Reprojecter et AttributeManager).
- 6) Nettoyer et vérifier la base de données pour qu'il ne reste que les champs utiles (outil : AttributeManager).
- 7) Exporter la base de données sous forme de fichier csv avec des séparateurs en virgule pour qu'il soit lisible par Survey123.

En plus d'extraire les données des stations qui seront utilisées par l'application, nous pouvons également utiliser FME pour préparer certaines listes de choix qui seront dans le formulaire. Par exemple, quand l'opérateur doit sélectionner la station sur laquelle il va opérer une maintenance, il devra choisir une station parmi une liste qui doit être programmée sur le fichier Excel auquel est reliée l'application. Plutôt que de créer cette liste manuellement, nous pouvons également utiliser FME pour extraire la liste de toutes les stations qu'il suffira ensuite simplement de copier dans le fichier Excel.

### 4.4.2 Formulaire QuantES

#### 4.4.2.1 Page 1 - identification et localisation de la station

La première page du formulaire QuantES doit permettre à l'opérateur de sélectionner la station sur laquelle il va travailler (figure 5), sachant que les stations sont regroupées en 4 secteurs : Bas-Valais, Haut-Valais, Valais central et Valais (toutes les stations). Dans le fichier Excel du projet, des sous-listes de stations ont donc été établies et sont reliées au choix de la région. L'opérateur doit donc d'abord sélectionner le secteur, puis, le formulaire lui propose de choisir le nom de l'instrument parmi une de ces sous-listes régionales. Cela permet d'éviter d'afficher l'entièreté des stations à chaque fois et d'améliorer l'expérience utilisateur. Si, dans la liste, l'instrument en question n'est pas référencé, il est possible de choisir « autre » ; alors un encadré apparaît et permet de renseigner le numéro de la station

---

<sup>6</sup> <https://www.google.ch/maps>

<sup>7</sup> <https://map.geo.admin.ch/>

manuellement. Cette fonctionnalité est configurable à partir du fichier Excel, sous l'onglet « survey », on peut définir à la colonne « relevant » d'afficher uniquement l'encadré si le choix « autre » a été sélectionné précédemment.

L'opérateur doit également renseigner son identité (figure 5) en sélectionnant son nom parmi une liste prédéfinie de personnes qui opèrent couramment sur les instruments. Comme pour le choix de la station, si l'utilisateur ne trouve pas son nom dans la liste, il est possible de choisir « autre » et de renseigner manuellement son identité.

The image shows a mobile application interface for 'SOP-ESO : réseau cantonal'. The main title is 'Surveillance cantonale de la nappe phréatique'. Under the 'Secteur' section, there are four radio buttons for selecting a region: 'Haut-Valais', 'Valais central' (which is selected), 'Bas-Valais', and 'Valais'. Below this, there is a section for 'Réseau VSC' with two dropdown menus: 'Opérateur' (selected 'Amaury Champion') and 'Station' (selected 'Autre'). Under the 'Autre Station' section, there is a text input field for 'ID de la station' with the value '79PK67'. At the bottom of the screen, there is a green bar with the text '1 sur 3' and a right-pointing arrow.

**Figure 5 :** Exemple tiré du début de la page 1 du formulaire pour la sélection de la station, de l'opérateur ainsi que du secteur.

Une fois la station sélectionnée (figure 5), une aide à la localisation sous différentes formes est fournie à l'utilisateur. Deux liens cliquables permettent soit d'afficher précisément la localisation de la station sur [map.geo.admin.ch](https://www.geo.admin.ch), soit de calculer un itinéraire à partir de la position de l'opérateur vers l'instrument sur [maps.google.com](https://maps.google.com). Pour cela, nous avons donc dû construire chacun des URLs, sachant qu'ils doivent contenir les coordonnées géographiques de la station sélectionnée au préalable. Nous pouvons extraire ces informations de la base de données sur le fichier Excel à l'aide de la fonction 'pulldata' et ensuite les combiner à l'URL avec la fonction 'concat()'. Dans la configuration de l'URL, nous pouvons également programmer divers paramètres comme par le fond de carte utilisé ou le niveau de zoom. Voici, à titre d'exemple, la fonction que nous avons utilisée sur le fichier Excel pour construire le lien pour le calcul d'itinéraire sur google maps :

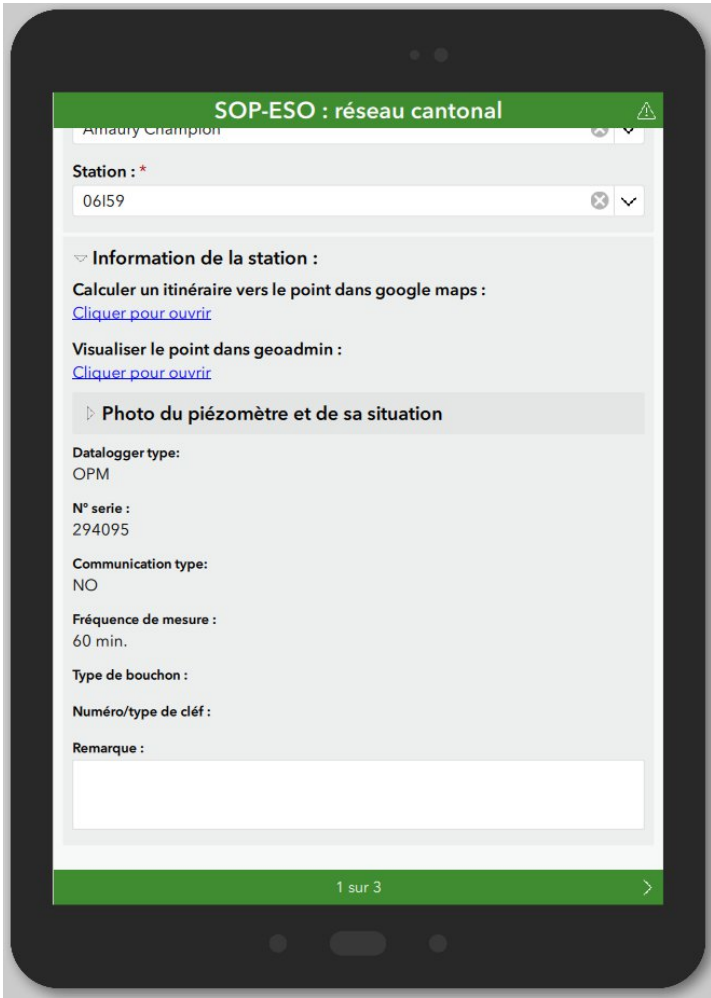
```
'concat('<a href="https://www.google.com/maps/@?daddr=',pulldata('GWNetwork_VS','Y_CRD','WELL_DBK',{StationVS}),  
' ',pulldata('GWNetwork_VS','X_CRD','WELL_DBK',{StationVS}), concat('&t=k">Cliquer pour ouvrir</a>'))
```

Il est également possible d'afficher une photo du point d'observation sur site pour confirmer l'identification correcte de l'instrument une fois qu'il a bien été localisé par l'opérateur.

Après l'aide à la localisation, une liste des informations concernant l'instrument apparaît sous la forme d'un encadré appelé « Information de la station » (figure 6). Ici, le formulaire extrait de la base de données contient les éléments suivants :

- Le type de data logger
- Le numéro de série
- Si la station possède la télétransmission
- La fréquence de mesure de l'instrument
- Le type de bouchon/fermeture du point d'observation
- Le numéro et le type de clé

À la fin de cette liste, une boîte de texte intitulé « Remarque » est affichée (figure 6) et permet à l'utilisateur d'émettre un commentaire, par exemple si une des informations ci-dessus est erronée ou manquante.



The screenshot shows a mobile application interface with a green header bar containing the text "SOP-ESO : réseau cantonal". Below the header, the name "Amadry Champion" is visible. A "Station : \*" field contains the value "06159". A section titled "Information de la station :" contains two links: "Calculer un itinéraire vers le point dans google maps : Cliquer pour ouvrir" and "Visualiser le point dans geoadmin : Cliquer pour ouvrir". Below this is a section titled "Photo du piézomètre et de sa situation". The main content area lists the following details: "Datalogger type: OPM", "N° série : 294095", "Communication type: NO", "Fréquence de mesure : 60 min.", "Type de bouchon :", and "Numéro/type de clé :". At the bottom of this section is a "Remarque :" label followed by a large empty text input box. A green footer bar at the bottom of the screen displays "1 sur 3" and a right-pointing arrow.

**Figure 6 :** Exemple extrait de la page 1 illustrant les informations de la station fournies à l'utilisateur sur la station sélectionnée.

Toutes ces informations précédemment énoncées ne sont évidemment visibles que si l'opérateur a sélectionné une station référencée dans la base de données. Sachant que toutes les saisies de la page 1 sont fondamentales pour la complétion du formulaire, toutes les entrées ont été définies comme « obligatoires », c'est-à-dire que l'utilisateur est obligé de les remplir pour pouvoir valider la saisie et



enregistrer le formulaire. Les champs obligatoires sont marqués par un astérisque rouge (figure 6). Si le choix « autre » a été saisi, aucune information ne s'affiche et l'opérateur peut passer directement à la page 2.

#### 4.4.2.2 Page 2 – Constat du point d'observation

Une fois que l'opérateur a identifié et localisé le piézomètre, il peut constater si le point d'observation a été endommagé ou s'il est inaccessible (figure 7). C'est par exemple le cas quand des ronces denses ont poussé tout autour de l'instrument. Étant donné que dans la majorité des cas rien n'est à signaler, le champ est par défaut saisi sur « non » et l'utilisateur peut rapidement passer à la page 3 sans avoir à faire de saisie. Si un problème au point d'observation est rapporté, l'opérateur peut le renseigner dans le formulaire sous forme de texte descriptif, mais il peut également faire une photo du problème avec la tablette de terrain. Ensuite, l'utilisateur doit indiquer si les données sont récupérables ou non. Si c'est le cas, alors il peut compléter la page 3, sinon, le formulaire se termine et un encadré apparaît pour que l'opérateur puisse informer l'heure de fin du contrôle.

SOP-ESO : réseau cantonal

### Surveillance cantonale de la nappe phréatique

**Constat du point d'observation :**

Anomalies, dégâts ou piézomètre inaccessible : \*

Non

Oui

Description du problème : \*

Piézomètre inaccessible, cause végétation

Prendre une photo du problème

PhotoDeg-2b71cef1325c4091a799aca019bc45ac.jpg

Les données sont-elles récupérables ? \*

Oui

Non

Heure de fin du travail : \*

10:56

2 sur 3

**Figure 7 :** Exemple extrait de la page 2 du formulaire dans le cas où le point d'observation n'est pas accessible à cause de la présence de ronce.

#### 4.4.2.3 Page 3 – Inspection

La troisième page est consacrée à la partie d'inspection de la station par l'opérateur (figure 8). Il sera amené à renseigner la tâche qui est réalisée sur la station ainsi que les données et mesures relevées sur le site. La première information qui doit être rentrée est le type d'opération à effectuer. Il peut s'agir d'un contrôle, d'un remplacement, d'une installation, d'un retrait et/ou de l'activation du module de

télétransmission. Pour ce champ, le choix est multiple, car plusieurs maintenances peuvent être effectuées sur la station. En fonction du choix fait, le formulaire s'adapte et ne propose à l'utilisateur uniquement les champs de saisie nécessaires au type d'opération effectuée. Une fois la sélection faite, une série de champs apparaît et permet à l'utilisateur de renseigner les données du data logger concernant :

- La pression d'eau [m]
- L'heure du data logger
- La température [°C]
- La conductivité [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]
- La tension et courant de la batterie [V] et [Ah]

Si les valeurs entrées pour la batterie sont trop faibles, un message d'avertissement peut apparaître pour indiquer à l'opérateur qu'il faut remplacer la batterie. L'opérateur doit ensuite confirmer s'il a changé la batterie ou non, mais aussi indiquer s'il a effacé la mémoire du data logger suite au déchargement des données du data logger vers l'ordinateur de terrain et s'il a remis à l'heure la station par rapport à l'heure de l'ordinateur de terrain et d'une montre. Après cela, un champ de texte permet également de saisir une remarque sur les entrées précédentes (figure 8).

**Figure 8 :** Exemple extrait de la page 3 du formulaire où l'opérateur doit d'abord rentrer le type de manipulation à effectuer sur la station (à gauche) avant de rentrer les données du data logger (à droite).

Une fois que les données du data logger sont saisies sur le formulaire (figure 8), l'opérateur doit également rentrer les valeurs obtenues via les mesures manuelles qu'il a réalisées sur site, ces mesures servent à comparer et valider l'enregistrement automatique du piézomètre avec les mesures manuelles. Cela concerne :

- Le niveau [m/ref], avec la référence d'où a été prise la mesure
- La sonde piézométrique

- La température
- La conductivité
- Le conductimètre

Si les valeurs inscrites pour la conductivité et le niveau d'eau ne sont pas cohérentes, par exemple si la valeur manuelle de conductivité diffère trop de celle du data logger ( $\Delta > 5\%$ ), alors un message d'avertissement apparaît et informe l'utilisateur de vérifier sa mesure. Cette situation est typique dans le cas où la sonde de mesure manuelle a souffert de la chaleur lors de son transport avec le véhicule de l'opérateur et qu'elle a besoin d'un temps d'adaptation. Il faut alors laisser un moment à la sonde afin que la différence de température se dissipe et n'influence plus la mesure. Comme pour les champs de saisie du data logger, il est aussi possible pour les mesures manuelles, d'écrire des remarques à la fin de la saisie.

Dans le cas d'un remplacement du data logger, à signaler au début de la page 3 (figure 8), l'utilisateur doit renseigner diverses informations sur la nouvelle installation :

- Le type de data logger (choix parmi une liste)
- Le numéro de l'instrument
- Si la télétransmission est installée, et le cas échéant, spécifier le numéro d'appel de la carte SIM
- L'heure indiquée par le data logger
- La pression d'eau
- La température
- La conductivité

À nouveau, à la fin de la saisie, l'opérateur peut laisser une remarque sous forme de texte pour compléter la saisie si nécessaire.

Si, au début de la page 3, l'opérateur a coché « activation télétransmission », alors, en plus de renseigner les données et mesures usuelles, il doit également noter sur le formulaire le numéro d'appel de la carte SIM.

The image shows a mobile application interface for 'SOP-ESO : réseau cantonal'. The screen displays a form for manual measurements. The form includes the following fields and options:

- Mesures manuelles :**
  - Niveau [m/ref]: A text input field.
  - Référence: Two radio buttons, 'Tube' and 'Sol'.
  - Sonde piézo n°: A dropdown menu.
  - T [°C]: A text input field.
  - Prof. [m]: A text input field containing the value '3.55'.
  - Cond [µS/cm]: A text input field.
  - Conductimètre n°: A dropdown menu.
  - Tref [°C]: A text input field containing the value '25'.
  - Remarques: A text input field.

The bottom of the screen features a green navigation bar with a back arrow on the left, the text '3 sur 3' in the center, and a checkmark icon on the right.

**Figure 9 :** Exemple extrait de la page 3 du formulaire où l'opérateur peut rentrer les mesures manuelles effectuées sur site. La profondeur de sonde ainsi que la température de référence pour le calcul de conductivité sont des valeurs connues et fournies à l'utilisateur.

À la fin de la page 3 (figure 9), une fois le formulaire complété, l'opérateur doit indiquer l'heure à laquelle il a terminé son travail. Il peut maintenant valider le formulaire en appuyant sur l'icône en bas à droite de l'écran. Le formulaire sera alors enregistré localement et aussi sur un serveur pour que les résultats soient également accessibles en ligne. S'il manque une information sur un champ de saisie obligatoire, l'utilisateur est averti et doit remplir le champ manquant avant de valider le formulaire.

#### 4.4.3 Logbook

##### 4.4.3.1 Première partie : identification de la station défectueuse

Contrairement au formulaire *QuantES*, le *logbook* a été implémenté sur une seule page. Cependant, la première partie du bordereau est similaire entre les deux. L'utilisateur doit tout d'abord renseigner la région où la station défectueuse est localisée, puis, sélectionner l'identifiant de l'instrument parmi une liste de choix unique. Suite à cela, un encadré apparaît pour que l'opérateur puisse choisir dans une liste à cocher la source d'information à partir de laquelle le problème a été détecté. Il peut s'agir par exemple d'une notification lors d'une campagne de prélèvement ou de maintenance préventive, mais aussi d'un mail/téléphone d'un tiers. Si aucun des choix de la liste ne correspond, l'utilisateur peut cocher le choix « Autre » et rentrer manuellement sous forme de texte la source d'information.

#### 4.4.3.2 Deuxième partie : Description du problème

Quand la première partie est entièrement complétée, un nouvel encadré apparaît et contient les champs de saisie pour décrire le problème de la station (figure 10). La première saisie à faire se fait parmi une liste à choix unique qui permet de déterminer le type de problème rencontré. La liste complète des choix des problèmes que l'on peut rencontrer est la suivante :

- Pas de communication possible avec le DL (impossible de se connecter au DL)
- Mesures, par exemple un problème qualitatif sur les données mesurées (la température, la conductivité (EC) ou le niveau)
- Déprédation du point d'observation (ex : tuyau plié)
- Conflit d'usage (ex : construction prévue là où se trouve le piézomètre)
- Télétransmission
- Autre

En fonction du choix de la source d'information de la notification du problème, cette liste est filtrée et seulement les éléments cohérents avec le choix initial sont affichés. Par exemple, si le problème a été notifié via la plateforme en ligne STRATES-VS, il ne peut s'agir probablement que d'un problème de télétransmission des données ou de leur qualité.

Selon le type de problème, il y a un deuxième encadré qui peut apparaître pour renseigner plus de détails (figure 10). Dans le cas des mesures, l'utilisateur doit renseigner le type de mesure qui pose problème. Cela peut être le niveau, la température ou la conductivité de l'eau. Si c'est la télétransmission qui ne fonctionne pas, il est nécessaire de savoir si cela fait 10 jours ou moins que cela a été notifié. Cette date a été arbitrairement choisie pour prioriser la maintenance des stations dont la télétransmission a été coupée depuis plus de 10 jours.

Suite à cela, la date de notification ainsi que la personne qui a remarqué le problème doivent être saisies. Un dernier champ permet à l'utilisateur de catégoriser la priorité d'intervention sur la station (haute, moyenne ou faible). Un code couleur a été implémenté pour renforcer la signification de la saisie (faible = vert, moyenne = orange, haute = rouge). En fonction de la priorité choisie, un délai d'intervention est attribué (haute = 3 jours, moyenne = 7 jours, faible = 15 jours).

**Figure 10 :** Exemple extrait du logbook avec un exemple de saisie dans le cas où un problème sur la mesure du niveau de la nappe phréatique a été notifié.

#### 4.4.3.3 Troisième partie : Planification de l'intervention

Concernant l'organisation de la maintenance, l'utilisateur doit saisir la date d'intervention prévue (figure 11), le nom de l'opérateur et le type d'opération. Pour le choix de l'opération prévue, il se fait via une liste à cocher et à choix multiple. Les éléments pouvant être sélectionnés sont les suivants :

- Changement de batterie(s)
- Installation nouveau DL (remplacement définitif)
- Installation du DL de réserve (remplacement temporaire)
- Mise à jour du Firmware
- Télétransmission : activation
- Télétransmission : remplacement carte SIM
- Reprogrammation DL

Il est également nécessaire de décrire la maintenance prévue sous forme de texte après la sélection du type d'opération. Sachant que toutes les saisies du formulaire complet sont requises, elles ont été implémentées comme « saisie obligatoire » sur le logiciel.

**SOP-ESO R3 :**

Vendredi, 22 septembre 2023

**Priorité d'intervention : \***

- Haute : délai d'intervention + 3 jours
- Moyenne : délai d'intervention + 7 jours
- Faible : délai d'intervention + 15 jours

**Intervention :**

**Date : \***

lundi, 18 septembre 2023

**Opérateur : \***

Amaury Champion

**Action de maintenance :**

**Sélectionner : \***

- Changement batterie(s)
- Installation nouveau DL (remplacement définitif)
- Installation DL de réserve (remplacement temporaire)
- Mise à jour Firmware
- Télétransmission : activation
- Télétransmission : remplacement carte SIM
- Re-programmation DL

**Description des travaux : \***

Installation d'un nouveau data logger et activation de la télétransmission.

**Figure 11 :** Exemple extrait du logbook avec un exemple de saisie dans le cas où un nouveau data logger doit être installé et la télétransmission activée.

#### 4.4.4 Publication des formulaires

Une fois les formulaires terminés, il suffit de les publier sur la plateforme d'ArcGIS online pour qu'ils soient accessibles sur tous les ordinateurs de travail du CREALP. Toutes les données saisies seront alors téléchargées depuis la plateforme, traitées puis stockées dans une nouvelle base de données du CREALP ultérieurement. Ce point fait partie de la continuité du projet de numérisation des formulaires et fera l'objet d'un prochain travail.

## 5 Partie II - Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues, Canal Sion-Riddes et Canal des Iles

### 5.1 Introduction

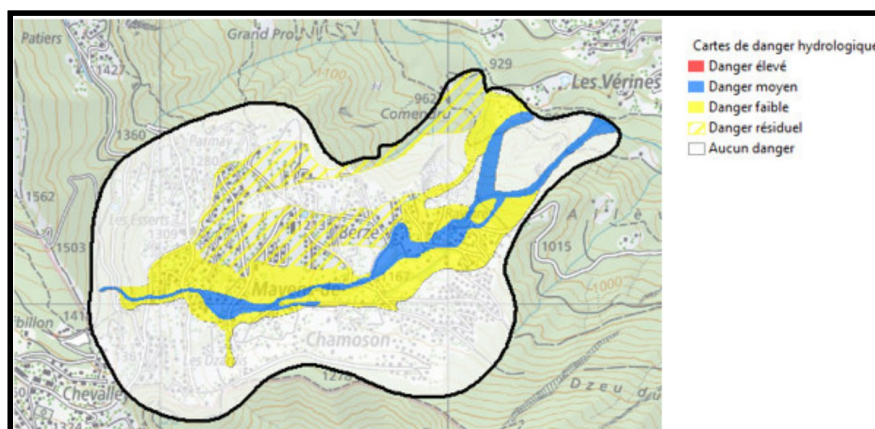
En plus du Rhône, le canton du Valais est traversé par de nombreux torrents et rivières prenant leur source dans les vallées et les montagnes environnantes. S'ajoute à cela divers canaux construits dans la plaine du Rhône. Tous ces éléments hydrologiques portent un risque de crue considéré par le service des dangers naturels du canton du Valais. Des bureaux d'étude externes sont alors mandatés pour réaliser des rapports techniques d'évaluation du risque de crue ainsi que des cartes de danger et d'intensité. C'est dans ce contexte que le CREALP intervient et réalise des contrôles de qualité sur ces cartes SIG ainsi que leur implémentation dans une base de donnée. Durant mon stage, j'ai eu l'opportunité de pouvoir réaliser ce travail pour les cartes de dangers et d'intensité du canal Sion-Riddes ainsi que du canal des Iles.

### 5.2 Données de base

#### 5.2.1 Carte de danger, d'intensité et périmètre d'étude

Les cartes de danger et d'intensité sont transmises par le bureau d'en format pdf et shapefiles. En fonction du mandat, les cartes d'intensité ne sont pas forcément fournies et uniquement celles de danger sont à contrôler. Le périmètre d'étude est également nécessaire pour le contrôle qualité des cartes et est fourni en format shp également. Toutes ces cartes doivent suivre des règles précises concernant par exemple la symbologie (code couleur). C'est le cas aussi pour la classification des polygones pour les cartes de danger qui est la suivante :

- Danger élevé
- Danger moyen
- Danger faible
- Danger résiduel
- Aucun danger



**Figure 1 :** Exemple de carte de danger hydrologique avec son périmètre d'étude (trait noir) et sa symbologie (source : directive technique pour les cartes des dangers naturels, SDANA<sup>8</sup>).

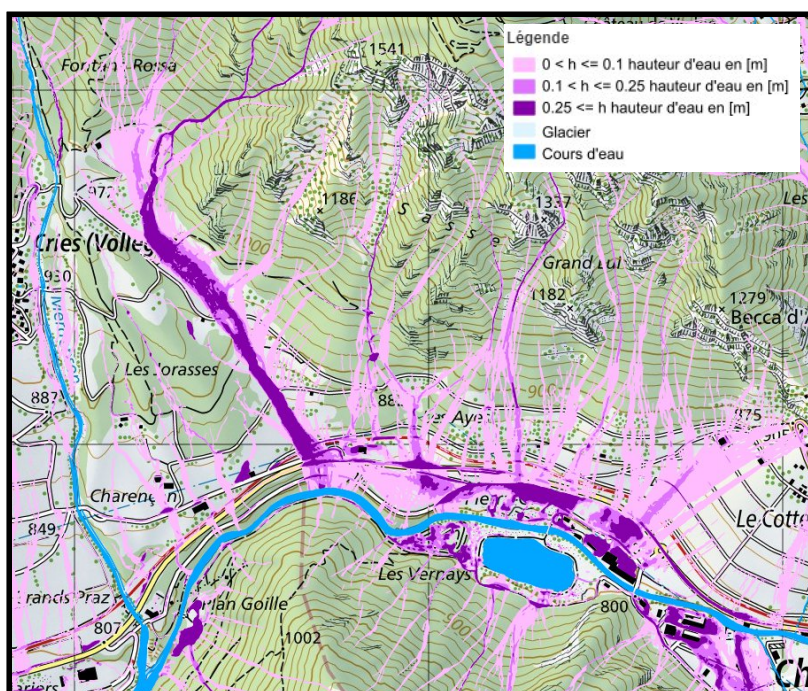
<sup>8</sup><https://www.vs.ch/documents/16282251/16282446/Directives+techniques+g%C3%A9odonn%C3%A9es+cartes+danger.pdf/8e66292a-9951-586f-dd6f-35f92a4805db?t=1666605443143&v=2.0>



Pour les cartes d'intensité, un autre code de couleur est utilisé et également une classification différente :

- Faible
- Moyenne
- Forte

Ces cartes considèrent également le temps de retour avec des intervalles standards de 30, 100 ou 300 ans et éventuellement plus grand pour des événements « extrêmes ».



**Figure 2 :** Exemple de carte d'intensité hydrologique au Val de Bagne, entre le Châble et Sembrancher, la classe d'intensité « faible » se réfère au violet clair et celle « forte » au violet foncé (source : couches SIG de l'OFEV).

### 5.2.2 Rapport technique

Le rapport technique contient toutes les informations concernant la réalisation de la carte de danger. On y trouve par exemple une analyse complète du danger hydrologique, une estimation des dommages, des propositions de mesures de protection et les résultats détaillés de l'étude. Il est important d'avoir une bonne vue d'ensemble du contenu du rapport pour pouvoir répertorier et référencer les informations qu'il contient lors de l'informatisation de la carte.

## 5.3 Méthodologie

### 5.3.1 Check des données

Avant de commencer le contrôle qualité des données, il faut s'assurer que toutes les données (cartes, rapport technique et périmètre d'étude) aient bien été fournies dans leur totalité par le bureau d'étude qui a réalisé les cartes et soient cohérentes entre elles. Les cartes de danger et d'intensités vectorisées transmises par le bureau doivent correspondre au périmètre d'étude ainsi qu'aux cartes pdf et au rapport.

### **5.3.2 Contrôle de qualité des cartes SIG**

Pour le contrôle qualité des cartes, nous devons vérifier et corriger s'il y a des erreurs topologiques. Les erreurs que nous cherchons à éliminer sont les suivantes :

- Superposition de polygone
- Présence de trou
- Présence de doublon
- Polygones inférieurs à 10 m<sup>2</sup>
- Géométrie multi-partie (entité séparée en plusieurs polygones)
- Géométrie invalide

Pour réaliser ce travail, nous nous servons de différents outils dans ArcGIS Pro et QGIS que nous allons présenter dans les prochains paragraphes.

#### **5.3.2.1 Intégration deux par deux sur ArcGIS Pro**

Le premier outil que nous utilisons se trouve sur ArcGIS Pro et se nomme « *Intégration deux par deux* ». Cet outil s'applique aux couches vectorielles et analyse les sommets de toutes les entités. Si deux sommets sont à une distance inférieure à 0.01 mètre (valeur choisie), ils sont alors considérés comme représentant les mêmes coordonnées, l'outil leur attribue alors les mêmes valeurs de x et de y. En plus de cela, quand un sommet d'une entité se trouve à moins de 0.01 mètre d'un segment d'une autre entité, alors un nouveau sommet est inséré dans le segment et est aligné avec l'autre sommet.

Cet outil permet notamment de garantir une structure continue et cohérente entre les polygones et d'éliminer des erreurs de superposition ou de trou.

#### **5.3.2.2 Vérificateur de topologie sur QGIS**

Après le premier traitement sur ArcGIS Pro, nous utilisons l'outil de vérification de topologie sur QGIS. Cet outil permet de contrôler pour une couche vectorielle les erreurs de topologie suivantes :

- Superposition de polygone
- Présence de trou
- Présence de doublon
- Géométrie multi-partie (entité séparée en plusieurs polygones)
- Géométrie invalide

Une fois l'outil exécuté, il est possible de visualiser les différents types d'erreurs associés et les entités affectées. Le nombre d'erreurs identifiées est également indiqué. Dans le cas où de trop nombreuses erreurs sont signalées, il faut prendre contact avec le bureau d'étude qui a réalisé le travail et leur demander de les corriger. Si seulement quelques erreurs sont présentes, il faut les corriger selon différentes méthodes particulières en fonction du type d'erreur. Après chaque correction, il est nécessaire de réitérer l'outil de vérification de topologie pour voir si l'erreur a bien été corrigée.

#### **5.3.2.3 Correction des erreurs topologiques sur QGIS**

Pour les erreurs de superposition ou les trous, nous allons manuellement modifier les entités concernées. Nous allons déplacer les sommets pour regrouper les entités entre elles là où se trouvent des trous ou des superpositions.

Pour les doublons, il suffit de les supprimer manuellement après les avoir identifiés et sélectionnés.

Pour les entités avec une géométrie multi-parties, il faut simplement utiliser l'outil « *De morceaux multiples à morceaux uniques* » sous « Vecteur » pour supprimer l'erreur sur toutes les entités concernées.

Pour les cas de géométrie invalide, nous pouvons nous servir de l'outil « *réparer les géométries dans QGIS* », qui permet de corriger toutes les erreurs de géométries d'une couche vectorielle.

Avant de terminer la correction, il faut vérifier que la couche ne contienne aucun polygone inférieur à 10 m<sup>2</sup>. Lors de la création des cartes de danger et d'intensité, sont effectués des processus de conversion de raster à vecteur. Cette étape crée des polygones de surfaces très faibles, qui sont considérés comme invalides et qui doivent être éliminés. Pour éliminer ces éléments, il suffit d'aller dans la table et de créer ou d'actualiser la colonne qui contient les surfaces des polygones. Ensuite, on utilise la calculatrice de champ et on remplit l'input avec « *\$area* ». Puis, on trie par ordre croissant le tableau via le champ de valeur des surfaces. On sélectionne ensuite les entités inférieures à 10 m<sup>2</sup> et on les élimine toutes en faisant attention à ce que les trous créés par cette manipulation soient comblés. Puis, on relance une dernière fois l'outil de vérification de topologie pour s'assurer que plus aucune erreur ne demeure dans la couche.

Pour finir, on doit ouvrir la table d'attribut de la carte de danger et d'intensité et ajouter plusieurs champs avec un nom défini qui contiendront des valeurs déjà renseignées dans le fichier original. Cette étape est fondamentale pour l'implémentation des géodonnées dans la base de données du canton du Valais. Lors de l'informatisation des données, les noms de champs seront automatiquement identifiés, c'est pourquoi nous devons attribuer des noms de champs spécifiques.

Les champs à ajouter pour les cartes de danger sont les suivants :

- DANGER\_NEW, champ numérique, qui est égal au **degré de danger** des polygones selon les valeurs prédéfinis suivantes :
  - 0 (pas de danger)<sup>9</sup>
  - 1 (danger résiduel)
  - 2 (faible)
  - 3 (moyen)
  - 4 (élevé)
  - 41 (danger élevé (h>2m))
  - 42 (danger élevé (v x h > 2m<sup>2</sup>/s))
  - 5 (indicatif)
  - ...
- MATRIX\_NEW, champ numérique, qui est égal au **numéro de matrice** de chaque entité déjà défini dans la couche initiale remise par le bureau. Si aucun numéro de matrice n'est renseigné on attribue uniquement la valeur 0 quand il n'y a pas de danger, 10 pour du danger résiduel et 99 pour tout le reste. Les valeurs de ce champ sont les suivantes :
  - 0 (pas de danger)
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4

---

<sup>9</sup> Seules les valeurs numériques sont saisies, le texte entre parenthèse correspond à l'information associée à chaque valeur

- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10 (résiduel)
- 99 (indéterminé)

Pour les cartes d'intensités, on ajoute les champs suivants :

- INTENS\_NEW, champ numérique, qui est égal au degré d'intensité selon les valeurs prédéfinies suivantes :
  - 0 (aucune atteinte)
  - 1 (faible)
  - 2 (moyenne)
  - 3 (forte)
- CLASSE\_PRO, champ numérique, qui est égal à la classe de probabilité (1, 2, 3, 4)
- RECURRENCE, champ numérique, qui correspond au temps de récurrence selon les valeurs prédéfinies suivantes :
  - 30
  - 100
  - 300
  - 9999 (extrême)

### **5.3.3 Implémentation dans la base de données**

Une fois les corrections topologiques terminées, nous allons les implémenter dans la base de données. Cela doit être fait depuis un projet QGIS, fournis par le canton, qui contient toutes les autres cartes déjà rentrées pour le canton du Valais. Ce projet QGIS a été programmé pour que, lors de l'informatisation des cartes, des processus automatiques de saisie s'enclenchent, permettant ainsi de rentrer toutes les cartes ainsi que leur information associée et de référencer chaque élément aux fichiers correspondant qui ont été archivés.

Premièrement, il faut répertorier le rapport ainsi que toutes les cartes pdf fournies avec celui-ci. Nous devons donc extraire du rapport technique chacune des cartes et les renommer avec un nom contenant le numéro d'étude et de la carte préalablement définis ainsi que le type de carte (carte de danger, d'intensité, des scénarios, des mesures de protection, ...). Une fois toutes ces données extraites, il suffit de les répertorier manuellement dans la base de données où sont stockées toutes les données des cartes et des rapports techniques.

Avant d'implémenter les géodonnées, il est nécessaire de vérifier si une précédente carte de danger a déjà été réalisée pour le cours d'eau en question. Si c'est le cas, il faut invalider les polygones qui se trouvent en dessous de la nouvelle carte. Pour le canal Sion-Riddes et le canal des Iles, ce n'est pas le cas. Nous pouvons donc directement passer à l'étape suivante.

Maintenant, il faut copier/coller le périmètre d'étude dans la couche contenant tous les autres périmètres d'étude. Alors, une fenêtre apparaît et il faut rentrer plusieurs informations relatives à la carte pour qu'elle soit correctement référencée dans la base de données. Voici une liste abrégée des éléments à fournir :

- Numéro de l'étude
- Mandant (nom de la commune ou canton)

- Mandataire (bureau d'étude)
- Auteurs du rapport
- Communes concernées par la carte de danger
- Toutes les cartes (titre, date, échelle, numéro, ...)

Il faut également lier la carte au rapport technique ainsi que tous les documents liés à l'étude qu'il contient.

Nous pouvons maintenant passer à l'implémentation des géodonnées. Pour ce faire, il suffit de charger les couches vectorielles de la carte de danger et des cartes d'intensité. Puis, de renommer certains champs des tables d'attributs pour que l'implémentation se déroule bien. Pour cela, on peut utiliser l'outil « *Refactoriser les champs* » dans QGIS et définir les nouveaux noms des champs :

Pour le shapefile de danger :

- DEGRE\_DANGER, anciennement DANGER\_NEW
- NO\_MATRICE, anciennement MATRIX\_NEW

Pour le Shapefile d'intensité :

- RECURRENCE, anciennement RECURRENCE
- CLASSE\_PROBABILITE, anciennement CLASSE\_PRO
- CLASSE\_INTENSITE, anciennement INTENS\_NEW

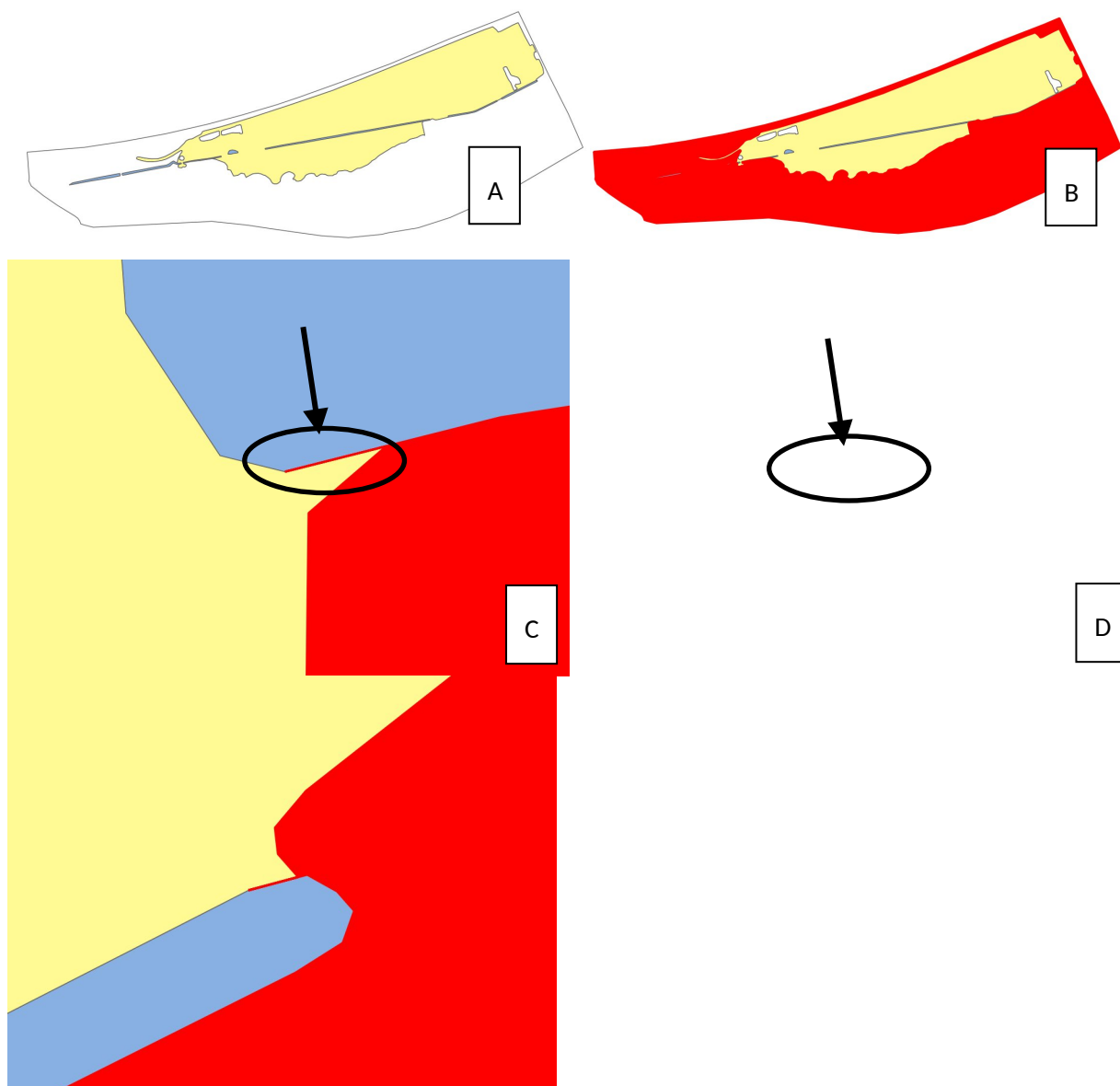
Ensuite, on sélectionne toutes les entités de la nouvelle couche « refactorisée » (avec les noms corrigés) et on les copie/colle à la couche correspondante du projet QGIS (couche des cartes de danger ; couche des cartes d'intensité : Q30, Q100, Q300 ou Qext). De par la nature de ces opérations et la structure de la base de données, il est important de noter que l'ajout des entités de chacune des cartes se fait carte par carte, et non en un seul bloc. Quand les entités d'une carte sont toutes rentrées dans la couche correspondante, il faut toutes les sélectionner puis utiliser l'outil « modifier les attributs de tous les champs sélectionnés simultanément ». Nous pouvons maintenant associer tous les polygones au numéro de carte correspondant et défini préalablement. Nous devons également renseigner quelques informations supplémentaires, comme par exemple si la carte a été validée ou non, ainsi que sa date de validation, le cas échéant. Une fois ces opérations terminées pour une carte, nous réitérons la procédure pour le reste des cartes. L'implémentation des données est alors terminée.

## 5.4 Résultats

### 5.4.1 Vérification et correction topologique des cartes de danger et d'intensité

#### 5.4.1.1 Canal des Iles

Pour la carte des dangers du canal des Iles, seulement deux erreurs de géométrie du même type ont été identifiées et corrigées. Il s'agissait simplement de polygone contenant un sommet formant un « pincement » entre deux autre entités (figure 3).



**Figure 3 :** (A) Carte de danger du canal des Iles. (B) Même carte mais avec le polygone contenant les deux erreurs géométriques identifiés par l’outil « vérificateur de topologie ». (C) et (D) Zoom sur les erreurs géométriques.

Pour corriger ces erreurs, il suffit de supprimer manuellement ces sommets. Une fois cela fait, nous relançons l’outil de vérification topologique pour contrôler qu’aucune erreur ne demeure après correction.

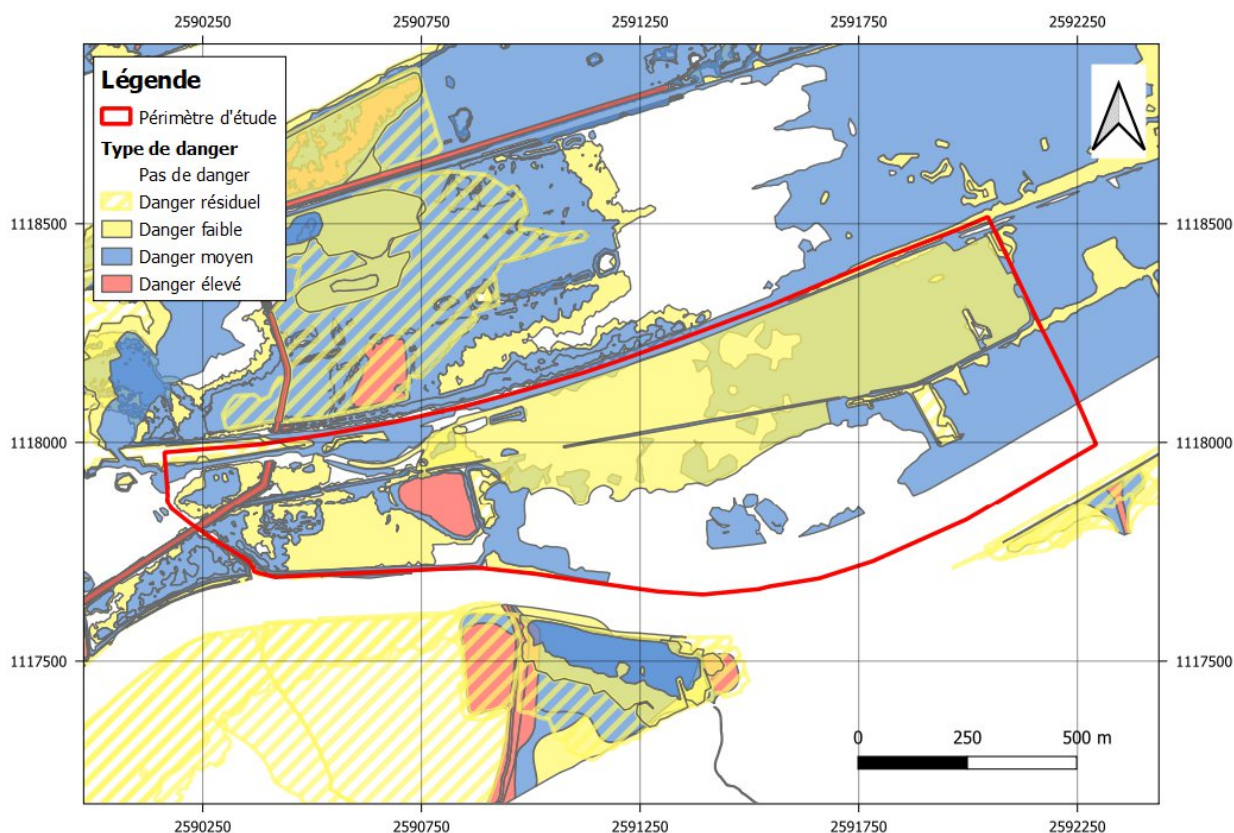
#### 5.4.1.2 Canal Sion-Riddes

Concernant la vérification topologique des cartes de danger et d’intensité du canal Sion-Riddes, aucune erreur n’a été identifiée et nous avons pu les implémenter directement dans la base de données après avoir ajouté les nouveaux champs comme décrit dans le chapitre « méthodologie ».

#### 5.4.2 Informatisation des géodonnées

Maintenant, nous devons ajouter l’ensemble de ces cartes à la base de données qui contient toutes les cartes de danger du canton du Valais (figure 4). Pour ces deux projets, nous devons d’abord vérifier si aucune carte n’a précédemment été produite pour les deux canaux. Étant donné que cela n’est pas le

cas, nous pouvons simplement ajouter les cartes d'intensités et de danger aux couches correspondantes. Puis, comme décrit en détail au chapitre « méthodologie », nous avons référencé le rapport ainsi que les différentes cartes à la base de donnée.



**Figure 4 :** Carte du canal des Iles après informatisation dans la base de données avec les autres cartes de danger.

#### 5.4.3 Mise à jour de la base de données

Une fois l'informatisation terminée et la base de donnée mise à jour, les nouvelles données doivent être validées et publiées par le canton pour qu'elles puissent être accessibles à tout utilisateur qui en aurait besoin.

### 5.5 Références

SDANA, "Cartes de dangers naturels, Directive technique pour la livraison des géodonnées liées aux dangers naturels », version 2.3, 17 octobre 2022, <https://www.vs.ch/documents/16282251/16282446/Directives+techniques+g%C3%A9odonn%C3%A9es+cartes+danger.pdf/8e66292a-9951-586f-dd6f-35f92a4805db?t=1666605443143&v=2.0>

## 6 Partie III - Système d'alerte de laves torrentielles, cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais

---

### 6.1 Introduction

Les laves torrentielles sont composées d'un mélange d'eau et d'une grosse proportion de matériau solide (30 % à 60 %), dont principalement des sédiments (argile, limon, sable, gravier, bloc) mais aussi d'autres débris comme des troncs ou des branches. Ces coulées se déplacent plus ou moins rapidement le long des pentes et sont restreintes généralement à un chenal. Cependant, lorsque la capacité du chenal est dépassée, on observe des débordements qui peuvent provoquer des dommages très importants. Ces coulées visqueuses détiennent une quantité significative d'énergie et, bien que limitées à une petite superficie, présentent un potentiel de destruction extrêmement élevé.

Le projet *Système d'alerte de laves torrentielles* vise à mettre en place un système d'alerte météorologique pour des sites spécifiques sélectionnés dans tout le Valais. Ces zones ont été touchées par de nombreux événements de lave torrentielle par le passé, c'est pourquoi un projet de système d'alarme a été lancé. Ce dernier permet l'émission d'avertissements en cas d'événement, et en cas de besoin de déclencher automatiquement la fermeture de routes. Ce projet s'appuie sur un précédent projet appelé *Route de Moiry*, qui a été mis en place pour les mêmes raisons.

C'est dans le cadre de ce projet que s'intègre ce travail, où l'on s'intéresse aux surfaces de déclenchement des laves torrentielles pour le canton du Valais selon le système de coordonnées projetées suisse CH1903+ LV95. L'objectif de cette tâche consiste à extraire de la base de données cantonale toutes les informations nécessaires à la production d'une carte de zones susceptibles au déclenchement d'un tel phénomène potentiellement destructeur.

### 6.2 Méthodologie

#### 6.2.1 Données de base

Toutes les données qui vont être discutées dans les prochains paragraphes proviennent d'un serveur hébergé par le canton du Valais. Le CREALP a accès à toutes ces données dont la mise à jour est assurée par le canton.

##### 6.2.1.1 Atlas géologique vectoriel

Les zones propices aux déclenchements de laves torrentielles ont pour caractéristique commune d'être composées d'une certaine quantité de dépôts non-consolidés susceptibles d'être mobilisés. Ces dépôts sont catégorisés dans la base de données du canton comme étant des roches « meubles ». On retrouve notamment dans ces dépôts la moraine, les dépôts fluviaux ou encore les éboulis.

Les données géologiques utilisées ont été extraites des cartes géologiques vectorisées du Valais ([Canton du Valais - Catalogue de métadonnées - geocat.ch](#)). Les géodonnées sont divisées par secteur prédéfini et sous forme de géodatabase fichier. Le fichier GDB contient plusieurs couches vectorielles. Pour ce travail, nous avons besoin des informations sur les dépôts mobilisables lors d'un déclenchement d'une lave torrentielle qui sont contenus dans la classe d'entités nommée « GC\_UNCO\_DESPOSIT ». Cette couche vectorielle regroupe toutes les surfaces de dépôts non-consolidés, mais aussi leur nature géologique. Étant donné que notre échelle se situe au niveau du canton du Valais et que les géodonnées



sont séparées par secteur, nous allons regrouper l'ensemble des classes d'entités en une seule classe facilitant ainsi le traitement des données.

#### **6.2.1.2 Carte de pente et cadastre forestier**

Parmi les facteurs impactant le déclenchement de laves torrentielles, on peut citer la présence ou non d'un couvert forestier plus ou moins dense et la pente du terrain. Dans la littérature, on observe que les laves torrentielles sont générées majoritairement pour des pentes entre 25 et 90° (Gregoretto 2000, Winter et al. 2005, Hungr et al. 2008, Shen et al. 2018). Si la pente est trop faible, la quantité d'énergie nécessaire pour mobiliser les dépôts est trop grande, alors que pour les pentes trop raides, les dépôts potentiellement mobilisables ne sont pas présents, car ils n'arrivent pas à s'accumuler et fluent en aval, il n'y a donc pas de matériel disponible pour le déclenchement d'une lave torrentielle. Pour les forêts, nous savons qu'elles ont également un impact significatif. Lorsque la forêt est suffisamment dense et couvre une grande surface, elle empêche la formation de ce type d'événement (Imaizumi et al. 2008, Moos et al. 2018).

Concernant les données, la carte de pente se trouve sous forme de raster dans le répertoire des données altimétriques du canton est se nomme « Carte de pente (grille 2 mètres) » ([Canton du Valais - Catalogue de métadonnées \(geocat.ch\)](#)). Comme indiqué dans le nom, la résolution du raster est de 2 mètres. Pour le cadastre forestier, le raster « surface terrière », correspondant à la densité des forêts avec une résolution initial de 20 mètres, se trouve dans le répertoire « LIDAR » ([Canton du Valais - Catalogue de métadonnées \(geocat.ch\)](#)).

#### **6.2.1.3 Périmètre d'étude**

Pour ce travail, plus de 100 bassins versants sur le canton du Valais ont été considérés et construits à partir du catalogue des laves torrentielles du CREALP. Les différents secteurs ont des propriétés qui varient significativement d'une zone d'étude à l'autre, que ce soit le couvert forestier, la taille de la surface, l'altitude ou encore le relief.

#### **6.2.2 Création d'une géodatabase fichier**

Une fois que les données ont été clairement identifiées et leur structure dans la base de données étudiée, nous pouvons les extraire et les exporter dans une nouvelle géodatabase fichier. Nous pouvons importer directement le raster de pente et le raster de forêt. En revanche, pour les dépôts non consolidés, nous devons les extraire à partir de la couche « GC\_UNCO\_DESPOSIT ». Cette classe d'entité possède plusieurs catégories de roche de nature différente, mais pas toutes ne sont mobilisables lors du déclenchement d'une lave torrentielle. Nous devons alors définir les types de roches qui sont considérés comme mobilisables et extraire uniquement les polygones concernés. Une fois définis, nous avons exporté ces entités sélectionnées dans une nouvelle classe d'attribut du fichier GDB.

#### **6.2.3 Processus de filtration**

À partir de la couche vectorielle des dépôts non-consolidés, nous allons uniquement conserver les surfaces où les conditions de pente et de couverture forestière favorisent le déclenchement de lave torrentielle. Pour la pente, nous considérons uniquement les valeurs entre 25° et 90° ; pour la densité des arbres, nous gardons uniquement les valeurs inférieures à 30 m<sup>2</sup>/ha, cette densité étant trop faible pour avoir un impact significatif sur le déclenchement de lave torrentielle. Cette valeur de seuil a été choisie en filtrant le raster du cadastre forestier selon diverses valeurs de densité et en comparant les résultats sur des bassins versants où les zones susceptibles de déclencher de tel événement sont identifiées. Nous avons choisi que la valeur de seuil qui correspondait au mieux à la distribution spatiale de la donnée.

#### **6.2.4 Processus de généralisation**

Lors de la filtration, à cause de la haute résolution de la carte des pentes (2 mètres), de nombreuses petites surfaces ont été préservées et polluent la carte, formant des amas d'écailles. Pour harmoniser le résultat, nous décidons de généraliser la carte et de conserver uniquement les polygones dont la surface est supérieure à 500 m<sup>2</sup>. Pour ce faire, nous utilisons l'outil « Éliminer » dans ArcGIS Pro, qui va supprimer les polygones sélectionnés et les combiner avec les polygones qui partagent la plus grande arête commune.

### **6.3 Création du géodatabase fichier**

#### **6.3.1 Dépôts non-consolidés**

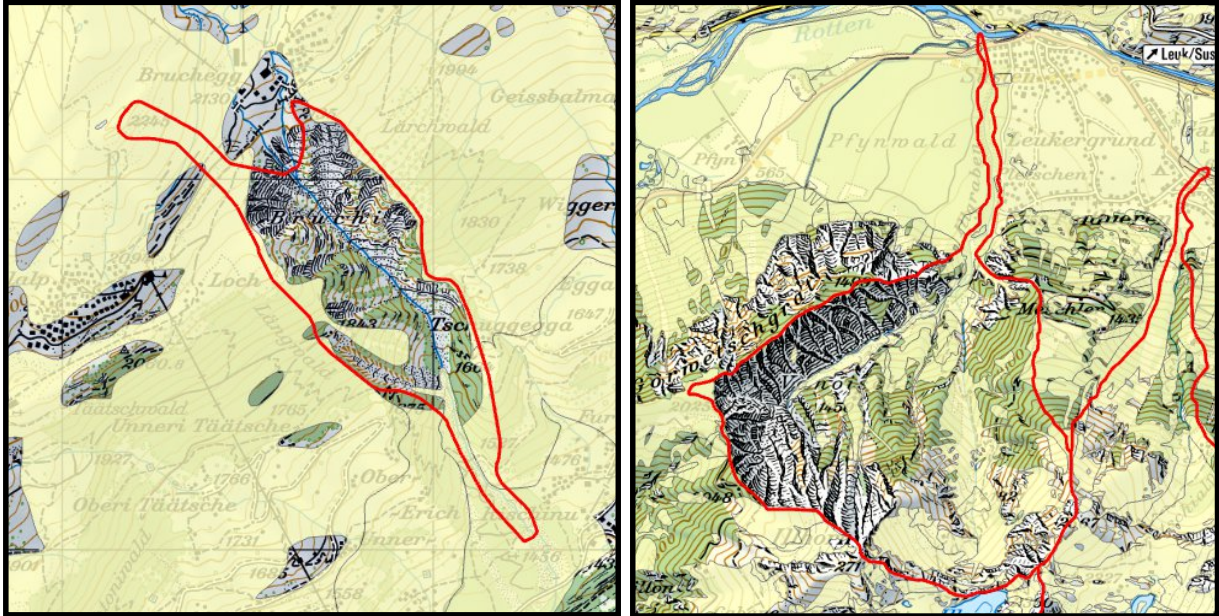
Au vu de la structure des données de l'atlas géologique, nous avons pu extraire les données qui nous intéressaient grâce à certains attributs spécifiques des entités. Tout d'abord, nous avons considéré uniquement les entités catégorisées comme « roche meuble », ce qui exclut le socle rocheux. Puis, se basant sur le champ décrivant la lithologie des entités, nous avons décidé d'en éliminer un certain nombre de par leur nature, comme par exemple :

- Les sédiments lacustres, car ce sont des formations horizontales et donc cela ne peut pas correspondre à des zones de déclenchement de laves torrentielles
- Les sédiments palustres divers (lignite, tourbières, ...), même remarque que pour le point précédent
- Les dépôts anthropiques divers (remblai, décharge, teruil, ...)
- La couverture meuble pelliculaire, ces entités ont été décrites dans une seule région du canton du Valais et correspondent seulement à 15 polygones, la donnée n'est donc pas homogène sur tout le canton et représente un pourcentage négligeable de surface

Concernant les entités que nous avons conservées, nous pouvons citer :

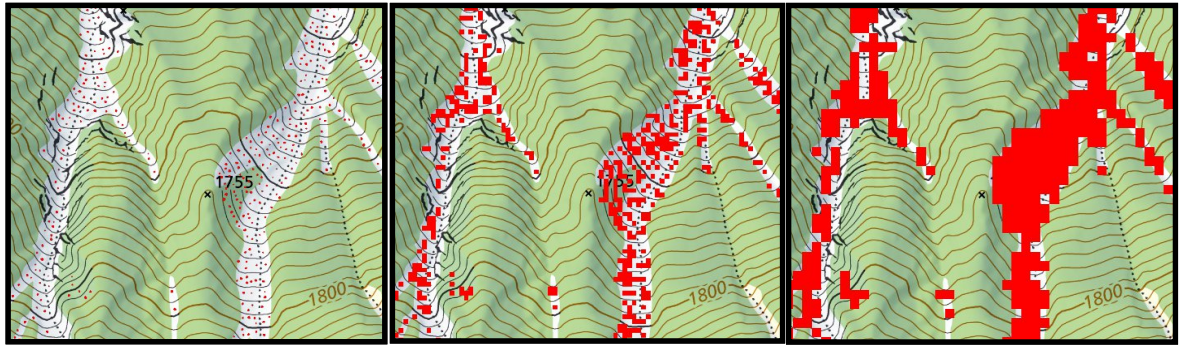
- Les sédiments fluviatiles
- Les éboulis, dépôts d'avalanche, amas de blocs éboulés
- Les dépôts gravitaires et d'altérations
- Les masses glissées ou en glissement
- Les sédiments glaciaires (moraine, dépôts glaciolacustres)
- Les glaciers rocheux

Une fois cette couche terminée, nous allons contrôler qu'elle représente bien les zones de déclenchement potentiel des laves torrentielles. Pour ce faire, nous sélectionnons, à partir du cadastre des laves torrentielles du canton du Valais, les bassins versants associés à ces événements. Puis, nous évaluons si, là où des laves torrentielles se sont déroulées, nous constatons bien la présence de ces dépôts non consolidés que nous avons extraits. Bien que ces données constituent une bonne base de travail et couvrent correctement la grande majorité des 126 bassins versants étudiés, nous constatons que pour certaines zones, connues pour des laves torrentielles fréquentes, notre couche ne couvre pas bien ces surfaces. À partir de ce constat, nous observons que les données que nous avons utilisées ne couvrent pas suffisamment précisément les structures fines comme les petites ravines ou encore les dépôts d'éboulement au pied des parois rocheuses.



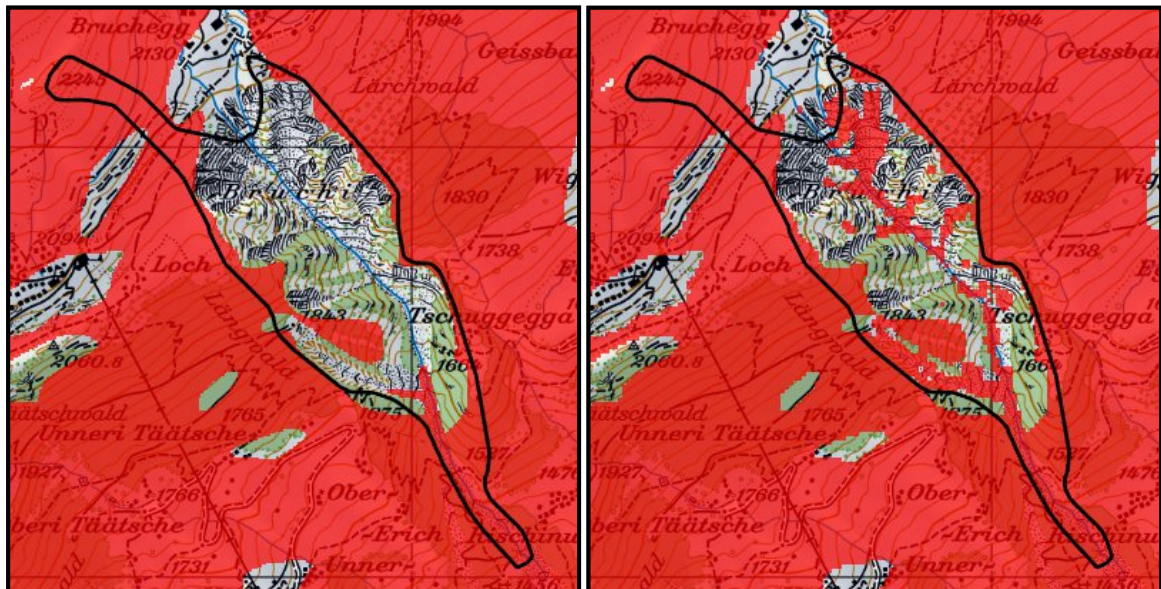
**Figure 1:** En jaune, les surfaces de dépôts non-consolidés extraites et filtrées à partir de l'atlas géologique vectoriel. En rouge, les bassins versants sélectionnés par la présence de lave torrentielles notifié dans le cadastre. Exemple de deux bassins versants, qui sont mal couvertes par notre couche de dépôts non-consolidés. Le Bruchi, à gauche, n'a qu'un faible pourcentage de dépôts non-consolidés. Concernant l'illgraben, à droite, bien que mieux couvert par notre couche, il est connu que les reliefs à l'est du bassin versant sont la source principale de sédiments mobilisés lors du déclenchement de lave torrentielle, pourtant ils ne sont pas représentés par notre couche.

Pour pallier à ce manque d'information, nous avons décidé d'extraire les surfaces d'ébouillis à partir des cartes nationales de la Suisse digitalisée ([Swiss Map Raster 25](#)), car elles décrivent ces dépôts d'éboulement issus de l'érosion avec plus de précision. Sachant que, pour ces données, les surfaces d'ébouillis sont représentées en format raster par des nuages de pixels éparpillés, nous avons dû réaliser quelques traitements SIG pour en extraire des surfaces cohérentes. Grâce à l'outil « Agréger » sur ArcGIS Pro, nous pouvons généraliser ces pixels dont la résolution initiale est de 0.5 mètre. Pour obtenir un meilleur résultat, nous avons réalisé un premier passage de cet outil avec un « Facteur de cellule » de 10 et la méthode d'agrégation paramétrée sur « Minimum ». Ce paramètre choisit d'agréger les pixels en attribuant la valeur la plus faible parmi les pixels agrégés. Ce choix va favoriser les pixels ayant une valeur faible, ce qui est le cas ici pour des surfaces d'éboulement. Cela nous permet de passer à une résolution de 5 mètres et de couvrir le plus possible ces surfaces de pixels d'ébouillis en limitant les pertes. Pour terminer, nous avons réalisé un dernier passage pour obtenir un raster avec une résolution de 10 mètres ainsi que l'application de l'outil « Filtre majoritaire » pour simplifier et lisser les surfaces.



**Figure 2:** Traitement raster pour extraire les surfaces d'éboulis. À gauche les données brutes, au centre après le premier passage de l'outil « Agréger », à droite le résultat final après le deuxième passage du précédent outil ainsi que de la filtration

Nous avons ensuite rasterisé la couche de dépôts non-consolidés pour pouvoir l'additionner avec les dépôts d'éboulis que nous venons d'extraire. En recontrôlant notre couche sortante aux bassins versants qui étaient mal couverts par la couche initiale, nous observons une nette amélioration.



**Figure 3:** En rouge, les surfaces de dépôts non consolidés et en noir le bassin versant du Bruchi. Zone d'étude du Bruchi, comparaison entre la couche initiale des dépôts non-consolidés, à gauche, avec celle obtenue par l'addition de cette même couche avec les surfaces d'éboulis extraites des cartes nationales suisses. Nous remarquons bien une augmentation couverture surfacique du raster sur la zone.

### 6.3.2 Couvert forestier

Pour le couvert forestier, nous voulons connaître la densité de la forêt par unité de surface pour pouvoir délimiter les zones où elle est suffisamment dense pour entraver le déclenchement de lave torrentielle. Pour ce faire nous allons utiliser la couche « surface terrière » citée précédemment. Concernant la structure de la donnée, il s'agit d'un raster de résolution 20 x 20 mètres dont les valeurs varient de 0 à 150 m<sup>2</sup>/ha. Les valeurs strictement en-dessous de 30 m<sup>2</sup>/ha compris en utilisant l'outil « Reclassification ». Les valeurs au-dessus de ce seuil sont égal à 0 et en-dessous à 1.

### 6.3.3 Pente

Pour la pente, nous avons filtré le raster contenant les pentes afin de conserver uniquement les valeurs de pente à partir de 25° compris, qui est une valeur raisonnable de pente minimale pour le déclenchement de lave torrentielle. Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil « reclassification », en attribuant la valeur de 1 pour les pixels au-dessus de ce seuil et de 0 pour les autres. Étant donné de la haute résolution de la donnée brute, il a été décidé de réduire sa résolution avec l'outil « agréger » ainsi que d'appliquer l'outil « filtre majoritaire » afin de simplifier les surfaces formées et d'éliminer les pixels isolés.

## 6.4 Création de la carte

### 6.4.1 Préparation des différentes couches

Pour créer la carte finale, nous devons effectuer des opérations sur la calculatrice raster entre le raster de pente, le raster de forêt ainsi que le raster de dépôts non-consolidés. Avant cela, il faut préparer les différentes couches afin que les grilles des rasters soient alignées et que leur résolution soit la même. Nous allons utiliser l'outil « rééchantillonner » pour fixer la résolution à 20 x 20 mètres et pour les aligner les uns aux autres à l'aide d'un « raster de capture » sur lequel chaque grille de raster sera calquée.

### 6.4.2 Génération de la carte

À l'aide de la calculatrice raster, nous allons maintenant multiplier les trois rasters entre eux. Sachant qu'ils ont été reclassifiés avec des valeurs de 1 et 0 selon les règles suivantes :

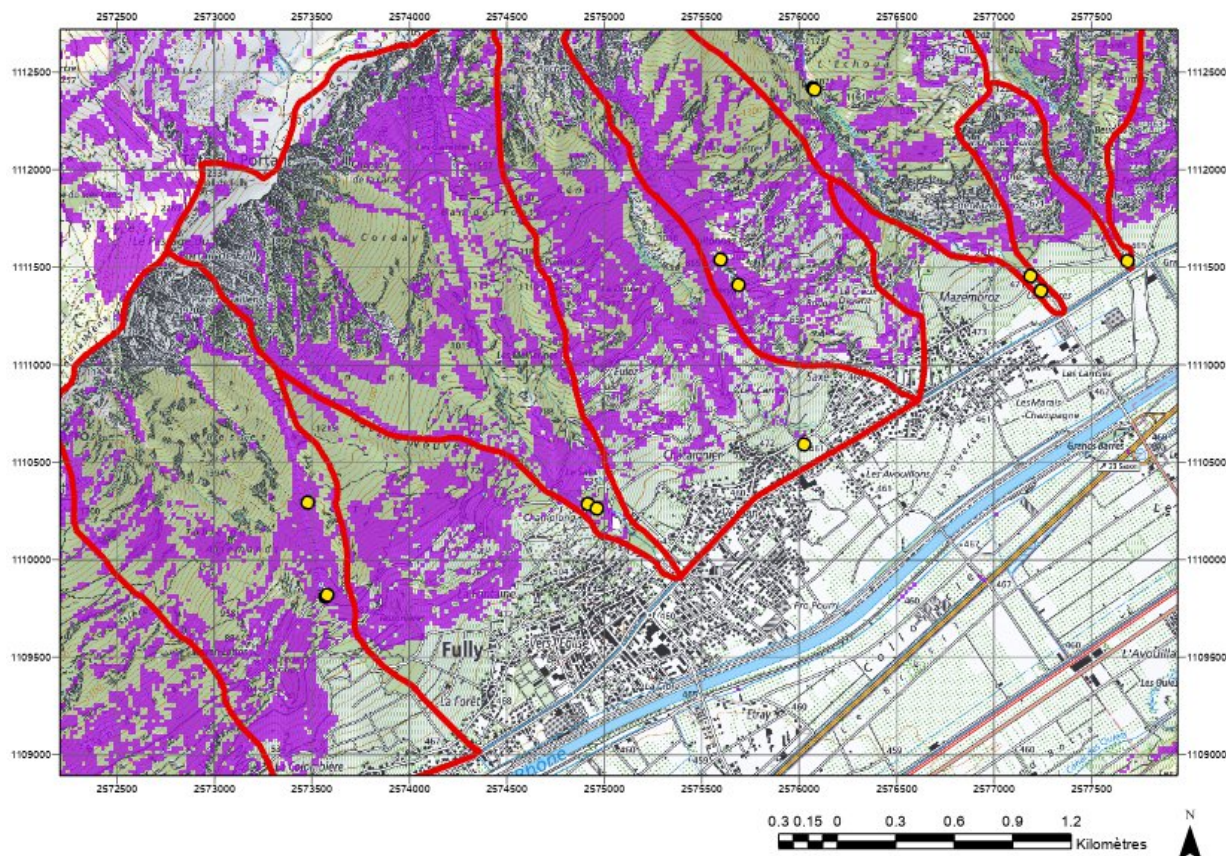
Origine du raster	Valeur du pixel	Règle de classification
Forêt	1	Surface terrière $\leq 30 \text{ m}^2/\text{ha}$
	0	Surface terrière $> 30 \text{ m}^2/\text{ha}$
Pente	1	Pente $\geq 25^\circ$
	0	Pente $< 25^\circ$
Dépôts non-consolidés	1	Présence de dépôts non-consolidés
	0	Absence de dépôts non-consolidés

**Table 1** : Règles d'attribution des valeurs des 3 rasters utilisés pour créer la carte.

Au vu des règles définies dans le tableau ci-dessus, la multiplication des 3 rasters donnera pour résultat une carte avec deux valeurs de pixel possible :

- 1) Quand la valeur du pixel vaut **1**, cela implique que les trois conditions, pour que la surface soit considérée comme susceptible de déclencher une lave torrentielle, sont remplies.
- 2) Quand la valeur du pixel vaut **0**, cela implique qu'au moins une des trois conditions ci-dessus n'est pas remplie.

Le résultat de cette opération est visible à la figure 4 qui montre les surfaces de dépôts mobilisables pour différents bassins versants à Fully.



**Figure 4 :** En violet, les surfaces de dépôts mobilisables et, en rouge, les bassins versants associés à des laves torrentielles représentées par des points jaunes. Exemple illustrant le résultat des surfaces de dépôts mobilisables lors du déclenchement de laves torrentielles.

#### 6.4.3 Quantification des zones susceptibles

Pour terminer ce travail, nous allons calculer le pourcentage de surface recouvert par notre couche pour chaque bassin versant associé au déclenchement de laves torrentielles qui ont été répertoriées dans le cadastre. Pour ce faire, il suffit de calculer la somme des pixels de valeur 1 par bassin versant avec l'outil « statistiques zonales ». Sachant que chaque pixel a une surface de 400 m<sup>2</sup>, il suffit de multiplier le nombre de pixel par cette valeur pour obtenir la surface totale des dépôts mobilisables par bassin versant. Pour obtenir la proportion de cette surface de dépôts par rapport à la surface totale du bassin versant correspondant, on divise cette valeur par la surface totale et on multiplie le résultat par 100 pour obtenir un pourcentage. Toutes ces opérations sont effectuées à l'aide de la calculatrice de champ.

#### 6.5 Références

- Gregoretti, Carlo. "The Initiation of Debris Flow at High Slopes: Experimental Results." *Journal of Hydraulic Research*, vol. 38, no. 2, 2000, pp. 83–88, <https://doi.org/10.1080/00221680009498343>.
- Hungr, Oldrich, et al. "Magnitude–Frequency Relationships of Debris Flows and Debris Avalanches in Relation to Slope Relief." *Geomorphology*, vol. 96, no. 3–4, 2008, pp. 355–65, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.03.020>.

Imaizumi, Fumitoshi, et al. "Effects of Forest Harvesting on the Occurrence of Landslides and Debris Flows in Steep Terrain of Central Japan." *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 33, no. 6, 2008, pp. 827-40, <https://doi.org/10.1002/esp.1574>.

Moos, Christine, et al. "Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction in Mountains." *Earth-Science Reviews*, vol. 177, 2018, pp. 497-513, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.12.011>.

Shen, Weigang, et al. "Quantifying the Impact of Dry Debris Flow against a Rigid Barrier by DEM Analyses." *Engineering Geology*, vol. 241, 2018, pp. 86-96, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.05.011>.

Winter, Mike, et al. *Scottish Road Network Landslides Study*. 2005.

## 7 Partie IV - Cartes de classes de sols de fondation, Actualisation de la carte de Sembrancher et processus de généralisation

---

### 7.1 Introduction

#### 7.1.1 *Le danger sismique en Valais*

Au cours des dix dernières années, le réseau de sismographes a enregistré en moyenne environ 270 tremblements de terre sur le canton du Valais. Parmi eux, seulement 2 ou 3 événements ont été ressentis par la population par an. On estime qu'un tremblement de terre de magnitude 6 environ se produit une fois par siècle. Cette donnée statistique est confirmée par le catalogue historique des tremblements de terre, qui montre qu'au cours de ces 500 dernières années, pratiquement chaque siècle a été marqué par un tel événement.

Le Valais est caractérisé par la présence de vallées alpines creusées par les glaciers. Ces vallées sont des milieux de dépositions sédimentaires d'origine glaciaire ou alluviales. Les données historiques, instrumentales et de modélisation numérique ont démontré la capacité de ces dépôts à augmenter l'intensité d'un séisme.

#### 7.1.2 *Cartes de sols de fondation*

Au cours d'un tremblement de terre, le sol bouge dans toutes les directions, verticalement et horizontalement. Selon la puissance du séisme, les mouvements du sol font osciller les infrastructures humaines comme par exemple les bâtiments, les ponts ou encore les routes, qui selon leur vulnérabilité, peuvent être endommagées voire détruites. L'intensité et la durée des secousses sismiques peuvent être modifiées en fonction des conditions géologiques locales. C'est le cas pour les phénomènes d'amplification des ondes, appelé « effets de site ». La nature du sol ainsi que sa structure sont également responsables d'autres phénomènes secondaires générés par les séismes, tel que la liquéfaction des sols sableux saturés, la thixotropie des argiles « sensibles » et les instabilités de terrain (glissement). Les cartes de classes de sols de fondation, combinées avec l'aléa sismique, fournissent des informations importantes pour la mise en place de mesures concrètes de protection face au danger sismique.

Pour la classification des effets de site, la norme SIA 261 définit 5 classes de sols de fondations (A à E) et les spectres de réponse associés. Il existe également une 6<sup>ème</sup> classe (F) qui regroupe les sols de fondation qui ne sont pas couverts par les 5 classes et qui nécessitent une investigation particulière afin d'établir un spectre de réponse spécifique. Ces 5 classes peuvent être remplacées suite à des études spécifiques des effets de site. Pour des zones sensibles (effets de site attendus, forte densité de population, ouvrages importants), un microzonage sismique spectral est effectué pour calculer les spectres de réponse spécifiques.

Les cartes de classes de sols de fondation ont pour but de fournir rapidement une indication de la classe probable des sols de fondation, afin de prendre en compte au mieux les charges sismiques dans le cadre de projets de construction. Ces cartes sont établies principalement à partir d'informations géologiques, géophysiques et géotechniques disponibles. Il convient de noter que ces cartes, représentées à l'échelle 1:25'000, doivent être considérées comme indicatives.

Actuellement, sur le territoire du canton du Valais, les informations sont principalement disponibles le long de la vallée du Rhône entre Brig et le Léman, ainsi que dans certaines régions des vallées latérales, telles que Saastal, Zermatt, Evolène, Leukerbad, Sembrancher, Val d'Illiez, etc. Ces cartes ont été élaborées par le CREALP en 2004, puis mises à jour en 2008 selon la classification de la norme SIA 261. Des cartes de microzonage sismique spectral (MSS) ont ensuite été réalisées en 2005 pour les régions



de Brig-Visp, en 2010 pour la région du Chablais, en 2011 pour la région de Sion, et en 2015 pour la région de Martigny ([Cartes de sol de fondation - - vs.ch](#)).

En 2016, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a publié de nouvelles recommandations pour la réalisation des cartes de sols de fondation, rendues nécessaires par la révision de la norme SIA 261 en 2014 et par l'évolution des connaissances et des pratiques ces dernières années.

Dans ce contexte, le CREALP a été chargé par le canton du Valais de réaliser trois tâches :

- 1) Élaborer la carte de classes de sols de fondation pour la carte CN25 1307-Vissoie.
- 2) Mettre à jour la carte CN25 1325-Sembrancher en se basant sur les nouvelles connaissances géologiques et les recommandations de l'OFEV de 2016 (Mayoraz et al., 2016).
- 3) Proposer un processus de simplification pour la carte de Sembrancher.

Pour mon stage, j'étais en charge uniquement de réaliser les points 2) et 3).

## 7.2 Données de base

### 7.2.1 Données de forage

Tous les forages répertoriés dans le cadastre ont été pris en compte et interprétés en classes de sols de fondation selon les recommandations de Maroyaz et al (2016). Un attribut de plausibilité (faible, moyen, élevé) a également été indiqué afin de pondérer la fiabilité du relevé de forage ainsi que son interprétation. La plausibilité a été attribuée comme suit :

- Elevée : pour les forages : comprenant des essais SPT (test de compacité du sol), étant de classe F ou si le socle est identifié dans les 20 premiers mètres
- Moyenne : pour les forages levés par des bureaux de géologue et dont la lithologie est clairement décrite
- Faible : pour les forages uniquement décrits par des entreprises de forage

Au final, environ 1020 forages (tableau 1) ont été analysés pour Sembrancher et un certain nombre de forage n'ont pas été considérés de par leur faible profondeur et leur nature (ex sondage géologique de faible profondeur).

	Plausibilité		
	élevée	moyenne	faible
<b>Sembrancher</b>	24%	52%	24%

**Tableau 1** : Répartition en pourcent de la plausibilité des forages pour Sembrancher.

### 7.2.2 Cartes géologiques

Les cartes géologiques au 1 :25'000 de Sembrancher (1983) donnent les informations principales pour une première interprétation en carte de sols de fondation. Elles peuvent même être traduites directement en classes de sols de fondation à partir de la légende pour les cas simples comme les zones d'affleurement rocheux (classe A) et les dépôts paludéens (classe F). Cependant, une telle systématique ne peut être mise en place pour l'ensemble des lithologies.

### 7.2.3 Données historiques

#### 7.2.3.1 Carte topographique historique

La carte de l'Atlas Dufour de 1845 au 1 :100'000 a été prise en compte pour la carte de Sembrancher, afin d'affiner la délimitation des anciennes zones marécageuse et des anciens cours du Rhône dans la

région de plaine qui correspondent généralement à des classes de sols de fondation de type « D » et « F ».

### 7.2.3.2 Précédentes études

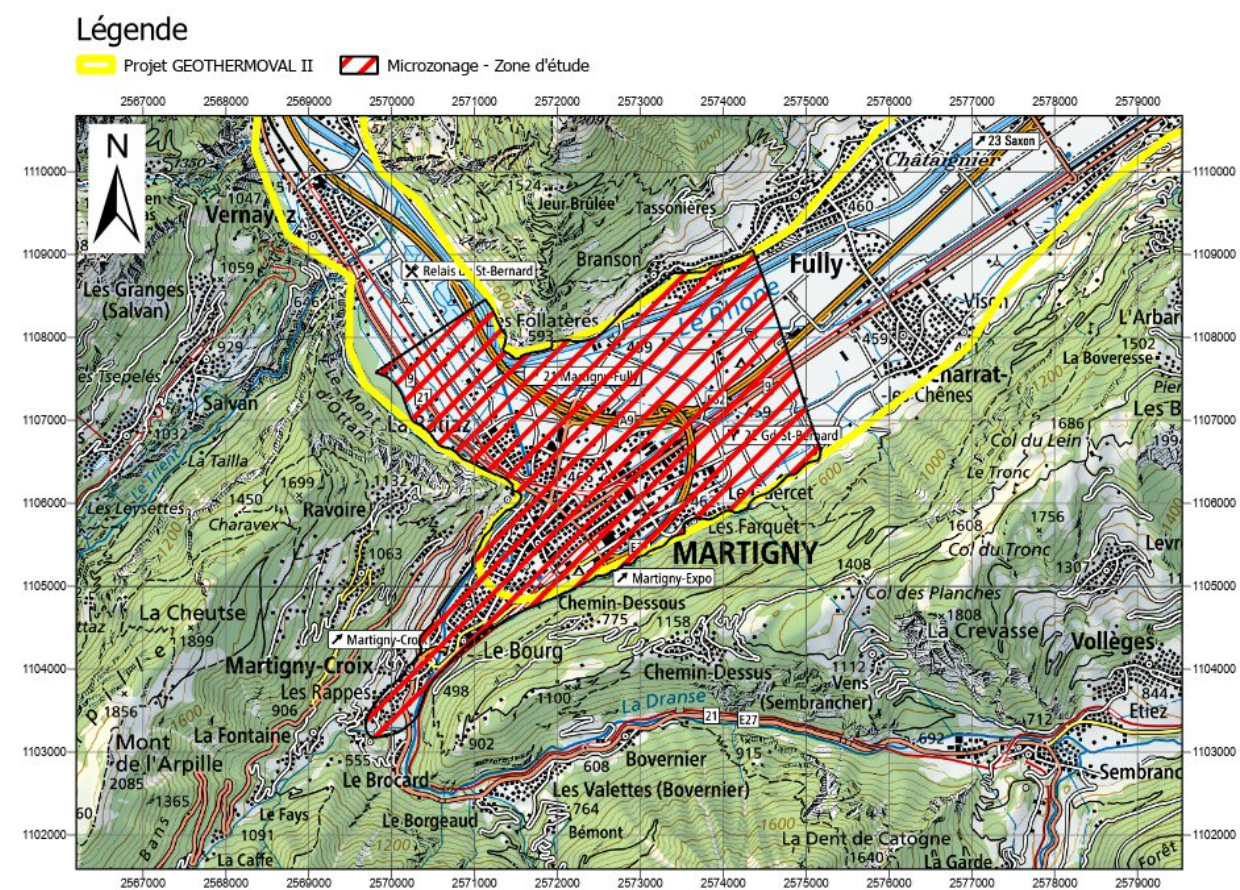
Les informations issues de la carte des sols de fondation réalisée en 2004 et révisée en 2008 dans le secteur de Sembrancher ont été conservées lorsqu'aucune nouvelle donnée ne permettait une réinterprétation des zones concernées.

### 7.2.3.3 Etudes locales

Dans le secteur de Sembrancher, un projet a été mené pour obtenir une meilleure définition de la profondeur du toit du rocher (figure 2) :

- Le projet GEOTHERMOVAL II (<https://crealp.ch/geothermoval-ii/>) où la profondeur du bedrock dans la plaine du Rhône a été estimée.

Ces 3 projets ont contribué à affiner les données relatives à la profondeur du substrat rocheux dans la région de Sembrancher.



**Figure 2 :** Localisation de la zone d'étude de ce travail (en rouge) et du périmètre d'étude du projet GEOTHERMOVAL II (en jaune).

## 7.3 Méthodologie

### 7.3.1 Norme SIA 261 et attribution des classes de sol

La norme SIA 261 établit six catégories distinctes de sols de fondation en se basant sur diverses caractéristiques du sous-sol, telles que la nature lithologique (figure 3), la granulométrie, l'épaisseur des strates non consolidées (figures 4 et 5), la vitesse de propagation des ondes de cisaillement sur les premiers 30 mètres et la densité des matériaux (tableau 2 et figure 4). Ces descriptions ainsi que les valeurs indicatives des paramètres géotechniques associés sont utilisées pour déterminer à quelle classe (de A à F) appartient un sol de fondation spécifique.

Classe de sol de fondation	$V_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPT}$	$S_u$ [kPa]	Description
A	>800	-	-	Rocher ou formation géologique analogue avec une couverture de terrain meuble d'au plus 5 m d'épaisseur en surface.
B	500–800	>50	>250	Dépôts de sable et gravier très compact ou d'argile très ferme, d'une épaisseur d'au moins quelques dizaines de mètres caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur.
C	300–500	15–50	70–250	Dépôts de sable et gravier moyennement compact à compact ou d'argile ferme, d'une épaisseur de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres.
D	<300	<15	<70	Dépôts de terrain meuble non cohésif lâche à moyennement compact (avec ou sans couches cohérentes molles), ou à prédominance de terrain meuble cohésif de consistance molle à moyenne.
E	-	-	-	Couche superficielle de terrain meuble avec des valeurs de $v_s$ correspondant à la classe C ou D et d'une épaisseur comprise entre 5 m et 20 m reposant sur un matériau avec une valeur de $v_s > 800$ m/s.
F	-	-	-	Dépôts à structure sensible, organiques et très mous (p. ex. tourbe, craie lacustre, argile molle) avec une épaisseur supérieure à 10 m.

$N_{SPT}$  Nombre de coups pour un enfoncement de 0,3 m dans l'essai de pénétration standard

$s_u$  Cohésion apparente non drainée

$V_{s,30}$  Vitesse moyenne des ondes de cisaillement jusqu'à une profondeur de 30 m

**Figure 3:** Classes de sols de fondation d'après la norme SIA 261 révisée en 2014 (Source : Mayoraz et al., 2016 : 26).

Parmi ces caractéristiques, la vitesse de propagation des ondes de cisaillement est l'élément prédominant pour évaluer l'amplification du signal sismique par le sol de fondation local. Par conséquent, les descriptions lithologiques et les valeurs des paramètres géotechniques énumérées dans la figure 3 correspondent aux types de sols qui généralement présentent des niveaux de vitesse de propagation des ondes de cisaillement similaires.

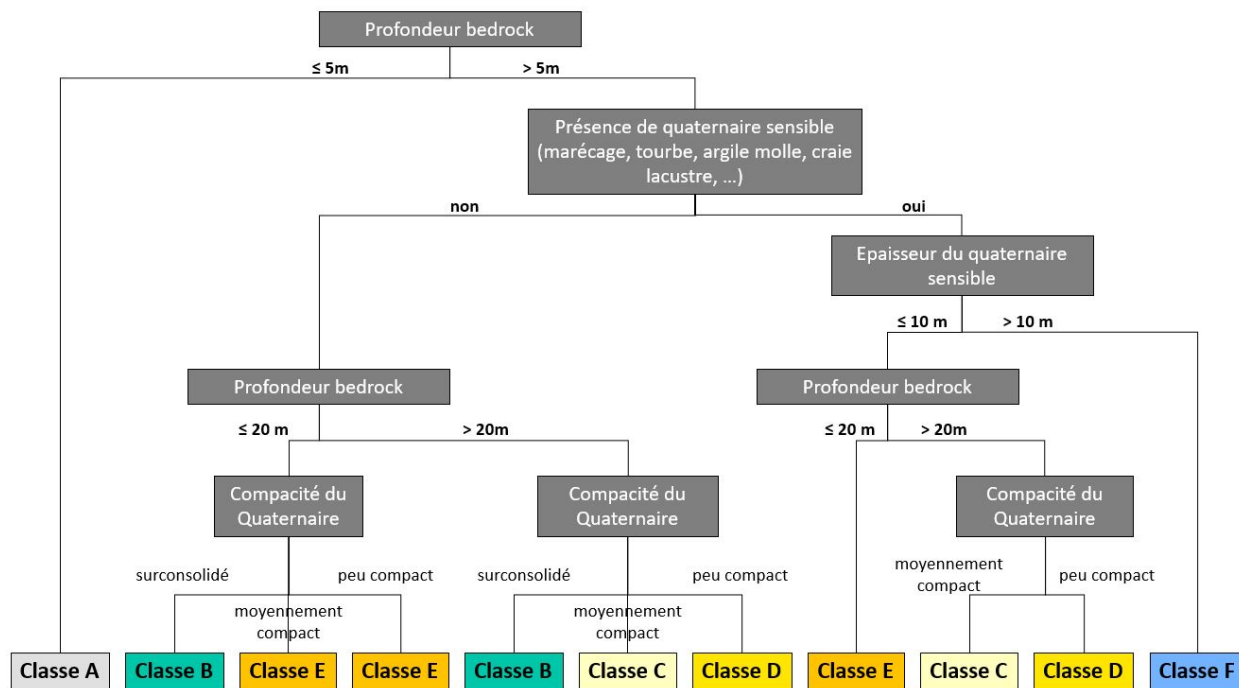


Figure 4 : Arbre de décision pour l'attribution d'une classe de sols de fondation utilisé dans ce travail.

Concrètement, la conception d'une carte de classes de sols de fondation se base principalement sur la carte géologique. Pour les cas simples, les classes peuvent directement être traduites par la légende de la carte géologique. C'est le cas notamment pour les zones où le socle rocheux affleure (classe A), mais aussi pour les marais et les tourbières (classe F). Dans beaucoup de situations, la complexité et l'hétérogénéité du sol en profondeur compliquent la tâche de classification. Il s'agit alors d'attribuer la classe la plus représentative de la lithologie dominante dans les 20 à 30 premiers mètres. Pour faciliter le travail d'attribution, une transcription de la légende de la carte géologique en classes de sols de fondation a donc été établie pour les cartes de Sembrancher (tableau 2). Ce tableau prend en compte la nature lithologique des couches, leur épaisseur ainsi que leur compacité estimée.

Lithologie	Épaisseur estimée	Compacité estimée	Classe de sols
Bedrock			A
Alluvions - Vallée latérale - Plaine du Rhône	> 20 m > 20 m	moyenne moyenne (sable/gravier) ou faible (inondation, sable fin/limon)	C C ou D
Dépôts artificiels	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Dépôt d'éroulement	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Dépôt glaciolacustre <sup>1</sup>	> 20 m	moyenne	C
Dépôt d'avalanche <sup>2</sup>	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Dépôt mixte	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Dépôt paludéen			F
Dépôt torrentiel - zone de départ - zone d'accumulation	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C

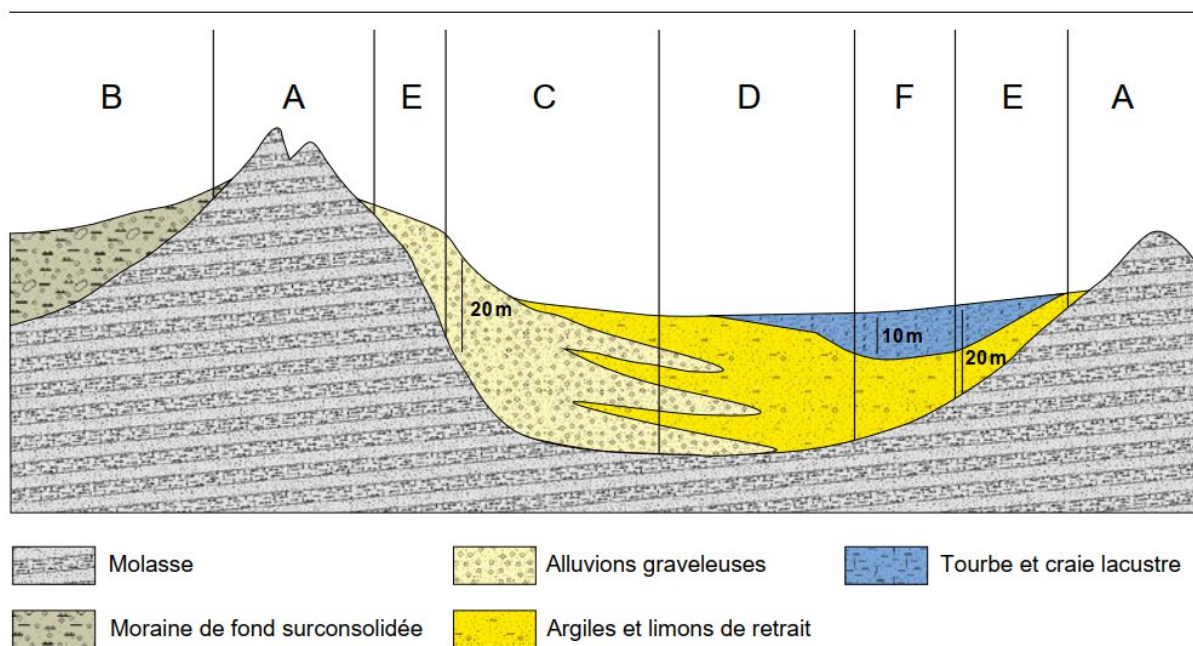
Glacier rocheux			-
Masse de roche tassée	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C
Masse glissée	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C
Moraine	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C
Sédiment fluvioglaciaire	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C
Tuf calcaire	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Eboulis	5 m < E < 20 m	moyenne	E
Roche meuble	5 m < E < 20 m > 20 m	moyenne moyenne	E C

**Tableau 2** : Tableau de classification utilisé pour ce travail.

Par la suite, la carte des sols de fondation a été modifiée manuellement en prenant en compte toutes les données de base disponibles. Une attention particulière a été accordée aux zones de construction bénéficiant d'un plus grand nombre d'informations (forages, modélisations du bedrock), ce qui a permis d'effectuer une analyse plus précise.

De plus, pour garantir une transition logique entre les classes A et les classes C et D en termes de profondeur du toit du bedrock, des zones de classe A ont été entourées d'une zone tampon ("buffer") d'au moins 15 mètres, avec une attribution de "classe E".

Enfin, une étape finale de nettoyage des données géospatiales a été entreprise sur QGIS pour éliminer toutes les erreurs topologiques (trous, chevauchements, géométries invalides, etc.) qui ont pu être générées lors des modifications manuelles. Les polygones de surface inférieure à 50 mètres carrés ont également été supprimés pour assurer une représentation à l'échelle 1:25'000.



**Figure 5** : Illustration de la détermination des classes de sol de fondation (source : Mayoraz et al., 2016).

## 7.3.2 Processus de généralisation des cartes

### 7.3.2.1 Marche à suivre

Sur la carte que nous avons élaborée, nous remarquons que les différentes classes de sols sont représentées avec une complexité excessive sur des grandes surfaces en dehors des zones constructibles. Cette représentation donne une impression de « fausse précision » et est due au fait que ces cartes des sols de fondation se basent principalement sur les cartes géologiques.

Avec pour objectif de généraliser ces cartes tout en préservant intact les zones à bâtir et les zones sensibles (classe F), nous proposons un processus de simplification qui peut être résumé par la liste d'étapes suivante :

- 1) Définir les zones à protéger (zone à bâtir, polygone de classe F) et les exclure du processus de simplification.
  - a. Créer une nouvelle classe d'attribut pour les zones à exclure, outil : « *Créer une classe d'entités* » sur ArcGIS Pro.
  - b. Dans cette nouvelle couche, construire les polygones manuellement en faisant attention à ce qu'ils couvrent bien toutes les zones constructibles et qu'ils ne créent pas de géométrie complexe lorsque nous allons les découper. Pour cette étape, il faut garder à l'esprit qu'après les processus de simplification, nous allons fusionner ces surfaces avec la carte généralisée.
  - c. Découper dans la carte des sols de fondation les zones à exclure, de sorte à avoir deux classes d'entité distincte : une couche contenant les polygones à préserver, et l'autre contenant les polygones à simplifier.
- 2) Éliminer les polygones dont la surface est inférieure à 5 000 m<sup>2</sup>.
  - a. Dans la couche à généraliser, sélectionner dans la table d'attribut tous les polygones inférieurs à 5 000 m<sup>2</sup>. Puis, à l'aide de l'outil « éliminer » sur ArcGIS Pro, nous allons fusionner ces polygones sélectionnés avec ceux qui partagent la plus grande arête en commun. Par exemple, un polygone de classe A qui se trouve au milieu d'un de classe E sera alors fusionné avec ce dernier. Sachant que nous ne voulons pas affecter les surfaces de la classe F, nous pouvons paramétrer l'outil de sorte à exclure du processus ces polygones.
- 3) Rasterisation avec une résolution de 5 mètres et passage d'un filtre majoritaire pour lisser les structures.
  - a. Rasteriser la couche précédente avec une résolution de 5 mètres, outil : « *polygones vers raster* » sur ArcGIS Pro.
  - b. Appliquer un « filtre majoritaire » sur ArcGIS Pro qui permet de lisser et simplifier les polygones aux structures trop fines ou complexes (outil : « filtre majoritaire »). Pour optimiser le processus, il faut définir les paramètres de l'outil comme suit :
    - i. Nombre de voisins à utiliser : huit
    - ii. Seuil de remplacement : demi
- 4) Fusion et harmonisation entre la couche simplifiée et celle préservée.
  - a. Vectoriser la couche raster généralisée, outil : « *raster vers polygones* » sur ArcGIS Pro.
  - b. Fusionner la couche vectorisée généralisée et celle des zones à préserver. Pour ce faire, il suffit de copier-coller les polygones d'une couche à l'autre, tout s'assurant que les deux tables d'attributs ont le même champ d'attribut pour les classes.
  - c. Harmoniser et finaliser la fusion entre les deux couches au niveau des zones de jonction.
- 5) Correction topologique du produit final (QGIS, outil : « correcteur de topologie »).
  - a. Pas de doublons.

- b. Pas de trous.
- c. Pas de superposition.
- d. Pas de géométrie invalide.
- e. Pas de polygones inférieur à 10 m<sup>2</sup>
- f. Pas de géométrie multi-parties (entité séparée en plusieurs polygones)

### **7.3.2.2 Analyse statistique**

Nous avons réalisé une analyse statistique pour évaluer la proportion de surface ayant subi des modifications suite aux processus de simplification, ainsi que la nature de ces changements, qu'ils aient entraîné une élévation ou une réduction de la classe attribuée. Pour ce faire, nous suivons une marche à suivre qui peut être résumée par les points suivants :

- 1) À partir des rasters d'avant et d'après les processus de généralisation, nous allons reclassifier les entités pour numériser les valeurs des classes (A->1, B->2, ..., F->6), outil : « reclassifier ».
- 2) En utilisant l'outil « raster calculator », on soustrait ces couches précédentes l'une à l'autre. On obtient alors un raster des changements de classe. Les valeurs négatives correspondent à un passage d'une classe supérieure à inférieure (ex. A -> C) et, à l'inverse, les valeurs positives à un changement d'une classe inférieure à supérieure (ex. E -> A). Les valeurs nulles signifient qu'aucun changement de classe n'a eu lieu.
- 3) On peut ensuite simplement calculer le pourcentage de valeurs nulles, positives et négatives.

## **7.4 Résultats**

### **7.4.1 Finalisation de la carte de sols de fondation de Sembrancher**

#### **7.4.1.1 Contexte géologique de la zone d'étude et classe**

Ce bassin a été principalement rempli par des dépôts alluviaux, plus ou moins fin, liés à la présence du Rhône. Ces couches sédimentaires reposent sur des dépôts : deltaïques composés de sable et de graviers limoneux, lacustres composés de sable et de limon argileux, et glaciaires composés de blocs, de gravier et de sable. De par le type de dépôts et la profondeur du socle connu grâce aux résultats du projet Géothermoval II, les classes de sols de fondation les plus fréquentes sont C, D et F ; la classe E n'étant que présente là où le bedrock est peu profond (< 20 mètres), ce qui n'est presque jamais le cas dans la plaine du Rhône.

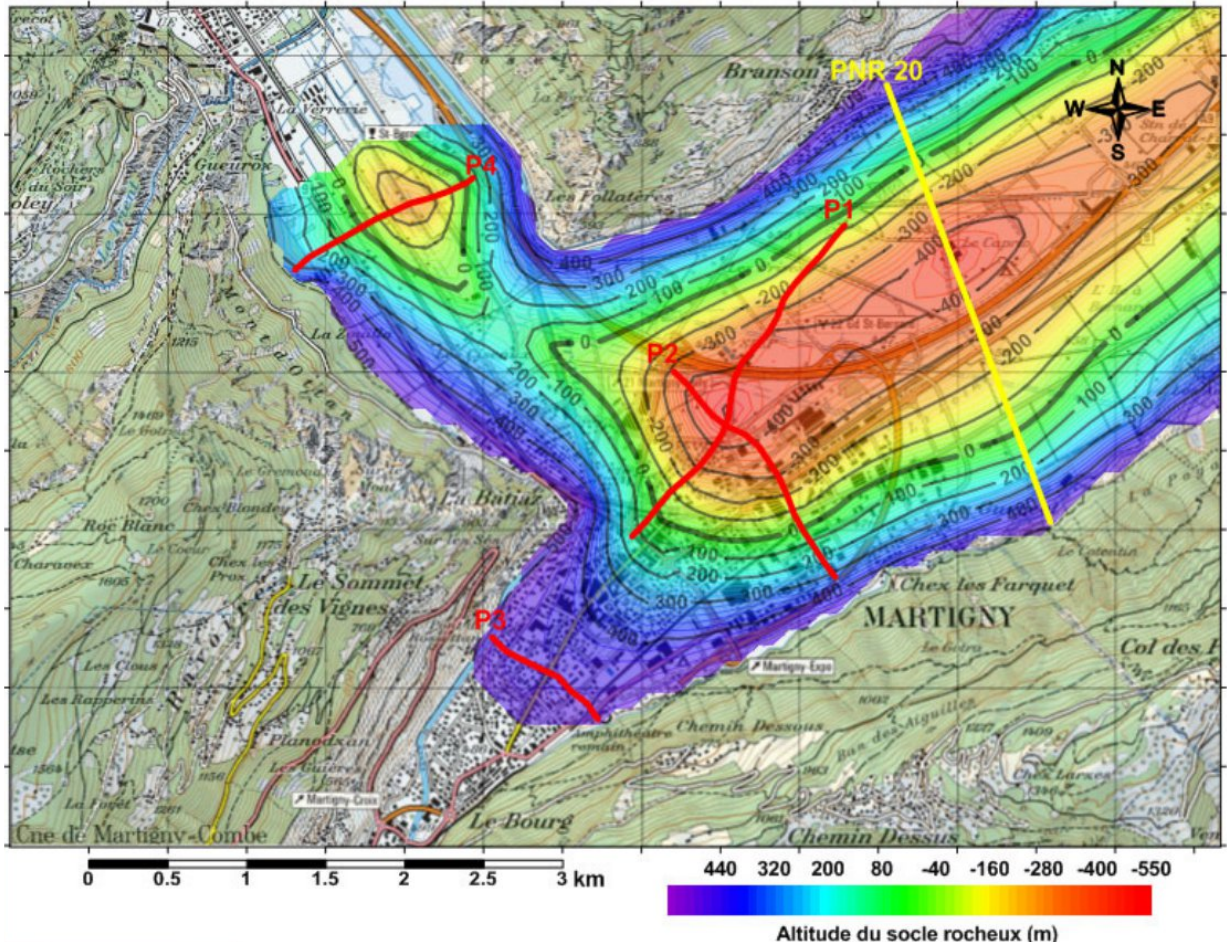


Figure 6 : Modélisation de la profondeur du bedrock selon le résultat du projet Geothermoval II.

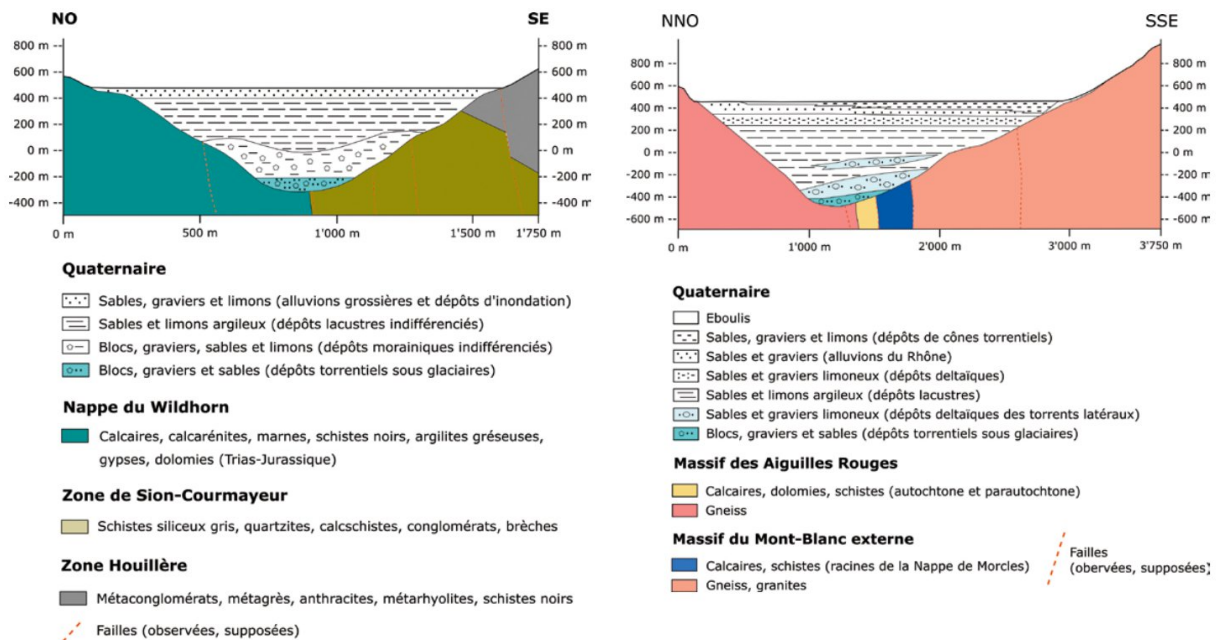
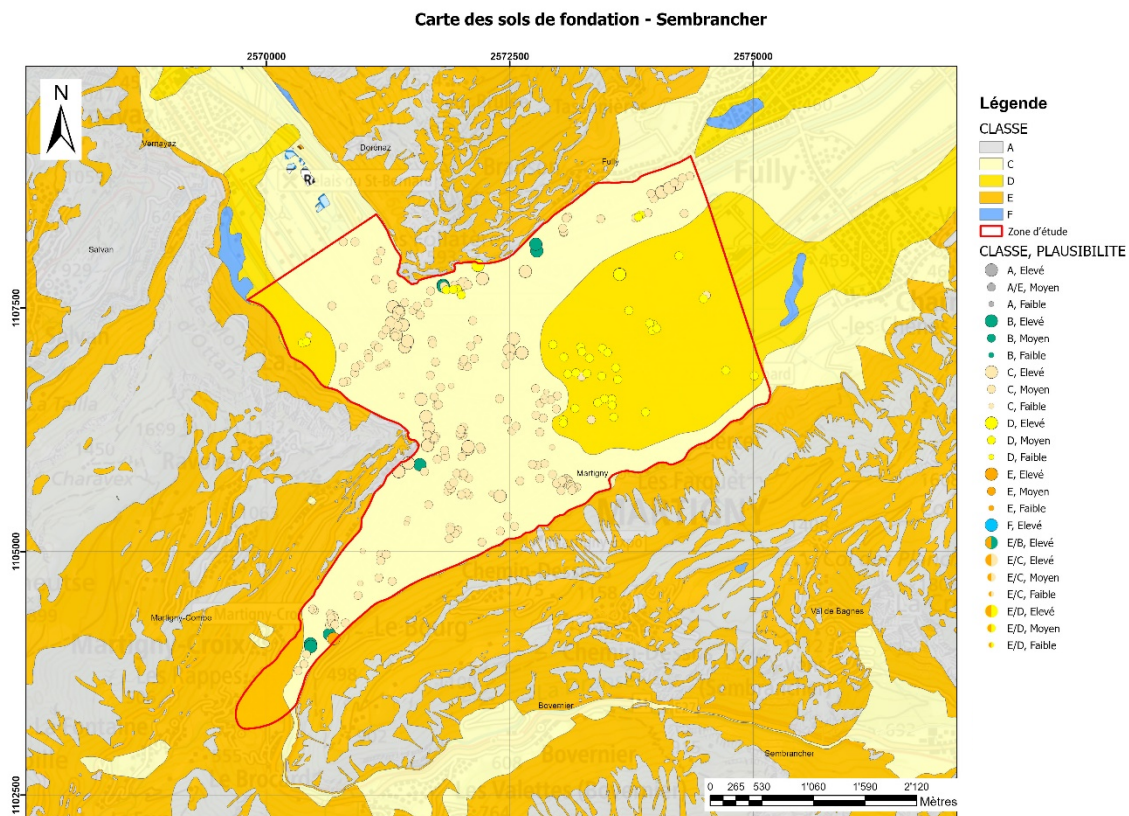


Figure 7 : À gauche, coupe géologique passant par Vétroz. À droite, coupe géologique passant par Martigny-Fully. Résultat extrait du projet Geothermoval II (coupes de Mario Sartori).



#### 7.4.1.2 Dépôts sensibles de classe F

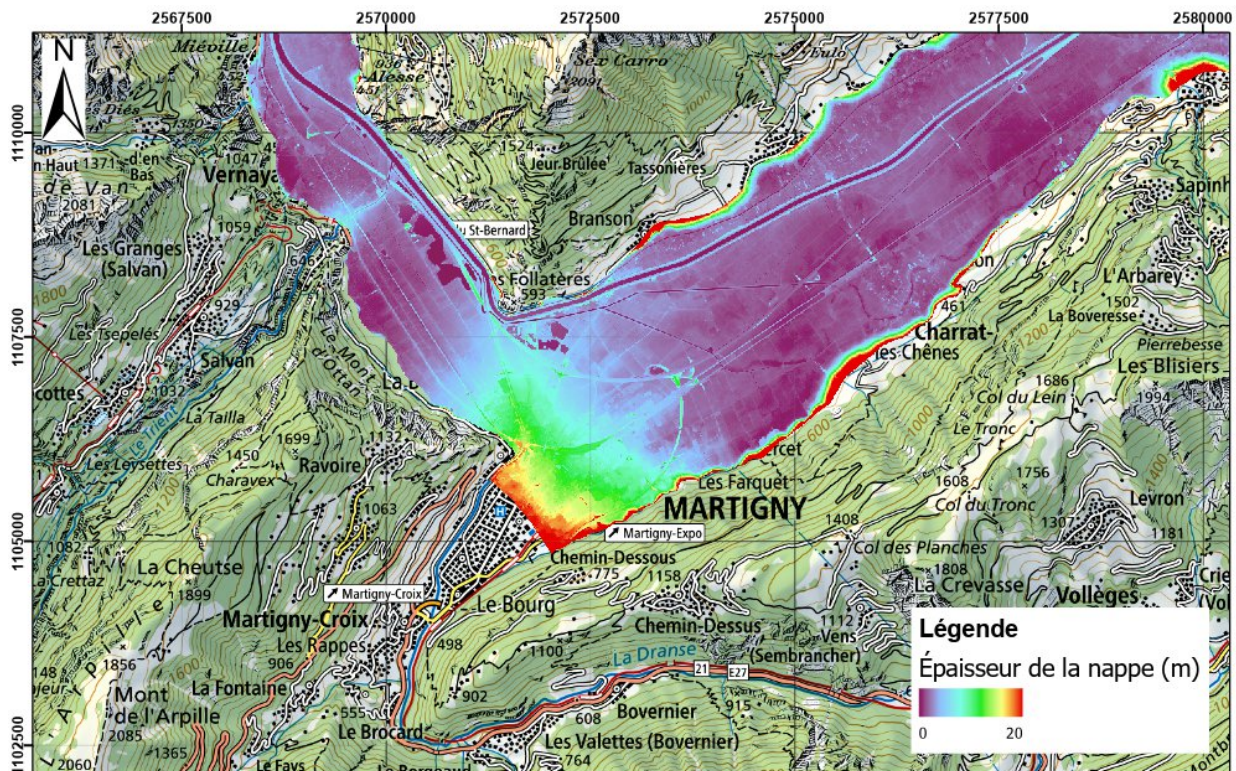
La classe F ne représente qu'une surface mineure par rapport à la totalité de la zone d'étude (figure 2), mais elle demeure très importante à définir, car c'est la classe la plus sensible en cas de tremblement de terre. Composée de dépôts marécageux, on y trouve principalement des argiles molles ou de la tourbe. Ces zones sont décrites par les cartes géologiques de la région datant de 1983, par des forages ou encore par les cartes Dufour, qui référence l'ancien tracé du Rhône ainsi que les surfaces marécageuses associées. Cependant, bien qu'indiqués sur les cartes, la présence de ces entités n'est que peu attestée par des forages, il y a donc une grande incertitude sur leur présence. Par principe de précaution, nous avons toutefois signalé ces zones malgré la faible certitude de leur existence (figure 8).



**Figure 8 :** Carte des sols de fondation pour la zone d'étude de ce travail (en rouge).

#### 7.4.1.3 Dépôts d'inondation de classe D

La classe D est ici corrélée à la présence d'importantes couches de limon associées aux dépôts de plaine d'inondation qui suivent le tracé actuel et passé du Rhône. La présence de ces couches est clairement attestée par de nombreux forages, cependant la délimitation exacte de ces zones n'est pas certaine. De plus, la continuité de ces couches d'alluvions fines est interrompue par la présence du cône de déjection de la Dranse (figure 9). Ces alluvions plus grossières prennent le dessus sur ces dépôts limoneux, faisant ainsi passer les zones de la classe D à C.



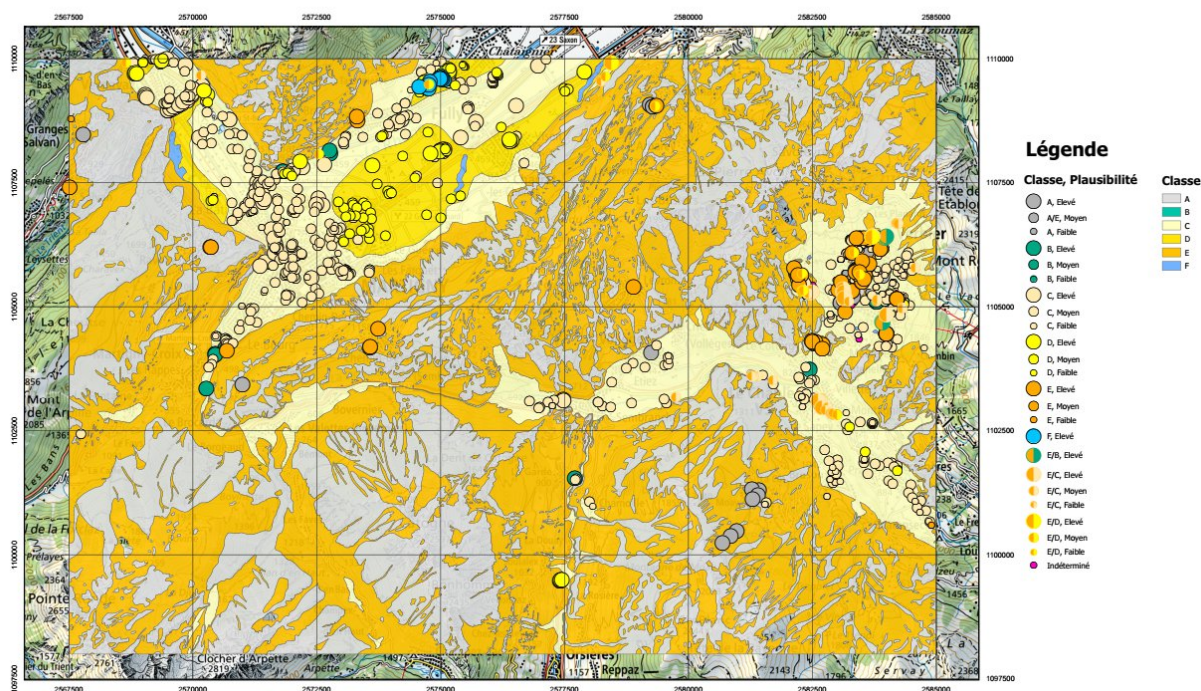
**Figure 9 :** Interprétation du cône de déjection déduite à partir d'une carte de l'épaisseur de la nappe phréatique.

#### 7.4.1.4 Dépôts de classe C et E

La classe C est la plus présente dans la zone étudiée, il s'agit de dépôts alluviaux plus ou moins grossiers, composés principalement de sable et de gravier, dont la source vient soit du Rhône soit de la Dranse. En cas d'absence de test SPT sur les forages, ces dépôts sont estimés de compacité moyenne et donc catégorisé en classe C si le toit du bedrock se trouve au moins à 20 mètres de profondeur. En revanche, si elle est inférieure à 20 mètres, la classe E est attribuée. Pour la grande majorité de la plaine du Rhône, où l'épaisseur des dépôts alluviaux est de l'ordre de plusieurs centaines de mètres, la classe C est assignée.

### 7.4.1.5 Carte des sols de fondation

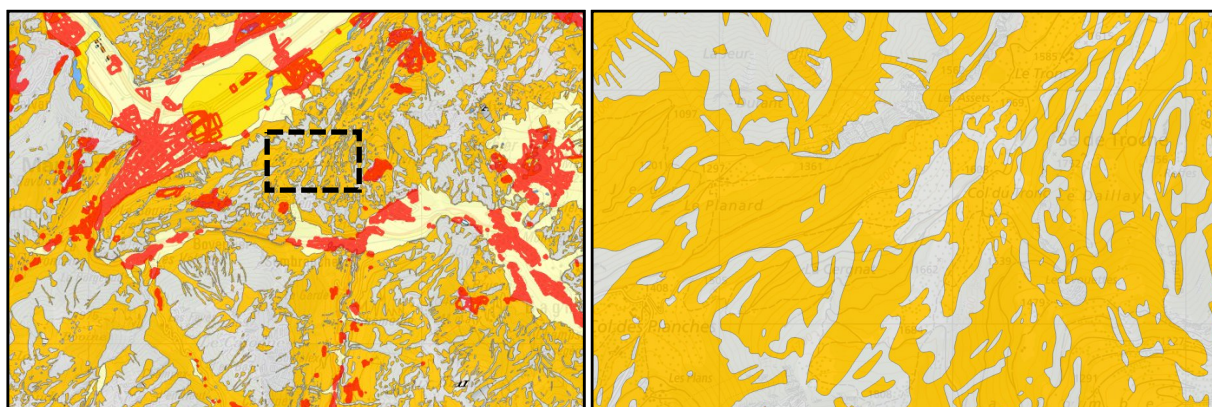
#### Carte des sols de fondation - Sembrancher



**Figure 10 :** Carte des sols de fondation pour Sembrancher finalisée et actualisée avec les forages et leur classe attribuée.

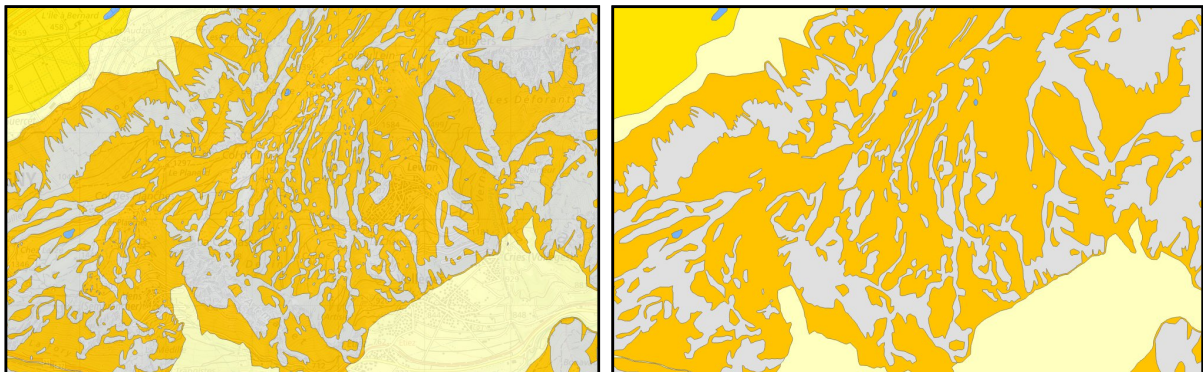
### 7.4.1.6 Processus de généralisation

Une fois la carte de sols de fondation terminée, nous allons maintenant appliquer le processus de généralisation décrit dans la méthodologie. En effet, nous observons que des surfaces étendues hors zone à bâtir comportent une complexité excessive dans la morphologie des polygones sur la majorité de la surface de la carte (figure 11). Cela est dû au fait que cette carte se base principalement sur les cartes géologiques (1 :25'000).



**Figure 11 :** À gauche, carte des sols de fondation pour Sembrancher actualisée, avec les surfaces des zones à bâtir superposées (en rouge). À droite, un exemple des surfaces complexes hors zone à bâtir que nous cherchons à simplifier, le zoom correspond à l'encadré en trait tillé noir sur la carte de gauche.

Ces zones à bâtir, tout comme les zones de classe sensible (F), seront des surfaces où le degré de précision doit être préservé dans le processus de généralisation. Elles seront alors découpées et extraites avant de réaliser les opérations de simplification puis réintégrées.

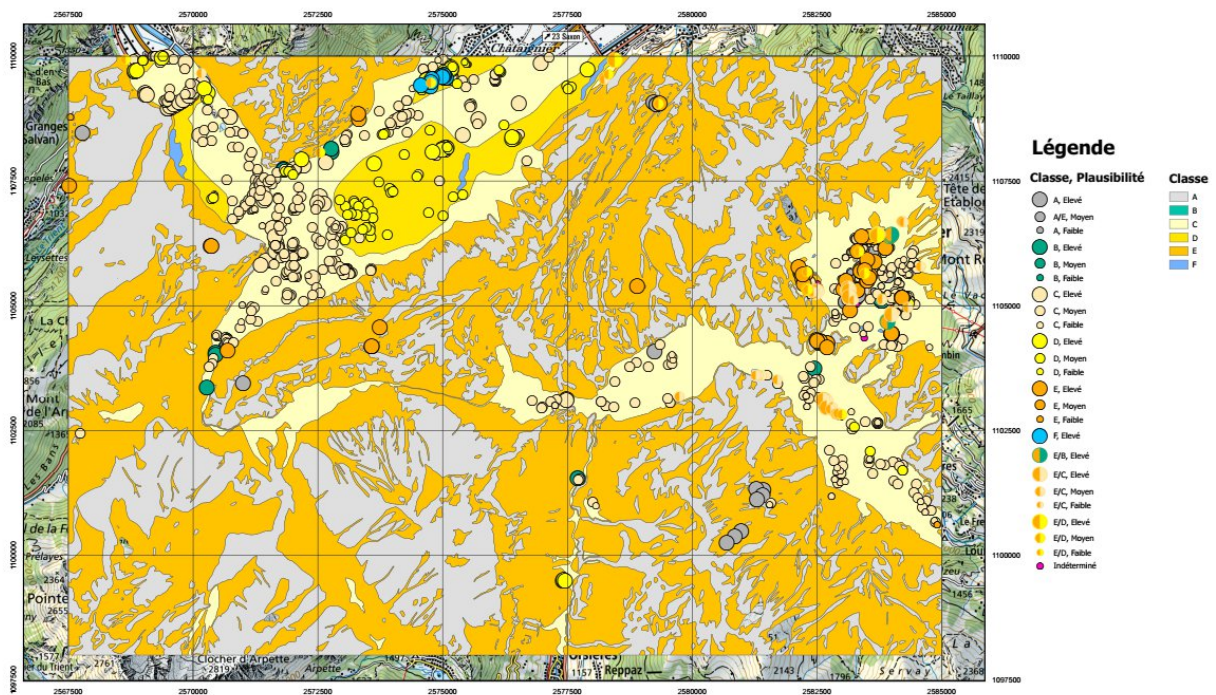


**Figure 12 :** À gauche, une zone extraite de la carte originale. À droite, la même zone après application du processus de généralisation.

Sur la figure 12 et 13, nous constatons que les processus de généralisation ont porté leur fruit. Une fois le processus terminé, nous allons réaliser une analyse statistique quantitative et qualitative des changements d'attribution de classe lors du processus de simplification. Cette analyse s'est faite à partir de simples opérations sur la calculatrice raster entre la couche original et simplifiée après rastérisation. Nous constatons que 3.6 % de la surface totale a connu des changements de classe :

- 1.5 % ont été reclassés d'une classe inférieure à supérieure (exemple, de E à A).
- 2.1 % ont été reclassés d'une classe supérieure à inférieure (exemple, de A à E).

### Carte des sols de fondation généralisée - Sembrancher



**Figure 13 :** Carte des sols de fondation après processus de généralisation avec les forages et leur classe attribuée.

#### **7.4.2 Publication des cartes**

Une fois les données prêtes, sous la demande du canton, elles seront livrées sous forme d'un geopackage contenant les cartes mais aussi les données de forages ainsi que la zone d'étude. Puis, elles devront être validées avant d'être publiées pour être accessibles aux utilisateurs.

#### **7.5 Références**

CREALP (2004). Projet SISMOVALP – Interreg III B. Microzonage sismique de la vallée du Rhône entre Brig et le Léman. Cartographique 1 : 25'000 des sols de fondation selon classification de la norme SIA 261. Rapport N° CREALP/04.03, 09 mars 2004

Mayoraz J., Lacave C., Duvernay B. 2016: Séismes: Cartes de classes de sols de fondation. Réalisation et utilisation. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1603: 48 p..

## **8 Partie V – Conclusions, perspectives et déroulement du stage**

---

### **8.1 Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123**

Bien que les formulaires soient terminés, il faut rappeler que leur réalisation est un processus itératif et évolutif. Les formulaires vont maintenant être testés sur le terrain et les retours des divers utilisateurs permettront leur amélioration. De plus, il reste encore des formulaires papiers qui devront être informatisés sur Survey123, c'est le cas du formulaire de maintenance des stations de mesure des sources qui sera réalisé selon le même processus au printemps 2024.

Un autre axe de travail concerne toutes les données qui seront émises lors de la complétion des formulaires. La gestion de la base de données qui contiendra toutes les saisies actualisées des opérateurs de terrain sera le sujet d'un futur travail. À cela s'ajoute également la valorisation de toutes ces données, qui pourraient être utilisées par exemple à des fins statistiques ou par exemple pour améliorer les futures campagnes de maintenance.

### **8.2 Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues**

Dans la continuité de ce projet, le même travail pourra être réalisé pour d'autres cartes de danger de crues. C'est le cas du torrent de Saxé à Fully, de divers torrents à Vérossaz ou encore du torrent du Péterey dans le val d'Anniviers.

### **8.3 Cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais**

Pour ce projet, les bassins versants étudiés ont été sélectionnés par la présence de laves torrentielles notifiées dans le cadastre. Le cadastre étant actualisé en continu, si un futur événement a lieu dans un bassin versant pas encore défini, la même méthodologie pourra être appliquée pour ce nouveau secteur. Dans un but de validation du modèle, nous pourrions également imaginer identifier les laves torrentielles avec des images satellites, étudier leur distribution spatiale et la comparer avec nos résultats.

### **8.4 Cartes de classes de sols de fondation – actualisation de la carte de Sembrancher et processus de généralisation**

Au vu des nouvelles normes SIA 261 concernant les cartes de sols de fondation et de l'actualisation permanente du cadastre des forages, d'autres cartes de sols de fondation du canton du Valais pourraient être amenées à être actualisées, comme cela a été le cas pour la carte de Sembrancher et de Vissoie. Le CREALP pourrait être mandaté par le canton pour leur réalisation. De plus, le processus de généralisation qui sera prochainement présenté au canton, devra être évalué et validé, et selon les discussions, une modification du degré de généralisation de ces cartes sera à mener.

### **8.5 Déroulement du stage**

La première journée au CREALP a commencé par le tour des bureaux accompagné du directeur, une première rencontre des collaborateurs et l'installation à ma place de travail. Puis, j'ai assisté à diverses présentations des projets du CREALP avec un accent sur ceux auxquels j'allais participer. Les premières tâches me sont alors attribuées et des discussions avec les chefs de projet ont lieu régulièrement pour faire le point sur l'avancement du travail et pour me former sur les outils utilisés. Avec le temps, j'obtiens de plus en plus d'autonomie et lorsque je rencontre une difficulté, je peux simplement chercher de l'aide vers un collaborateur qui se rendait volontiers disponible pour me partager ses connaissances et me conseiller. Tous les mois, un rendez-vous avec le directeur était planifié pour faire le point sur

l'avancement du stage et pour adapter le cahier des charges en fonction de la quantité de travail requis pour chaque projet.

## 9 Réalisations concrètes

---

Les différents produits réalisés pour ce mémoire et listés ci-dessous sont confidentiels. Des demandes de renseignement peuvent être effectuées par email auprès de M. Pascal Ornstein, du CREALP (email : Pascal.ornstein@crealp.vs.ch)

Projet I - Numérisation de formulaires de maintenance sur le logiciel ESRI Survey123 :

- 1) Numérisation sur ArcGIS Survey123 d'un formulaire papier pour la surveillance quantitative de la nappe phréatique de la plaine du Rhône en Valais.
- 2) Numérisation sur ArcGIS Survey123 d'un formulaire papier pour la planification de la maintenance de piézomètre.

Projet II - Contrôle qualité et informatisation de cartes de danger de crues, Canal Sion-Riddes et Canal des Iles :

- 1) Vérification des géodonnées de cartes de danger et d'intensité pour le Canal Sion-Riddes et le Canal des Iles.
- 2) Corrections topologiques des géodonnées.
- 3) Informatisation des géodonnées sur la base de données cantonale.

Projet III - Système d'alerte de laves torrentielles, cartographie et quantification des zones susceptibles de déclencher des laves torrentielles sur le canton du Valais :

- 1) Création d'un raster binaire des dépôts lithologiques susceptible de déclencher une lave torrentielle (1 = présence de dépôts mobilisables, 0 = absence).
- 2) Création d'un raster binaire de densité forestière (1 = surface terrière inférieure ou égale à 30 m<sup>2</sup>/ha, 0 = surface terrière supérieure à 30 m<sup>2</sup>/ha)
- 3) Création d'un raster binaire de pente (1 = pente supérieure ou égale à 25 °, 0 = pente inférieure à 25°)
- 4) Création d'un raster binaire des surfaces susceptibles de déclencher une lave torrentielle selon le raster de pente et des dépôts lithologiques (1 = surface susceptible, 0 = surface non-susceptible).
- 5) Création d'un raster binaire des surfaces susceptibles de déclencher une lave torrentielle selon le raster de densité forestière et des dépôts lithologiques (1 = surface susceptible, 0 = surface non-susceptible).
- 6) Création d'un raster binaire des surfaces susceptibles de déclencher une lave torrentielle selon le raster de densité forestière, des dépôts lithologiques et de pente (1 = surface susceptible, 0 = surface non-susceptible).
- 7) Création d'une couche vectorielle contenant tous les bassins versants où au minimum une lave torrentielle a été notifié dans le cadastre des événements. Création d'un champ où sont définis les noms (ID) de chaque bassin versant.
- 8) Création d'une couche vectorielle contenant toutes les laves torrentielles extraites du cadastre. Création d'un champ reliant chaque événement au nom (ID) du bassin versant correspondant.

Projet IV - Cartes de classes de sols de fondation, Actualisation de la carte de Sembrancher et processus de généralisation :

- 1) Réalisation de la carte de classes des sols de fondation pour la zone où a été réalisé un microzonage sismique sur le secteur de Sembrancher.
- 2) Développement d'un processus de traitements SIG pour généraliser les cartes de classes de sols de fondation.



- 3) Finalisation (correction topologique, nettoyage et mise en forme des tables d'attributs des cartes produites par le CREALP pour le secteur de Sembrancher et de Vissoie.
- 4) Préparer un geopackage contenant les zones d'étude, les forages avec leur interprétation en classes de sols de fondation et les deux cartes correspondantes.