**Titre**  
Bonjour, je vais vous parler de mon Bachelor dont le thème est la génération automatique de support de frittage pour impression SG-3DP.

**Sommaire**  
Je vais d’abord vous parler des objectifs de ce travail de Bachelor. Puis, je présenterai le format des fichiers 3D. Je parlerai ensuite des logiciels Meshmixer et Blender que j’ai utilisé. Après ça, je vous expliquerai les fonctionnalités du logiciel et je vous montrerai les résultats obtenus. Finalement, je finirai cette présentation par une conclusion.

**Objectifs**  
Le groupe technologie des poudres de la HES-SO Valais est spécialisé dans la technique d’impression 3D « Solvent on Granules ». Ce procédé consiste à déposer sélectivement un agent liant pour joindre des particules de poudre ou des granulés (agglomérats poudre-liant) et ainsi construire un objet couche par couche. Le développement de cette méthode s’inspire de la technologie « three-dimensional printing ».

Après l’impression des pièces proprement dite, elles sont consolidées par frittage. Le frittage consiste à chauffer les grains de la pièce pour qu’ils se soudent entre eux. Lors de cette opération, les pièces peuvent s’affaisser si elles ne sont pas soutenues par un support adéquat.

Le but de ce projet est donc de réaliser un logiciel effectuant une génération automatique d’un support adapté à la forme de la pièce imprimé. Car actuellement, les pièces sont frittées avec de simples plaques de céramiques frittées usinées qui serve de supports ou sans support.

La figure au tableau montre les étapes pour fabriquer une pièce en 3D avec le logiciel.

1. La première étape permettant d’imprimer une pièce consiste à créer un fichier 3D de cette dernière.
2. Ce fichier 3D est ensuite découpé en tranches 2D pour être converti en instructions pour l’imprimante. La pièce peut ensuite être imprimée en 3D avec la méthode « Solvent on Granules ».
3. Parallèlement, le fichier 3D est également envoyé à un logiciel qui permet de générer un fichier 3D des supports pour l’objet du fichier 3D. Cette étape est réalisée grâce au logiciel créé pour cette thèse.
4. Les supports générés doivent ensuite être fabriqués.
5. Finalement, la pièce est mise dans le four de frittage avec son support pour éviter qu’elle ne s’affaisse.

Les objectifs qui ont été définis pour ce projet étaient

* Etudier et comprendre l’imprimante 3D, son fonctionnement et surtout son contrôle par un fichier « 3D ».   
  Comprendre le format et la structure de ce fichier.
* Proposer / choisir un algorithme capable de déterminer la forme du support en partant de la forme de l’objet à imprimer en 3D.
* Concevoir et implémenter un logiciel qui est capable de créer un fichier « 3D » qui représente le support et qui peut être utilisé pour piloter l’imprimante 3D.
* Tester et optimiser ce logiciel avec des formes simples.
* Etablir une documentation technique et un rapport final du travail réalisé.

**Fichier 3D**Pour ce projet, il a été demandé de travailler avec des fichiers 3D de type STL. Le principe d’un fichier STL est de décrire un objet par sa surface externe. Cette surface est nécessairement fermée et est définie par une série de triangles comme on peut le voir sur l’image de droite. Chaque triangle est défini par son vecteur unitaire normal (n) qui pointe vers l’extérieur de l’objet et par ces 3 sommets (v1, v2, v3) dans un système de coordonnées cartésiennes (x, y, z).

Ces informations sont utiles, car le principe pour développer un algorithme qui génère des supports se base sur les faces de l’objet.

**Conception**Il a été décidé que, sur le logiciel créé, l’utilisateur devait être capable d’importer un fichier STL, puis de générer des supports pour l’objet importé à l’aide de d’options et de finalement d’exporter les supports générés.

L’avantage d’avoir un logiciel qui importe un fichier STL et en exporte un autre est que le programme n’est pas dépendant de l’imprimante SG-3DP et peut ainsi fonctionner avec différentes imprimantes 3D qui ont besoin de faire un frittage aux pièces imprimées.

Pour réaliser ce logiciel, il a été décidé de trouver chercher un programme qui possède des outils de modélisation 3D, afin de générer les supports et qui possède aussi une interface de programmation d’applications (API), L’API permet d’écrire du code, afin d’automatiser des scripts qui vont interagir avec le programme. Le but étant de créer du code pour que l’utilisateur puisse envoyer des événements (avec des boutons ou des touches du clavier) au programme, afin de déclencher des scripts qui vont contrôler les outils du programme et permettre de faire les actions demandées par le « use case ».

La première étape importante du projet était donc de trouver un programme 3D.

**Meshmixer**  
Pour commencer le projet, on m’a proposé d’étudier le logiciel Meshmixer. L’avantage de Meshmixer est qu’il est gratuit et open source. De plus, il possède une api et il est donc possible d’automatiser des scripts. Cependant, après quelques recherches, j’ai trouvé que Meshmixer était assez limité dans ces options et qu’il n’était pas vraiment adapté à la génération de support voulue, comme on peut le voir sur l’image, les supports créés ne sont pas assez stables pour pouvoir être utilisé comme supports de frittage. En plus, Meshmixer n’a plus eu de mise à jour depuis longtemps, la dernière datant du 17 avril 2018. C’est pour ces raisons que j’ai décidé de chercher un autre logiciel.

**Blender**  
Le logiciel que j’ai ensuite testé est Blender. Blender est aussi un logiciel gratuit et open source et il possède aussi une api. Contrairement à Meshmixer, Blender est régulièrement mis à jour et est beaucoup utilisé dans le 3D que ce soit dans la modélisation ou dans le rendu ce qui fait que son api possède beaucoup de fonctionnalités et de modules pour automatiser des scripts. On peut d’ailleurs voir sur l’image de gauche un support réalisé avec Blender qui convient bien mieux que ceux réalisé avec Meshmixer.

Le principe pour avoir ce résultat est de créer des supports verticaux qui partent du plateau. Cela permet d’avoir des supports stables et robustes.

Après avoir réussi à générer ces supports, il a été décidé de développé un panel de contrôle et différentes fonctionnalités afin d’avoir de meilleurs supports sur Blender.

**Blender – API**Comme le montre l’image de gauche, l’API de Blender permet de créer un panel de contrôle. On peut avoir des menus, des boutons qui lancent différents scripts, des labels qui affichent des informations et des sliders qui permettent de régler la valeur de paramètres. Tous les éléments du panel de contrôle ont dû être programmer. L’API de Blender demande de code écrit en Python, et Blender met a créé des modules qui permettent d’appeler automatiquement les outils de Blender en appelant la méthode correspondante du module.

**Fonctionnalités**Je vais maintenant parler des principales fonctionnalités développées pour le logiciel. Pour créer les supports, plusieurs étapes sont nécessaires. L’import de la pièce, le prétraitement de cette dernière, la création des supports, puis leur post-traitement, et finalement l’export de ceux-ci.

**Fonctionnalités - Import/Export**Pour s’occuper de l’import et de l’export, deux boutons ont été créés qui permettent d’ouvrir un explorateur de fichier pour importer et exporter des fichiers STL. De plus, il existe d’autres fonctionnalités qui permettent de connaître le volume de l’objet ou la taille du fichier à exporter grâce à son nombre de faces comme le montre le graphique. Il est utile d’estimer la taille du fichier car les logiciels qui convertissent le fichier STL pour l’imprimante 3D prennent plus de temps plus le fichier est volumineux.

**Fonctionnalités - Prétraitement**Le prétraitement de l’objet qui a besoin de supports consiste à définir l’orientation de l’objet ainsi que son offset en z. Ses options permettent de pivoter la pièce dans tous les sens et de régler sa distance en z par rapport au plan xy et elle peut être positive ou négative.

**Fonctionnalités – Génération (1)**La première chose à faire pour générer les supports et de sélectionner les faces qui ont besoin de supports. Pour cela, J’ai testé trois méthodes.   
La première méthode est la user selection qui permet à l’utilisateur de choisir manuellement les faces qui ont besoin de supports.   
La deuxième utilise la caméra de Blender. Le principe est de placer la caméra sous la pièce et de sélectionner toutes les faces visibles.   
La troisième méthode est le calcul des faces qui utilise les maths pour déterminer les faces qui ont besoin de supports.

J’ai choisi la méthode du calcul des faces car elle est automatique et parce qu’elle est plus fiable que la méthode de la caméra qui ne sélectionne pas toujours toutes les faces voulues. Le principe de cette méthode est de parcourir toutes les faces de la pièce et de sélectionner les faces où l’angle entre le vecteur descendant et le vecteur normal de la face est inférieur à un angle max choisi. Ensuite, pour ces faces sélectionnées, on vérifie aussi qu’il n’y ait pas de faces au-dessous pour que les supports partent du plateau. Par exemple, les faces-là où l’angle calculé est inférieur à l’angle max n’ont pas été sélectionnées car il y a des faces en-dessous.

Le gros défaut de cette méthode est qu’elle peut prendre beaucoup de temps à s’exécuter en python (plusieurs dizaines de minutes selon les pièces). Pour résoudre ce problème, j’ai utilisé le module ctypes de python qui permet dans du code python d’exécuter des fonctions C qui s’exécute plus rapidement que le python. Cela a permis de réduire le temps à quelques secondes.

**Fonctionnalités – Génération (2)**Les supports peuvent maintenant être générés à partir des faces sélectionnées. Pour cela, le script va séparer les faces sélectionnées de l’objet. Puis, il va les extruder vers le bas et couper ce qui se trouve sous le plan xy. Le fond du support est ensuite généré et, enfin, l’objet de base est supprimé pour qu’il ne reste que le support.

Sur cette diapositive, on peut voir le résultat de la génération de supports pour différentes valeurs d’angles max. On peut voir que plus l’angle max choisi est grand, plus il y a de faces qui ont besoin de supports.

**Fonctionnalités – Génération (3)**Il existe aussi une autre façon de générer les supports pour que la pièce soit moulée. Cette méthode peut s’avérer plus pratique que la méthode de génération basique des supports pour certaines pièces. Le but de cette fonctionnalité est de mouler toutes les parties de la pièce qui se trouvent dessous le plan xy. La pièce peut être déplacée grâce à l’offset en z. La principale contrainte est que la pièce peut être insérée et retirée du moule. L’image de gauche montre un moule intégral de la pièce et celle de droite montre un moule partiel. Le moule partiel peut être utilisé pour faire des rainures, afin d’avoir un guide pour placer facilement la pièce sur les supports.

**Fonctionnalités – Génération (4)**Différentes options ont été développées dans le but de permettre à l’utilisateur de mieux gérer la génération des supports.

La première option est l’aire minimale et elle permet de créer des supports en supprimant les parties jugées inutiles et trop petites, car les groupes de faces qui ont une aire inférieure à la valeur voulue ne génèrent pas de supports. Par exemple, l’image de gauche montre le support sans l’aire minimale et l’image de droite avec l’aire minimale. La partie-là n’a pas été généré car son aire est inférieure à la valeur définie.

La deuxième option permet de régénérer le fond d’un support si ce dernier a mal été généré. Il est important que le fond soit correctement généré car la surface d’un fichier STL doit être fermée.

La dernière option permet de générer un socle sous les supports. Vu que certains supports générés possèdent plusieurs parties séparées, la création d’un socle en-dessous du support permet de fusionner les différentes parties ensemble. La génération d’un socle est utile pour éviter d’avoir plusieurs supports et pour permettre de placer facilement la pièce sur ceux-ci lors du frittage.

**Fonctionnalités – Post-traitement (1)**Une fois que les supports ont été générés, il est possible de redimensionner les faces sélectionnées afin de laisser du jeu pour permettre d’insérer les supports qui vont à l’intérieur de la pièce.

3 méthodes ont été développées pour sélectionner les faces. La première sélectionne toutes les faces connectées à la sélection. La deuxième méthode sélectionne toutes les faces qui sont connectées aux faces sélectionnées et dont l’angle entre leur normale et le vecteur descendant est compris entre une valeur minimum et maximum choisie. La troisième sélectionne toutes les faces qui se trouvent à l’intérieur d’un « Treillis » dont la taille et la position peuvent être modifiées.

Il existe aussi d’autres options avec les faces sélectionnées comme une option qui bouche les trous dans la sélection ou une autre qui supprime les faces sélectionnées

**Fonctionnalités – Post-traitement (2)**Il reste finalement à faire un remaillage des supports avant l’export ce qui permet de corriger les erreurs des supports. Le remaillage permet d’éliminer le problème des faces internes qui est causé par la présence de plusieurs groupes de faces lors de la génération des supports. Cela peut poser problème pour la fabrication, car un fichier STL décrit uniquement la surface externe d’un objet fermé et donc, il devient compliqué pour un programme de déterminer le volume intérieur de la pièce.

La solution pour recalculer le maillage est d’utiliser le modificateur voxel de *Blender*. Un voxel est à la 3D ce qu’un pixel est à la 2D. La taille du voxel va déterminer la résolution des détails. Cet outil reconstruit automatiquement la topologie de l’objet en remplaçant toutes les faces actuelles par des voxels. Cette reconstruction permet de rendre le maillage plus propre et de le nettoyer. Les faces internes qui sont inutiles vont donc être automatiquement supprimées comme on peut le voir sur l’image de gauche.

Le remaillage à l’aide de voxels va créer beaucoup de faces en fonction de la taille du voxel et donc, il existe une option pour diminuer le nombre de faces. Une réduction du nombre de faces implique une diminution de la précision. Il faut donc faire attention à quel degré on va réduire le nombre de faces pour ne pas perdre trop de précisions dans les supports.

Un outil permettant de mesurer la distance entre deux points permet de vérifier que la résolution des supports est suffisante.

**Résultats**  
Sur cette diapositive, on peut voir le résultat de la génération de différents types de supports

**Conclusion**Finalement, ce travail a permis de prouver qu’il est possible de créer des supports simples et efficaces en développant du code sur un programme gratuit et open source. L’utilisation de ce logiciel permet à l’utilisateur d’avoir plusieurs options, afin de créer facilement et rapidement un fichier STL de supports à partir d’un fichier STL d’une pièce de base.

Evidemment, le logiciel doit encore être testé. Car, les tests ont prouvé que les supports créés étaient réalisables, mais ils ont été réalisés avec une imprimante 3D plastique. Pour valider les supports, des tests devront être réalisés avec l’imprimante 3D métallique pour confirmer qu’il n’y ait aucun problème.

Les améliorations intéressantes seraient de développer plusieurs méthodes pour générer les supports afin de pouvoir les comparer entre elles. Ou encore d’avoir un placement automatique de l’objet pour obtenir rapidement les supports optimaux.

Pour finir, les objectifs de ce travail ont été atteint.

J’arrive maintenant à la fin de cette présentation. Merci de votre attention, est-ce que vous avez des questions.