

Développement d'une application de suivi des déplacements d'un glissement de terrain

INSA Strasbourg - Stage de motivation de 1ère année de CMI IRVIJ *

Jonas MEHTALI

Stage réalisé au sein de :
L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre

Sous la tutelle de :
Gilbert Ferhat

Réalisé du:
2 juin au 3 juillet 2020



*Cursus Master Ingénierie en informatique : Image, Réalité Virtuelle, Interactions et Jeux

Table des matières

1	Remerciements	3
2	Introduction	4
3	Développement	5
3.1	L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre	5
3.1.1	Présentation de l'EOST	5
3.1.2	Organisation de l'EOST	6
3.1.3	Le métier de maître de conférences dans l'EOST	7
3.2	Paramètres du stage	8
3.2.1	Objectifs	8
3.2.2	Obtention et format des mesures	10
3.3	Bilan	12
3.3.1	Réalisations	12
3.3.2	Problèmes - Résolutions	13
3.3.3	Méthodologie	16
3.3.4	Résultats	18
4	Conclusion	24
5	Annexes - Références bibliographiques	25
5.1	Logiciels et librairies	25
5.2	Figures	26
5.3	Sources	27
5.4	Références bibliographiques	28
5.5	Dépôt GitHub	28
5.5.1	Notice d'utilisation du programme	28
5.5.2	Journal de bord	28

1 Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier mon tuteur Gilbert Ferhat sans lequel ce stage n'aurait pas eu lieu. Malgré ces conditions exceptionnelles de confinement il m'a encadré jusqu'au bout et a été attentif à toutes mes questions.

Je remercie aussi l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, mon organisme d'accueil, pour m'avoir permis d'exploiter leurs données de mesures.

Un grand merci à M. Hétroy-Wheeler, mon professeur encadrant, pour nous avoir suivi dans nos recherches de stage. Ces conseils m'ont été d'une aide précieuse.

Et enfin, j'exprime toute ma gratitude envers mes proches et M. Ferhat qui ont bien voulu relire ce rapport en faisant des remarques pertinentes qui m'ont permises de l'améliorer.

2 Introduction

Dans le programme du Cursus Master Ingénierie en Informatique il est nécessaire d'effectuer un stage de fin de première année dans le but d'obtenir une première expérience professionnelle. Il permet aux étudiants de découvrir un métier en rapport avec l'informatique pendant une durée d'au moins quatre semaines et leur donne l'occasion de mettre en oeuvre leur savoir faire. Les trois critères de notation du stage sont. une appréciation du tuteur, une évaluation du rapport ainsi qu'un oral de vingt minutes ayant lieu le 25 août 2020.

J'ai eu la chance de pouvoir réaliser mon stage dans le secteur de la recherche. Mon choix s'est porté sur ce domaine car je souhaite m'y orienter professionnellement. De plus, le sujet a des problématiques réelles qui peuvent impacter des vies ce qui m'a motivé à postuler.

Mon tuteur M. Ferhat exerce le métier de maître de conférences à l'INSA Strasbourg pour l'enseignement et à *l'institut d'Enseignement, d'Observation et de recherche dans le domaine des Sciences de la Terre* (EOST) pour l'observation.

Il s'est occupé de mon encadrement tout au long de ce stage dont la mission était de développer un logiciel de traitement et d'exploitation de fichiers contenant des données topographiques. Le but étant d'étudier les déplacements d'un grand glissement de terrain dans les Alpes du Sud.

Dans ce rapport je vais, en un premier lieu, présenter l'EOST ainsi que le métier de maître de conférences.

En un second temps je définirai les paramètres de mon stage ainsi que ses problématiques phares. Pour clôturer le développement je traiterai du déroulement du stage en expliquant les différentes démarches entreprises, les difficultés rencontrées et leurs aboutissements.

3 Développement

3.1 L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre

3.1.1 Présentation de l'EOST

Comme évoqué précédemment dans l'introduction, l'EOST assure à la fois une mission d'enseignement et de recherche au sein de l'Université de Strasbourg. Avec ses deux bâtiments sur le campus de l'Esplanade, L'EOST comptabilise cent soixante employés travaillant en permanence.¹



FIGURE 1 – L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) - Bâtiment Descartes - Strasbourg

La composante universitaire de l'EOST est constituée d'environ quatre cents étudiants. Au total, plus de mille ingénieurs y ont été formés depuis sa création en 1920.

De plus, l'EOST est un Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) dont la mission principale est de développer les connaissances de la Terre par le biais d'observations. En tant qu'OSU, l'EOST surveille les phénomènes qui découlent de la physique du globe comme la sismologie, la géodésie et gravimétrie ainsi que le magnétisme, l'instabilité des versants et les surfaces continentales. Ce service est en étroite collaboration avec d'autres acteurs internationaux².

La recherche s'effectue dans deux unités du CNRS et de l'Université de Strasbourg : *l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg* (IPGS) et le *Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg* (LhyGeS)

1. Bâtiment Descartes - 5, rue René Descartes - F-67084 Strasbourg cedex
Bâtiment Blessig - 1, rue Blessig - F-67084 Strasbourg cedex
2. Voir annexes - Collaborateurs de L'EOST

3.1.2 Organisation de l'EOST

La figure 2 montre un organigramme détaillé de l'organisation de l'EOST.

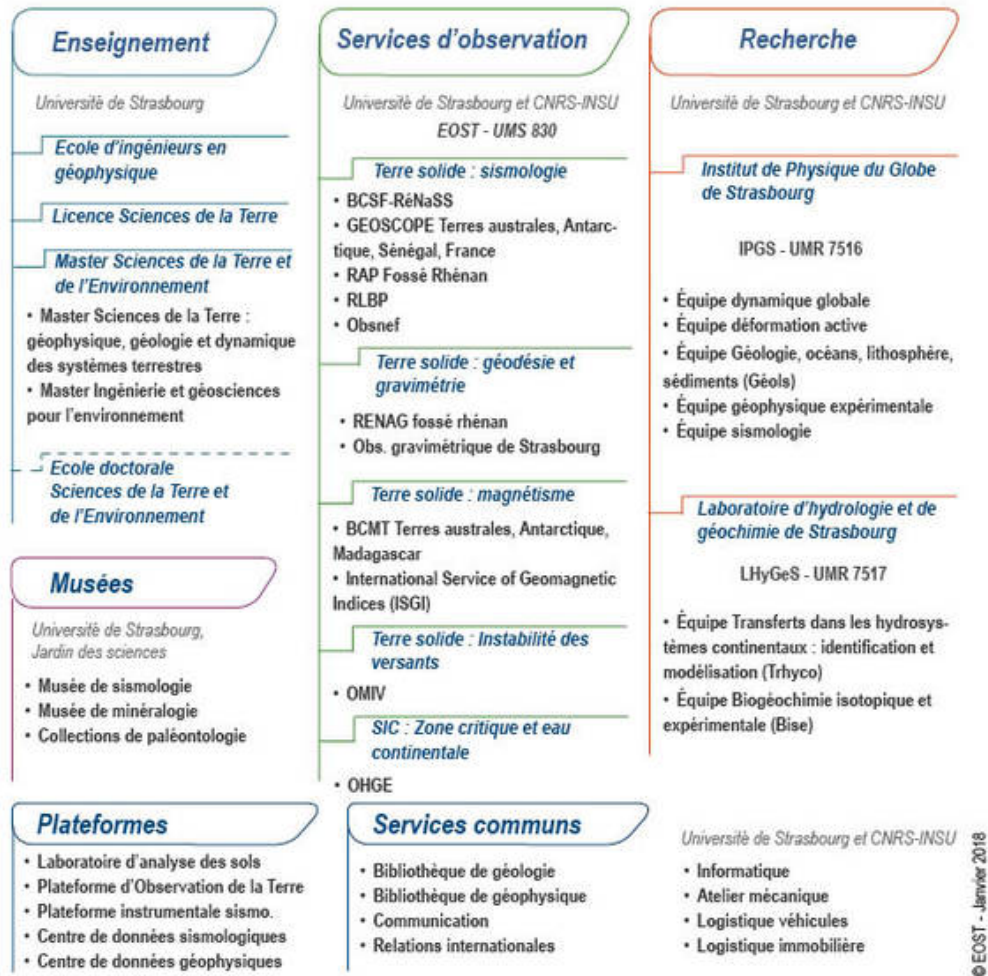


FIGURE 2 – Organisation générale de l'EOST - Janvier 2018

3.1.3 Le métier de maître de conférences dans l'EOST

J'ai eu l'occasion de poser plusieurs questions à mon tuteur sur son métier de maître de conférences au sein de l'EOST. Ses réponses m'ont aidé à mieux comprendre les exigences de son emploi.

Les critères de sélection³ pour exercer ce métier sont explicites : il faut posséder un doctorat, justifier de trois ans d'activité professionnelle hors enseignement ou recherche publique et être rattaché à un corps de recherche publique.

Les missions d'un maître de conférences sont celles d'un enseignant-chercheur. En tant qu'enseignant, il organise des cours en salle ou en amphithéâtre et fait des travaux pratiques avec des étudiants universitaires.

En tant que chercheur, le maître de conférences travaille à la publication d'articles scientifiques qui reflètent les résultats de ses expériences. Il participe aussi à la *peer-review*⁴.

Les activités de ce professionnel varient d'une discipline à l'autre, e.g., pour obtenir des données exploitables, M. Ferhat se rend sur différents sites où se produisent des glissements de terrains pour réaliser des relevés géophysiques. S'il avait eu une matière de prédilection différente, e.g., les mathématiques, il n'aurait pas à se rendre en extérieur.

Ce métier, très engageant, n'est pas répétitif. Selon M. Ferhat, le contact avec les étudiants ainsi que les activités innovantes de la recherche rendent ce métier agréable à exercer.

Avec ses nombreux points positifs, il existe aussi des désavantages, notamment l'investissement personnel demandé avec des semaines de plus de 40 heures de travail.

Le salaire d'un maître de conférences dépend de son échelon⁵. Le niveau d'entrée est l'échelon 1 avec un salaire d'indice majoré⁶ de 463.

L'échelon final est 9 et s'obtient après une ancienneté d'au moins 21 ans et 6 mois.

Il existe des perspectives d'évolution après plusieurs années d'expérience dans le domaine. Il est notamment possible de devenir maître de conférences hors classe⁷.

3. Sources des informations : <https://www.cidj.com/> - <https://fr.wikipedia.org/>

4. *Peer-review* : activité qui consiste à relire et évaluer les articles scientifiques d'autres chercheurs dans le but de les améliorer.

5. Source des informations : <http://nicolas.tentillier.free.fr/Salaires/> - <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01064706/document>

6. Convertir un indice majoré en un salaire mensuel brut : <https://www.fonction-publique.gouv.fr/ma-remu/comment-connaître-indice>

7. Un maître de conférences hors classe est chargé de l'encadrement et de l'orientation des étudiants.

3.2 Paramètres du stage

3.2.1 Objectifs

Ci-dessous se trouve un résumé de ce qui m'a été demandé de faire. L'ordre dans lequel les missions sont reportées est celui qui a été suivi durant le stage.

Tout d'abord il s'agissait de développer un algorithme en *Python* capable de lire des fichiers au format GKA⁸ contenant les données topographiques. Celles-ci se trouvent sous forme de mesures d'angles et de distances acquises de septembre 2019 à juin 2020 par un tachéomètre⁹ provenant du site de La Valette aux alentours de la commune de Barcelonnette située en France.



FIGURE 3 – Glissement de La Valette - Le bassin de Barcelonnette - France

8. GKA (.gka) est une extension de fichier utilisée par les instruments de la marque *Trimble*.

9. Le tachéomètre est un instrument qui permet de mesurer les distances et les angles entre lui-même et un nombre donné de prismes.

Le tachéomètre utilisé sur le site de La Valette est un *Trimble S9 DR HP*.

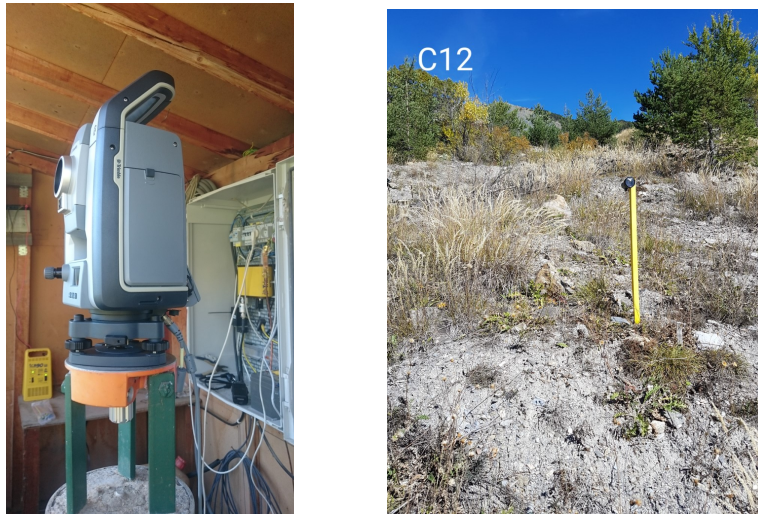


FIGURE 4 – Tachéomètre et Prisme - La Valette. (Crédits photo G. Ferhat)

Une fois le programme capable d'extraire les données des fichiers GKA il faut les interpréter dans le but de générer des statistiques (ex : la fréquence en pourcentage à laquelle un prisme a été trouvé sur une période donnée).

Dans un second temps, le programme doit être capable de dresser des figures sur plusieurs mois retraçant les positions planes des prismes afin d'estimer leurs déplacements sur le terrain.

Le programme doit pouvoir sauvegarder les données des prismes en un format réutilisable par d'autres logiciels de traitement.

Dans un dernier temps, le programme doit être simplifié pour faciliter son accès à tous types d'utilisateurs, en particulier les amateurs d'informatique.

3.2.2 Obtention et format des mesures

Un fichier GKA est composé de plusieurs séries de mesures à intervalle d'une à trois heures. Chaque série représente un tour d'horizon effectué par le tachéomètre qui vise alors chaque prisme deux fois.

```

1 [...]
2 #GNV11
3 38530009, stlval, 0, 0, 0, 0.43300000, 1, 999.80600000, 200.11500000, 200.02400000, 0.0, 278.77885605, 80.65533842, 1, 100
4 2, ref100, 2090, 6, 519674.51, 1, 1, 1091.60933, 0.001, 0.000, 0.0733, 0.0003, 89.7991, 0.0003, 0.000, 0.000, 0.142, 0.0, 1, [...]
5 2, ref100, 2090, 6, 519693.40, 1, 2, 1091.60969, 0.001, 0.000, 200.0720, 0.0003, 310.2014, 0.0003, 0.000, 0.000, 0.142, 0.0, [...]
6 [...]
7 58, C11, 2090, 6, 521901.87, 1, 1, 0.00000, 0.001, 0.000, 0.0000, 0.0003, 0.0000, 0.0003, 0.000, 0.000, 0.142, 0.0, 1, 1256.600, [...]
8 58, C11, 2090, 6, 521926.04, 1, 2, 0.00000, 0.001, 0.000, 0.0000, 0.0003, 0.0000, 0.0003, 0.000, 0.000, 0.142, 0.0, 1, 1256.600, [...]
9 #END11
10 [...]
```

FIGURE 5 – Extrait de fichier GKA

Une série de mesures est délimitée par #GNV11 et #END11. Elle débute par une ligne donnant des renseignements sur l'appareil de mesure. Cette ligne est suivie par des informations collectées sur les prismes.

Une ligne de prisme se décompose de la manière suivante :

- number : numéro du prisme.
- prisme : nom du prisme.
- GPSwk : semaine GPS.
- DOWk : jour de la semaine.
- SOWk : seconde de la semaine.
- SatNumber.
- Pos : numéro de la visée (1 ou 2).
- **DI** : distance inclinée en mètres.
- SigDist : écart type sur **DI** en mètres.
- hpDI : hauteur prisme DI.
- α : angle horizontal en grade.
- SigAH : écart type sur l'angle horizontal en grade.
- β : angle zénithal en grade.
- SigAV : écart type sur l'angle zénithal en grade.
- hpAV : hauteur prisme AV.
- CstPrisme : constante de prisme.
- IndicRef : coefficient de réfraction.
- Meteoppm : correction météo en ppm.
- Extra.
- x,y,z et dx, dy, dz : coordonnées non utilisées mais fournies par l'instrument.
- Pression : la pression en hPa.
- Temp : la température en degré Celsius.

En utilisant ces données il est possible de calculer les coordonnées 3D (xi, yi, zi) des prismes avec les formules suivantes :

$$xi = XS + DI \times \sin(\beta) \times \sin(\alpha)$$

$$yi = YS + DI \times \sin(\beta) \times \cos(\alpha)$$

$$zi = ZS + DI \times \cos(\beta)$$

où DI est la distance en mètres, α et β des angles en grade qui sont respectivement l'angle horizontal et l'angle zénithal. XS , YS et ZS sont les coordonnées du tachéomètre.

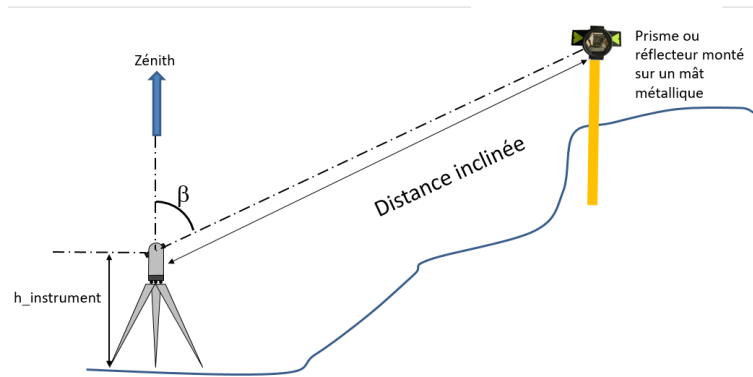


FIGURE 6 – Suivi d'un glissement de terrain par mesures angulaires et de distances sur prismes.

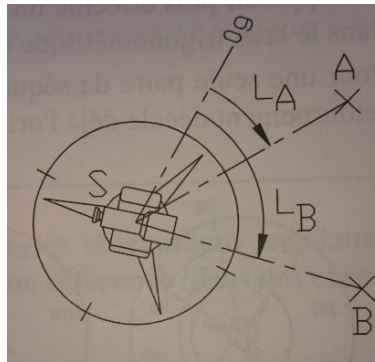


FIGURE 7 – Lectures sur un cercle horizontal. Les graduations croissantes sont dans le sens horaire. Milles et Lagofun, 1999 page 105.

3.3 Bilan

3.3.1 Réalisations

Avant même d’avoir commencé le stage j’ai tenu un journal de bord dans lequel j’ai recensé toutes mes activités journalières en lien avec le projet en cours. J’y ai noté des idées, des objectifs ainsi que le progrès effectué. Ce journal peut être consulté dans le dépôt *GitHub* référencé dans les annexes.

Pour m’approprier le sujet du stage, j’ai commencé par lire des articles scientifiques¹⁰ en lien avec le projet. Ces articles m’ont permis de comprendre les implications de ma mission. Toujours dans l’optique de me familiariser avec le projet, M. Ferhat m’a envoyé le code source d’un logiciel écrit en Fortran qui effectue un traitement sur les fichiers GKA. Analyser ce programme m’a donné un contexte à partir duquel je pus commencer à travailler.

J’ai donc débuté en développant une fonctionnalité de lecture des données contenues dans les fichiers GKA. Une approche linéaire étant la plus simple, il m’a suffi de tronquer les lignes en fonction des séparateurs. Dans le cas des fichiers GKA les séparateurs étaient des virgules.

Pour permettre à l’utilisateur de travailler sur des données réparties sur plusieurs fichiers journaliers le programme est capable de les concaténer.

Bien que cette option soit toujours accessible dans le programme, elle est devenue obsolète suite à l’implémentaiton d’un système de métacaractères¹¹ (Wildcards) simplifiant ainsi la recherche de fichiers. Les métacaractères permettent notamment de travailler sur un ensemble de fichiers tout en évitant la concaténation. La librairie *glob* a été très utile dans l’implantation de cette fonctionnalité.

Dans le but d’émettre un diagnostic rapide de l’état des prismes sur une période donnée, le programme est pourvu d’une fonctionnalité capable de générer un fichier texte contenant des statistiques sur l’ensemble des prismes. Ces informations sont issues d’une entrée de fichiers GKA spécifiés par l’utilisateur.

Un suivi visuel des déplacements des prismes étant nécessaire, le programme trace des figures et les sauvegarde sous un format png. Avoir un retour visuel sur le déplacement des prismes permet de discerner des motifs ou des anomalies.

Différentes librairies graphiques ont été testées comme *PyQtGraph* (qui a une performance remarquables dans la représentation 3D) et *Matplotlib* (qui est très flexible). La librairie qui a été retenue est *Matplotlib* car la 3D n’était pas nécessaire au moment du stage.

Pour permettre à une personne novice des disciplines du numérique d’utiliser le programme il a été nécessaire de créer une notice d’utilisation complète.

10. **Analysis of atmospheric refraction on Electronic Distance Measurements applied to landslide monitoring* G. Ferhat, H. Rouillon, J-P. Malet - 2020

**The French National Landslide Observatory OMIV – Monitoring surface displacement using permanent GNSS, photogrammetric cameras and terrestrial LiDAR for understanding the landslide mechanisms* J-P. Malet, G. Ferhat, P. Ulrich, P. Boetzlé - 2016

11. Métacaractère - <https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tacaract%C3%A8re> - 06/08/2020

3.3.2 Problèmes - Résolutions

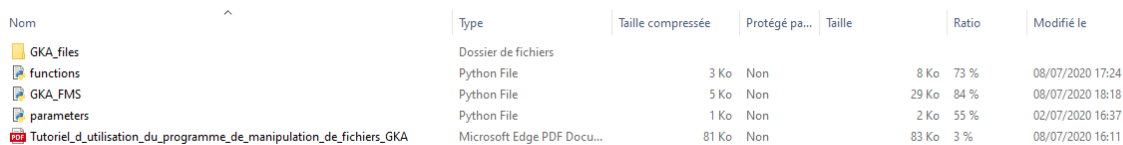
Choisir son stage a son lot de contraintes. Bien que le sujet de stage fût correctement défini, sa réalisation n'était pas toujours évidente.

Suite à la déclaration d'un confinement national, mon tuteur et moi avons été contraints à échanger par le biais de vidéo-conférences et de mails journaliers. N'étant pas supervisé directement, la situation m'a permis de développer ma rigueur et mon autonomie.

Au début du stage, lors de nos vidéo-conférences, M. Ferhat et moi-même utilisions le vocabulaire inhérent à nos disciplines, conduisant à quelques incompréhensions. J'ai donc entrepris d'apprendre le lexique technique propre aux sciences de la terre.

Très vite j'ai eu besoin de travailler sur différents ordinateurs et à différents endroits, c'est pourquoi la création d'un dépôt *Github* me paraissait pertinente. Le dépôt permet d'accéder à la dernière version du programme et de tracer la progression du développement peu importe l'appareil ou l'*OS*¹². Ce dépôt est pourvu d'un fichier README qui reprend chaque fichier du programme en détail et facilite la compréhension du contenu.

Ayant participé à différents projets informatiques, j'ai à l'esprit qu'une division du code sur plusieurs fichiers et une annotation abondante est primordial au maintien du code sur le long terme.



Nom	Type	Taille compressée	Protégé pa...	Taille	Ratio	Modifié le
GKA_files	Dossier de fichiers					
functions	Python File	3 Ko	Non	8 Ko	73 %	08/07/2020 17:24
GKA_FMS	Python File	5 Ko	Non	29 Ko	84 %	08/07/2020 18:18
parameters	Python File	1 Ko	Non	2 Ko	55 %	02/07/2020 16:37
Tutoriel_d_utilisation_du_programme_de_manipulation_de_fichiers_GKA	Microsoft Edge PDF Docu...	81 Ko	Non	83 Ko	3 %	08/07/2020 16:11

FIGURE 8 – Contenu du dossier projet - 08/07/2020

Ainsi je ne me suis que rarement égaré dans le code et ai pu garder une vision d'ensemble sur la progression du projet.

12. OS : Operating System

Les mesures obtenues par le tachéomètre n'étaient pas toujours fiables. Lors de phénomènes météorologiques, e.g., des averses, il se produit une variation de la pression ou de la visibilité empêchant ainsi une bonne acquisition des mesures de distance.

Pour tenir compte partiellement de l'impact de facteurs environnementaux il m'a été possible d'appliquer une correction qui prend en compte les agents extérieurs comme la température et la pression de l'air. La formule de correction de la distance est la suivante :

$$SD_{correct} = SD(1 - \Delta D)$$

où SD est la distance inclinée mesurée et ΔD est la correction atmosphérique. Le fabricant du tachéomètre fourni la formule suivante pour calculer ΔD (en ppm) :

$$\Delta D = (J - \frac{N \times P}{t + 273.16}) \times 10^{-6}$$

où P est la pression de l'air en mbar, t est la température en degré Celsius. N l'indice de réfraction et J la longueur d'onde du laser sont des constantes. Pour l'instrument utilisé, les valeurs de N et J sont respectivement 278.77885605 et 80.65533842.

Lors d'un de nos échanges, M. Ferhat et moi avons testé le programme et je me suis rapidement rendu compte que les indications données par l'application n'étaient pas assez explicites pour un nouvel utilisateur.

Cette prise de conscience m'a permis d'apporter des modifications au programme, le rendant moins lourd à prendre en main avec des indications plus claires pour l'utilisateur.

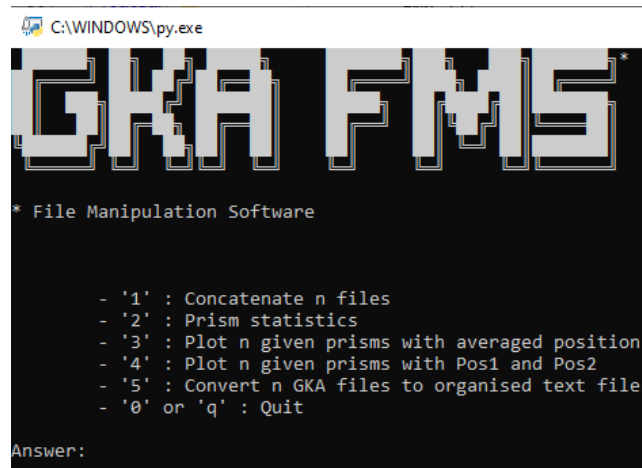


FIGURE 9 – Capture de l'interface du programme

La nécessité de travailler sur un grand nombre de fichiers est très vite devenu apparent. Jusque-là chaque fichier journalier a été concaténé pour pouvoir effectuer des tests sur les données acquises pendant de plus longues périodes, une opération chronophage.

Pour contrer ce problème il m'a fallu introduire un système de métacaractères lors de la recherche des fichiers.

Cette nouvelle fonctionnalité est l'une des plus importantes du programme dans la mesure où elle représente un gain de temps considérable pour l'utilisateur.

3.3.3 Méthodologie

Pour créer une application robuste il faut que son développement soit dicté par une méthode solide.

En informatique, chaque méthode de développement a ses avantages et ses inconvénients et seul le type du projet justifie la démarche utilisée.

Voici donc les approches et techniques de développement que j'ai su appliquer tout au long du stage.

Le "*Evolutionary prototyping*"¹³ est une méthode de développement informatique qui se base sur la réutilisation de prototypes précédents ainsi que sur le retour de l'utilisateur pour améliorer les prototypes suivants.

Le programme est enrichi tout au long du développement.

Le cycle commence par un prototype qui est soumis à l'utilisateur pour évaluation. A partir de son retour, de nouveaux prototypes peuvent être dérivés, repensés et affinés. Ainsi le cycle se répète jusqu'au prototype final.

Un point positif de l'approche est un gain de temps considérable car elle permet au développeur de se focaliser sur le développement des critères demandés par l'utilisateur. Cette focalisation évite de faire des changements tardifs car une fois le développement bien amorcé, chaque modification demande exponentiellement plus de temps.

Généralement, cette approche amène à un code répondant aux attentes de l'utilisateur.

Ci-dessous un diagramme représentatif de la méthode.

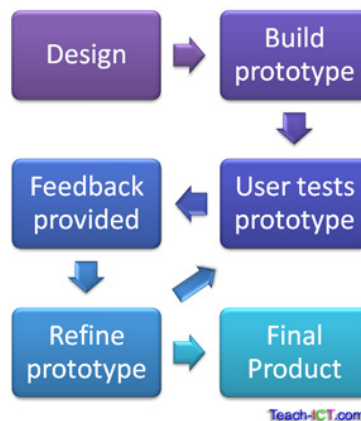


FIGURE 10 – Evolutionary Prototyping

13. Evolutionary Prototyping -
2F978-1-4020-8265-8_201039 - 05/08/2020

[https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4020-8265-8_201039)

La technique algorithmique dite "*Diviser pour régner*", introduite en cours d'Algorithmique et Programmation, consiste à considérer un problème complexe comme un sous-ensemble de problèmes plus simples.

Ces sous-problèmes peuvent être résolus récursivement ou bien directement selon le cas de figure. Finalement la solution au problème initial est calculée à partir des résultats des sous-problèmes. Cette méthode a pour avantage de créer un code plus compréhensible et par extension plus simple à maintenir.

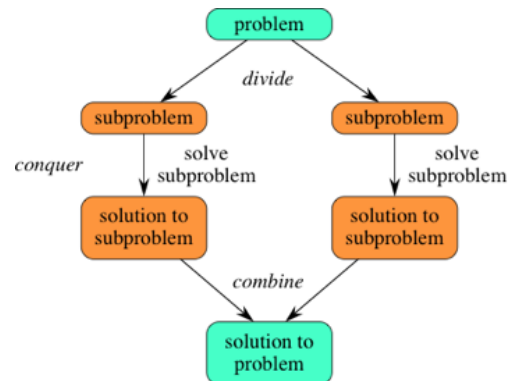


FIGURE 11 – Divide and conquer

3.3.4 Résultats

Après m'être familiarisé avec le sujet de stage j'ai pu commencer à créer un prototype. Les premiers résultats exploitables ont été générés le 8 juin 2020. En utilisant une librairie graphique j'ai pu créer des figures 3D et 2D indiquant par des points les positions de prismes sur des axes gradués.

Ci-dessous deux figures représentant la position des prismes dans l'espace et sur le plan horizontal.

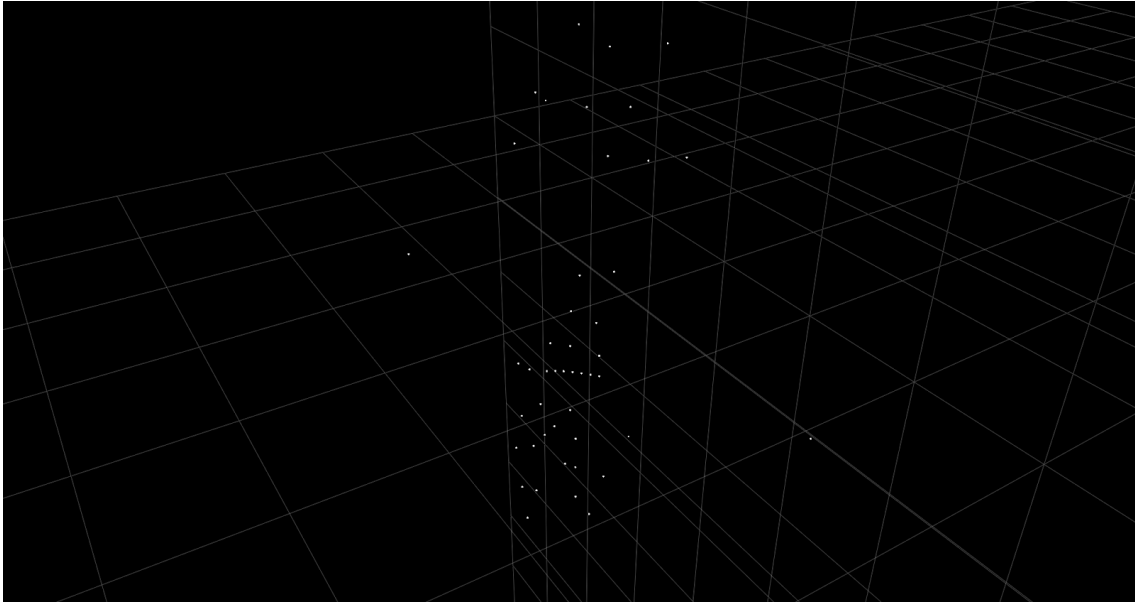


FIGURE 12 – Position 3D des prismes - La Valette

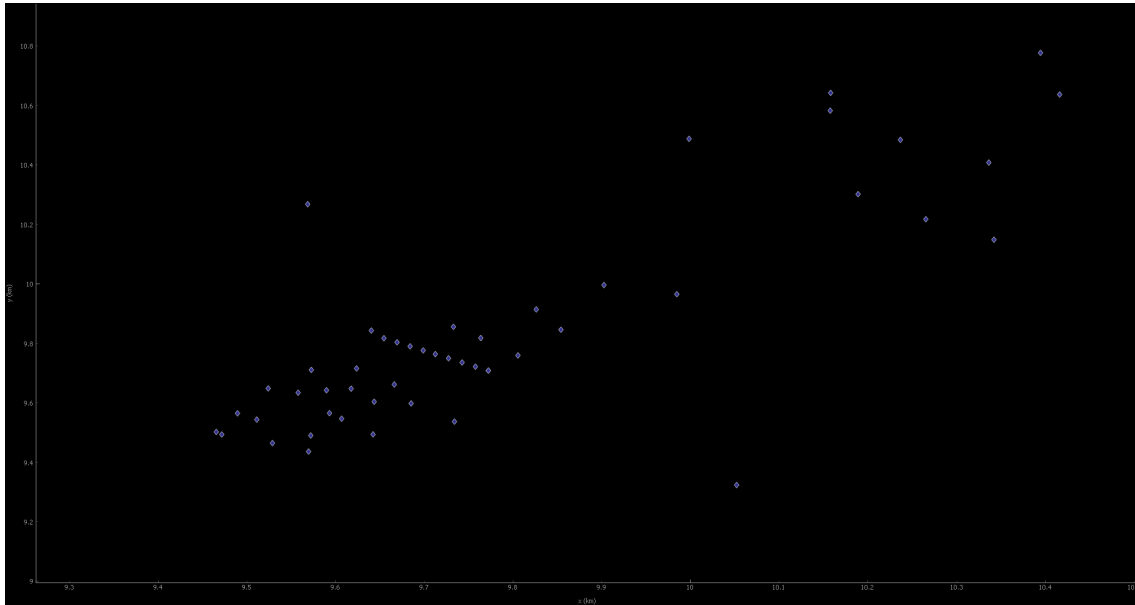


FIGURE 13 – Position 2D des prismes sur le plan horizontal - La Valette

A partir du 11 juin 2020 le programme était capable de produire un fichier texte contenant des statistiques générées à partir des fichiers GKA d'entrée. En plus de cela, il sauvegarde les données des prismes sous un format plus lisible. Ce format plus compréhensible, peut être utilisé par d'autres logiciels de traitement.

Ci-dessous les statistiques générées pour les prismes A011, ref100 et C015 sur la période du 01/11/2020 au 29/02/2020.

```
Dates : 11012019 to 02292020
List of 55 prisms by found amount (in %):
[...]
A011 43%
[...]
ref100 75%
[...]
C015 88%

Raw Statistics:

[...]

Prism ["C015"] | Date: 11012019 - 02292020
Searches : 7492      -> Pos1: 3746      | Pos2: 3746
Found    : 6658 or 88% -> Pos1: 3366 or 89% | Pos2: 3292 or 87%

[...]

Prism ["ref100"] | Date: 11012019 - 02292020
Searches : 7502      -> Pos1: 3751      | Pos2: 3751
Found    : 5690 or 75% -> Pos1: 3159 or 84% | Pos2: 2531 or 67%

[...]

Prism ["A011"] | Date: 11012019 - 02292020
Searches : 7500      -> Pos1: 3750      | Pos2: 3750
Found    : 3272 or 43% -> Pos1: 1304 or 34% | Pos2: 1968 or 52%

[...]
```

FIGURE 14 – Exemple simplifié de statistiques générées

Le 18 juin 2020 il a fallu repenser la création des graphiques pour tracer la progression sur un axe (nord, est, vertical) en fonction du temps. Ces figures sont ensuite automatiquement sauvegardées dans un dossier nommé selon leur contenu.

Ci-dessous quatre figures représentant le déplacement sur l'axe nord est et vertical en fonction du temps ainsi que le déplacement sur le plan horizontal. Ces figures montrent les prismes A011, ref100 et C015 sur la période du 01/11/2020 au 29/02/2021.

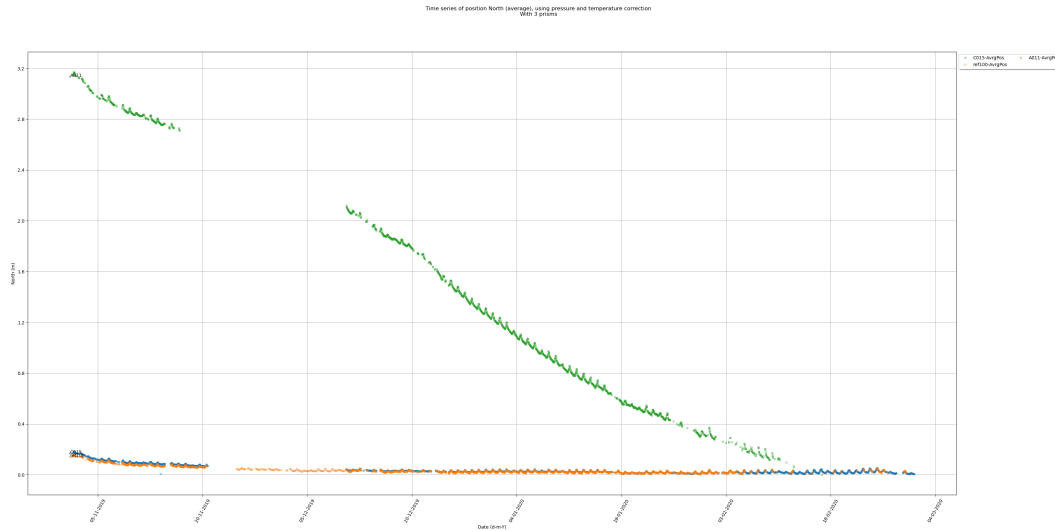


FIGURE 15 – Série de positions sur l'axe nord en fonction du temps

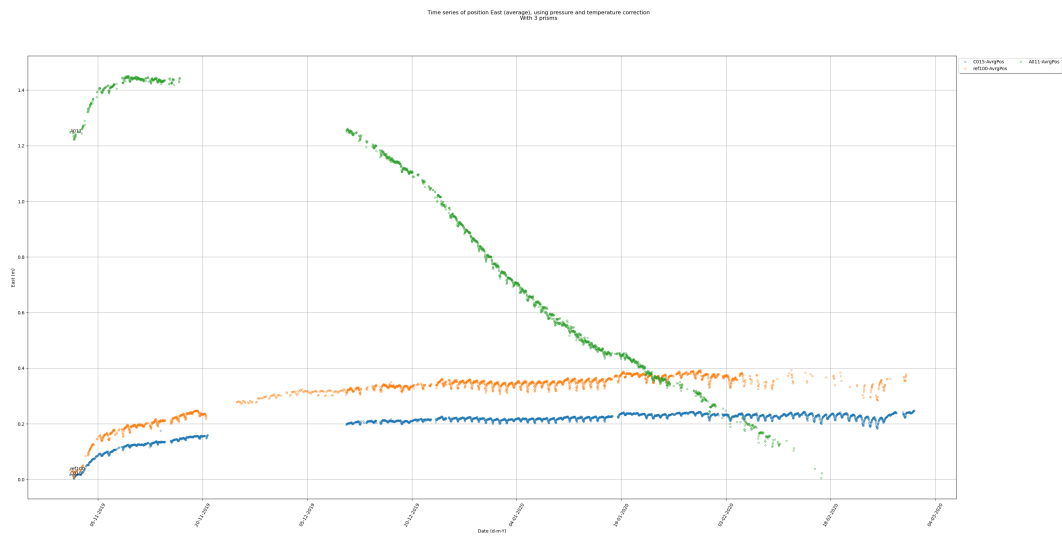


FIGURE 16 – Série de positions sur l'axe est en fonction du temps

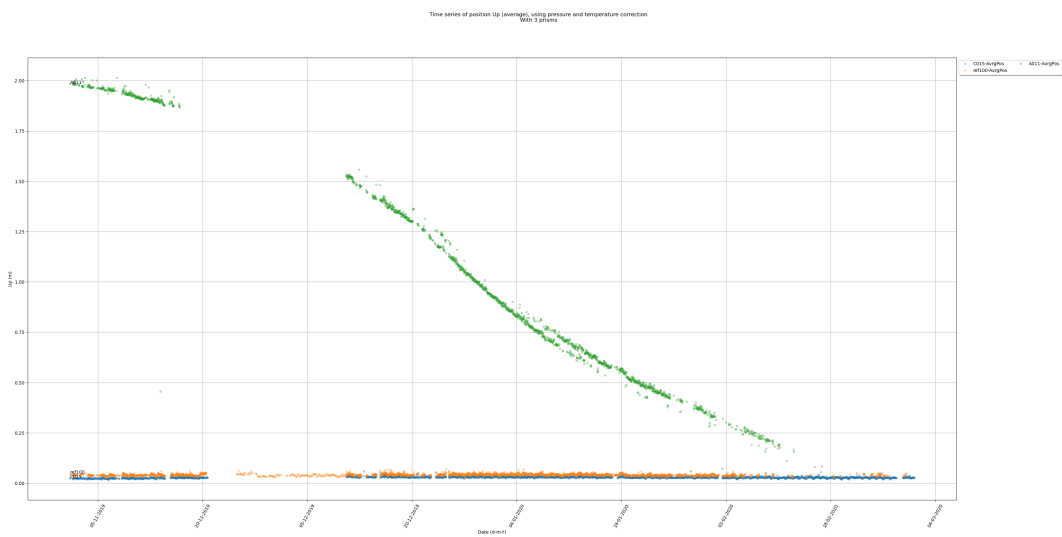


FIGURE 17 – Série temporelles des variations d'altitude

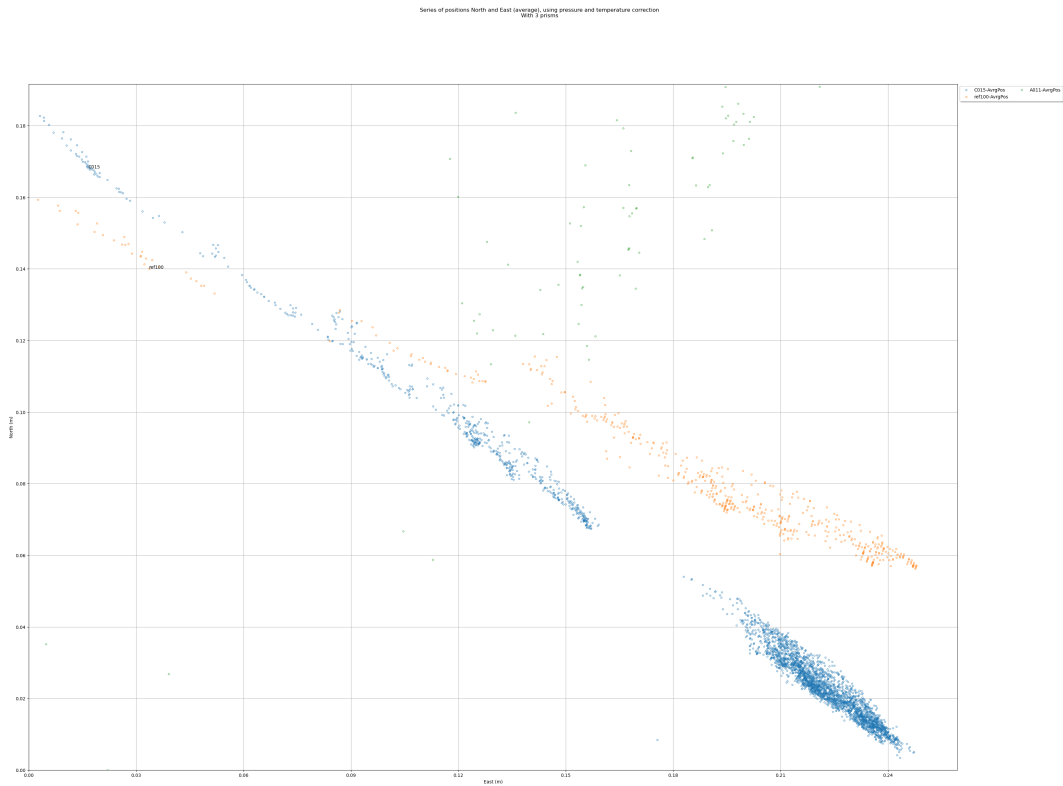


FIGURE 18 – Série de positions sur le plan horizontal

A partir du 19 juin 2020 les performances du programme ont été améliorées avec la transition des chaînes de caractères vers des listes formatées pour enregistrer les données récupérées. Cela facilite le transit d'informations entre différentes fonctions de traitement. Le temps de traitement sur l'ensemble des données de 2019 à 2020 se compte en secondes.

4 Conclusion

Pour conclure, malgré les circonstances inhabituelles du stage, l'expérience a été très enrichissante autant sur un plan personnel que professionnel. J'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage en informatique dans le domaine de la recherche que j'ai appris à connaître grâce à mon tuteur.

Le stage n'étant pas directement supervisé, j'ai pu développer ma capacité à travailler en autonomie.

A mes yeux, une des meilleurs réussites de ce stage a été d'apprendre à interagir avec un utilisateur et savoir répondre à ses attentes en suivant la méthode du "*Evolutionary prototyping*" pour créer une application.

Les connaissances apprises au cours de la première année de licence, complétant la méthode, ont été d'une grande aide dans la planification et la mise en oeuvre du projet.

Suivre le cycle complet de développement d'un programme du début à la fin, c'est à dire, en commençant par la planification et en terminant avec un programme optimisé et fonctionnel, m'a appris à gérer mon temps. Il a été nécessaire de planifier mes journées de travail pour ne pas perdre de vue mes objectifs.

Ayant eu de la liberté dans l'implémentation des différents fonctionnalités du programme, il m'a été possible de tester une multitude de bibliothèques et approches différentes pour trouver celles qui étaient les mieux adaptées.

L'aboutissement du projet de stage est un programme fonctionnel qui répond aux attentes de mon tuteur. Le code source du programme peut être consulté sur le dépôt *GitHub*.

Cette expérience nouvelle a su solidifier ma décision de m'orienter professionnellement dans le domaine de la recherche.

J'ai été particulièrement engagé tout au long de la réalisation du projet car je sentais que mon travail avait des implications réelles.

La curiosité suscitée par le stage m'a mené à faire des recherches et j'ai pu découvrir l'existence de *l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions* du CNRS et ses laboratoires. Les recherches qui y sont menées dans le domaine de *l'intelligence dans les algorithmes* suscitent mon intérêt. Je chercherai à contacter un enseignant-chercheur pour me renseigner sur la possibilité d'y effectuer mon prochain stage.

Au niveau de mes études, je pense que le CMI en informatique, étant un cursus très complet, me prépare au mieux pour une éventuelle poursuite dans le domaine de la recherche en informatique.

5 Annexes - Références bibliographiques

5.1 Logiciels et librairies

Durant le stage, pour répondre aux différentes problématiques, il a été nécessaire d'utiliser une panoplie de logiciel pour aider au développement et faciliter la rédaction de la notice et du rapport de stage.

L'environnement de développement utilisé pour créer le programme était *Visual Studio Code* de *Microsoft* - version 1.47.3 avec l'extension de *Python*.

Le langage de programmation utilisé était *Python 3.8.3* avec la librairie *Matplotlib* pour tracer des figures et la librairie *glob* pour l'implémentation des métacaractères.

Python est un langage de programmation interprété qui supporte une approche orientée objet, fonctionnelle et impérative.

Pour écrire la notice d'utilisation et pour tenir un journal de bord j'ai eu recours à Google Docs - version novembre 2019.

Lors de la rédaction du rapport de stage j'ai utilisé l'outil *Overleaf* qui permet de gérer ses documents texte mis en forme par \LaTeX , un langage de composition de documents.

5.2 Figures

Figure 1 : Photo de *L'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) - Bâtiment Descartes - Strasbourg*.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cole_et_observatoire_des_sciences_de_la_Terre

Crédit photographique : Ji-Elle.

Date : 2 juin 2009.

Figure 2 : Organigramme de l'EOST.

Source : <https://eost.unistra.fr/de/leost/organisation/>

Date : Janvier 2018.

Figure 3 : Photo du glissement de La Valette - Le bassin de Barcelonnette.

Source : <http://www.ano-omiv.cnrs.fr/monitored-landslides/la-valette>

Figure 4 : Photos du matériel d'acquisition - La Valette.

Crédit photographique : G. Ferhat.

Date : 11/09/2019.

Figure 5 : Extrait de fichier GKA.

Source : Dossier projet.

Date : 11/07/2020.

Figure 6 : Suivi d'un glissement de terrain par mesures angulaires et de distances sur prismes.

Crédit : G. Ferhat.

Figure 7 : Lectures sur un cercle horizontal. Les graduations croissantes sont dans le sens horaire.

Source : Milles et Lagofun, 1999 page 105.

Date : 1999.

Figure 8 : Capture d'écran de l'arborescence du dossier projet.

Source : Dossier projet.

Date : 08/07/2020.

Figure 9 : Capture de l'interface du programme.

Source : Invite de commande lors de l'exécution.

Date : 03/07/2020.

Figure 10 : Figure représentant le cycle du "*Evolutionary Prototyping*".

Source : https://www.teach-ict.com/as_a2_ict_new/ocr/A2_G063/331_systems_cycle/prototyping_RAD/miniweb/pg3.htm

Date : 05/08/2020.

Figure 11 : Figure représentant la technique algorithmique "*Diviser pour régner*".

Source : <https://www.khanacademy.org/computing/computer-science/algorithms/merge-sort/>

a/divide-and-conquer-algorithms

Date : 05/08/2020.

Figure 12 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *PyQtGraph*.

Figure 13 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *PyQtGraph*.

Figure 14 : Source : Fichier texte (simplifié) générée par le programme du projet.

Figure 15 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *Matplotlib*.

Figure 16 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *Matplotlib*.

Figure 17 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *Matplotlib*.

Figure 18 : Source : Figure générée par le programme du projet avec la librairie *Matplotlib*.

5.3 Sources

- Site officiel de l'EOST.

Source : <https://eost.unistra.fr>

Date : 02/08/2020.

- Métier de maître de conférences.

Source : <https://www.cidj.com/>

Date : 02/08/2020.

- Salaire d'un maître de conférences.

Source 1 : <http://nicolas.tentillier.free.fr/Salaires/>

Source 2 : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01064706/document>

Date : 02/08/2020.

- Site de *l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions* du CNRS.

Source : <https://ins2i.cnrs.fr/fr>

Date : 05/08/2020.

- Collaborateurs de l'EOST.

Source : <https://eost.unistra.fr/recherche/ipgs/da/da-perso/cecile-dobre/main-collaborations/>

Date : 06/08/2020.

5.4 Références bibliographiques

Titre : *Analysis of atmospheric refraction on Electronic Distance Measurements applied to landslide monitoring.*

Auteurs : G. Ferhat, H. Rouillon, J-P. Malet.

Date : 2020.

Titre : *The French National Landslide Observatory OMIV – Monitoring surface displacement using permanent GNSS, photogrammetric cameras and terrestrial LiDAR for understanding the landslide mechanisms.*

Auteurs : J-P. Malet, G. Ferhat, P. Ulrich, P. Boetzlé.

Date : 2016.

5.5 Dépôt GitHub

Lien : https://github.com/JonasMht/GKA_file_manipulation_software

5.5.1 Notice d'utilisation du programme

Lien : https://github.com/JonasMht/GKA_file_manipulation_software/blob/master/Files/Notice_d_utilisation_du_programme_de_manipulation_de_fichiers_GKA.pdf

5.5.2 Journal de bord

Lien : https://github.com/JonasMht/GKA_file_manipulation_software/blob/master/Files/Journal_de_bord.pdf