

# REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture,  
des Ressources Hydrauliques  
et de la Pêche

\*\*

Institution de la Recherche et  
de l'Enseignement Supérieur  
Agricoles



IRESA  
Institution de la Recherche et de  
l'Enseignement Supérieur Agricoles



Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

\*\*

Université de Jendouba



## Ecole Supérieure des Ingénieurs de Medjez El Bab

### Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du

### Diplôme nationale d'Ingénieur

Spécialité : Génie Topographie et Géomatique

Thème :

# Contrôle d'un canevas des collines de Korbous

Elaboré par : KADHI Mohamed Rayen

Soutenu le : 27/06/2022

Jury :

Président : M.CHAIB.ALI, ESIM

Rapporteur : M.GHANNEM Marcel, ESIM.

Encadrant : M.BEN ALI Mohamed/Rjiba.Amira, ESIM.

Encadrant de l'entreprise : M.BENNOUR.Malek, Ministère d'équipement.

Invité :(Nom, Prénom, Organisme)

Référence	2022-GTG08
-----------	------------

A.U: 2021 – 2022

# Remerciement

---

## Dédicace

*A mes deux pères ma mère ma grand-mère ma tante*

*Qui m'ont rempli de leur amour, de leur tendresse et de leur générosité.*

*Qui a tout sacrifié, temps et argent pour mon bonheur.*

*Qui m'a soutenu, guidé et dirigé sur le bon chemin.*

*Et surtout ma belle mère qui est toujours là pour moi à travers les pires et les meilleures épreuves de la vie.*

*A mes deux petites sœurs Ghofrane et Maram*

*Qui sont toujours à mes côtés, qui sont toujours une source d'amour et d'encouragement*

*A mes amis et collègues*

*Merci pour votre écoute, vos conseils et vos encouragements et pour tous les bons moments passés ensemble. A Bacem, A Med Alí, A Omar et Surtout Walid qui m'a accompagné pas à pas tout au long du projet et tous mes êtres chers.*

# **Remerciement**

Cela semble être un bon moment pour commencer ce rapport avant de commencer cette expérience de travail, merci aux personnes aimables qui ont fait de ce stage un moment très bénéfique, à ceux qui m'ont aidé et à ceux qui ont beaucoup appris tout au long du cours. C'est pourquoi, tout d'abord, je tiens à exprimer mes sincères remerciements au professeur. Hassen KHARROUBI, Doyen, Faculté d'Ingénierie Supérieure, Medjez el Bab (ESIM), et Dr Mohamed ben Ali, Directeur, Département Aménagement et Environnement, et évidemment mon encadrant académique, les ont remerciés pour leurs efforts visant à assurer notre avancement vers les carrières d'Ingénieurs de Circonstances Particulières. Je tiens à remercier mon encadrante académique à l'ESIM, Mme. Amira Rjiba, pour ses précieux conseils et ses efforts, qui m'ont beaucoup aidé dans ce travail. Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à mon encadrant dans l'organisme Mr. Malek Bennour, pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils. Je tiens à remercier le personnel du département d'ingénierie et d'aménagement de l'eau, les enseignants et tout le personnel administratif de l'ESIM pour leurs contributions à ma formation. Enfin, je tiens à remercier les membres du jury de m'avoir accordé le privilège de lire et de juger cet ouvrage.

# Abstract

---

Rock instability is one of the most common natural disasters in the Korbous landforms, including the Ain-oktor region, and remains a poorly understood phenomenon despite the development of research and tools in the field of Earth Science. Given their characteristics, improving our knowledge in the field of the stability of rock masses consists in going through the instrumentation and monitoring of these instabilities.

The purpose of this end-of-study report is first of all to make a general study of this phenomenon, to cite the main probable causes mentioned by geosciences in its studies and articles, in order to properly focus our work and effort and objectively.

In the context of this report, we have more particularly studied the probability of erosion in our study area, Ain-Oktor, for its undeniable effect on ground movement or ground instability. Thus, this phenomenon will be reflected from a model (PAP/CAR) which gives a satisfactory result on the effect of this hazard.

Then, according to measurements carried out for eleven months on the ground by various instruments, no horizontal or vertical displacement of the ground was observed. This can be explained in different ways related either with the measurement time or with the instruments used in the field.

Keywords: topography, hydrology, canvas, Korbous

# Résumé

---

L'instabilité des roches est l'une des catastrophes naturelles les plus courantes dans les reliefs de Korbous, y compris la région d'Ain-oktor, et reste un phénomène mal connu malgré le développement des recherches et des outils dans le domaine de la science de la terre. Compte tenu de leurs caractéristiques, améliorer nos connaissances dans le domaine de la stabilité des massifs rocheux consiste à passer par l'instrumentation et le suivi de ces instabilités.

L'objectif de ce rapport de fin d'étude est tout d'abord de faire une étude générale de ce phénomène, de citer les principales causes probables évoquées par les géosciences dans ses études et articles, afin de bien orienter notre travail et nos efforts.

Dans le cadre de ce rapport, on a étudié la probabilité de l'érosion sur notre zone d'étude, Ain-Oktor, pour son effet indéniable sur le mouvement de terrain ou l'instabilité de terrain. Ainsi, ce phénomène sera reflété à partir d'un modèle (PAP/CAR) qui donne un résultat satisfaisant sur l'effet cet aléa.

Ensuite, selon des mesures effectuées durant onze mois sur terrain par des différents instruments sur n'a constaté aucun déplacement horizontal ou vertical du terrain. Cela peut être expliqué en différentes manières liées soit avec le temps de mesure ou avec les instruments utilisés dans le terrain.

Mots clés : topographie, hydrologie, canevas, Korbous

# Table des matières

---

<b>Chapitre 1 : Cartographie et vulnérabilité de la zone d'Ain Oktor à l'érosion.....</b>	<b>13</b>
I. Introduction.....	14
II. Matériels et méthodes .....	15
III. Résultats.....	18
IV. Conclusion .....	29
<b>Chapitre 2: Instabilité et surveillance .....</b>	<b>29</b>
I. Introduction.....	30
II. Les phénomènes d'instabilités rocheuses .....	30
A. Caractérisation du phénomène .....	30
B. Évolution d'une instabilité vers la rupture .....	33
III. Surveillance des instabilités rocheuses.....	34
A. La mise sous surveillance .....	35
B. Techniques instrumentales utilisées en surveillance .....	35
IV. Conclusion .....	37
<b>Chapitre 3: Levé topographique.....</b>	<b>37</b>
I. Introduction.....	38
A. Site d'étude .....	38
1. Introduction.....	38
2. Croquis du levé : .....	39
II. Canevas de Base .....	39
A. Généralité.....	39
B. But .....	40
C. Application sur terrain.....	40
III. La Triangulation .....	40
A. But .....	40
B. Principe.....	40
IV. La trilateration .....	49
A. Définition.....	49
B. Principe.....	49

<b>V. Rayonnement.....</b>	<b>58</b>
A. Rayonnement planimétrique .....	58
1. Généralité.....	58
a) Définition.....	58
b) But .....	58
B. Rayonnement altimétrique .....	66
1. Généralité.....	66
a) Définition.....	66
2. But .....	66
3. Les étapes de calcul :.....	66
<b>VI. Suivie des points:.....</b>	<b>67</b>
A. Levé de détail : .....	67
1. Définition.....	67
2. Choix des objets et détails.....	67
3. Précision du levé.....	67
4. Méthodes et moyens.....	68
5. Les erreurs.....	68
6. Rapport graphique :.....	68
7. Rattachement.....	68
8. Levé et mesure .....	69
<b>VII. Conclusion .....</b>	<b>73</b>
 <b>Chapitre 4: Analyses et déductions.....</b>	<b>73</b>
<b>I. Introduction.....</b>	<b>74</b>
<b>II. Analyse des mesures topographiques.....</b>	<b>74</b>
A. Introduction.....	74
B. Analyse et déduction :.....	74
<b>III. Autres dispositifs utilisés .....</b>	<b>80</b>
A. Piézomètre .....	80
1. Définition.....	80
2. But .....	81
3. Suivie des sondages piézométrique .....	81

B. Inclinomètre .....	81
1. Définition.....	81
2. But .....	82
<b>IV. Analyse des résultats entre cadre géologique-mesures effectuées :.....</b>	<b>82</b>
A. Cadre géologique :.....	82
1. Interprétation :.....	82
B. Mesures effectuées :.....	83
1. Interprétation.....	83
<b>V. Conclusion .....</b>	<b>83</b>
<b>Références.....</b>	<b>84</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>87</b>

## Liste des figures

---

<i>Figure 1: Situation géographique du secteur d'étude (Image Google Earth) .....</i>	15
<i>Figure 2: Carte géologique de la région de Korbous (Maamri et al., 2001).....</i>	16
<i>Figure 3: Carte géologique de la zone d'étude. ....</i>	16
<i>Figure 4 : Schéma général de du modèle PAP/CAR (Ousmana, 2017) .....</i>	17
<i>Figure 5: couverture végétale du zone Ain Oktor-Korbous .....</i>	19
<i>Figure 6: Niveau de protection du sol par la couverture végétale selon la directive PAP/CAR .....</i>	19
<i>Figure 7: Diagramme de niveau de végétation .....</i>	20
<i>Figure 8: couverture végétale du zone Takelsa-Slimane .....</i>	20
<i>Figure 9: Niveau de protection du sol par la couverture végétale selon la directive PAP/CAR .....</i>	21
<i>Figure 10: Carte des pentes (%) de la zone Ain Oktor-Korbous .....</i>	22
<i>Figure 11:Diagramme circulaire des pentes (%) .....</i>	22
<i>Figure 12: Carte des pentes (%) de la zone Takelsa-Slimane .....</i>	23
<i>Figure 13: Carte de la lithologie de la zone Ain-Oktor Korbous (carte géologique de la Tunisie) ....</i>	24
<i>Figure 14: Diagramme circulaire des couches de lithologies .....</i>	24
<i>Figure 15: Carte de l'érodibilité de la zone Ain-Oktor Korbous selon le modèle PAP/CAR .....</i>	25
<i>Figure 16: Diagramme circulaire de niveau de l'érodibilité .....</i>	26
<i>Figure 17: Carte des états érosifs de la zone Ain-Oktor .....</i>	27
<i>Figure 28: Diagramme circulaire du niveau des états érosifs .....</i>	27
<i>Figure 19: carte des états érosifs après application du scénario de modification de la couverture végétale.....</i>	28
<i>Figure 20: Facteurs intrinsèques d'une écaille rocheuse participant à l'évolution de sa stabilité(P.Mourot) .....</i>	31
<i>Figure 21: Action du gel sur la fracturation de la roche (Grands Goulets, photo P.Mourot).....</i>	32
<i>Figure 22:Les Fissurations étudiées .....</i>	38
<i>Figure 23: Croquis de levé .....</i>	39
<i>Figure 24: Croquis du canevas .....</i>	41
<i>Figure 25: Piézomètre .....</i>	80
<i>Figure 26: Inclinomètre .....</i>	82

## Liste des tableaux

---

<i>Tableau 1: Les points de polygonation de base qui constituent le canevas .....</i>	41
<i>Tableau 2: Les coordonnées résultats du point S1.....</i>	49
<i>Tableau 3: Les coordonnées résultats du point S1.....</i>	57
<i>Tableau 4: Angles-distances des points du levé .....</i>	59
<i>Tableau 5: Les coordonnées planimétriques résultats des points .....</i>	65
<i>Tableau 6: Les coordonnées.....</i>	67
<i>Tableau 7: Les coordonnées des points réalisés en 07/07/2021 .....</i>	70
<i>Tableau 8: Les coordonnées des points réalisés en 14/07/2022 .....</i>	71
<i>Tableau 9: Les coordonnées des points réalisés en 25/05/2022 .....</i>	72
<i>Tableau 10: Déplacement suivant X, Y et Z entre le premier et deuxième levé .....</i>	75
<i>Tableau 11: Déplacement suivant X, Y et Z entre le premier et le troisième levé.....</i>	77
<i>Tableau 12: Déplacement suivant X, Y et Z entre le deuxième et troisième levé .....</i>	79
<i>Tableau 13: Les données piézométriques .....</i>	81

## Glossaire

**G** : Gisement

**m<sup>3</sup>** : Mètre au cube

**mm** : millimètre

**m** : mètre

**Km** : Kilomètre

**UTM** : Transverse universelle de Mercator

**NGT** : Nivellement générale de la Tunisie

**gr** : Grades

**RR** : Route rurale

**RN** : Route Nationale

**ADRG** : Association pour le Développement de Recherche sur les Glissements de Terrain

**LCPC** : Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées

**Mesurande** : Grandeur physique d'entrée soumise à un mesurage

**PPR** : Plan de prévention des risques naturels prévisibles. Servitude d'utilité publique réglementant l'utilisation du sol en vue de préserver les biens et les personnes des effets des événements naturels tels que inondations, avalanches, glissements de terrain etc.

**BRGM** : Bureau de Recherche Géologiques et Minière

**EPFL** : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

# Introduction générale

L'instabilité rocheuse est l'une des catastrophes naturelles les plus fréquemment rencontrées dans la géographie terrestre, et son impact augmente avec le degré d'humanisation de la surface terrestre (urbanisation, développement des lignes de communication, etc.). Cependant, ces instabilités restent un territoire inexploré pour les géosciences. Cependant, ils ont un avantage qu'ils sont superficiels, ils sont donc faciles à localiser et à identifier, et donc plus faciles à surveiller que les failles sismiques ou même les volcans. En revanche, ces roches sont plus instables et ont généralement une taille limitée, ce qui les rend plus difficiles à localiser. De plus, leur dynamique pouvant évoluer par ordre de grandeur sur des échelles de temps, la compréhension de ces phénomènes nécessite l'utilisation de mesures, ce qui retarde sans doute les connaissances sur le terrain. L'évaluation des risques liés à ces instabilités nécessite donc la mise en place de systèmes d'instrumentation de ces attaques. Pour cela, ce projet de fin d'étude vise à mettre en évidence différents outils pouvant conduire à des conclusions satisfaisantes dans l'état collinaire de Korbous, voire l'état de Korbous dans son ensemble. Le phénomène visé est l'instabilité des roches, marquée par une accélération brutale des processus géo-mécaniques avec des phases très courtes et difficilement observables. En cet effet, le premier aborde une explication générale de ce phénomène, le deuxième chapitre sera une étude détailler sur la vulnérabilité de l'érosion dans notre zone en question, vue l'effet de ce phénomène sur le mouvement de terrain, ensuite, une étude topographique réalisée dans le terrain en question et enfin une analyse et déduction faite après recours aux différents résultats des précédentes chapitres.

# **Chapitre 1 : Cartographie et vulnérabilité de la zone d'Ain Oktor à l'érosion**

---

## **I. Introduction**

L'érosion des sols est la forme la plus répandue de dégradation des terres dans la région méditerranéenne, principalement en raison de son climat erratique, de l'augmentation de l'activité humaine qui continue d'affaiblir la couverture végétale et de la fragilité inhérente des sols. Depuis le début des années 1990, la Tunisie considère la lutte contre l'érosion des sols comme un enjeu majeur du monde rural et du développement agricole dans son ensemble. En fait, 1,5 million d'hectares de terres ont été modérément à gravement touchés par l'érosion (Cherif, 2013).

En Tunisie l'érosion affecte de plus en plus les terres arables, en conséquence ce phénomène menace sérieusement la production céréalière et ainsi un pilier important de l'économie agricole du pays, puisque ces terres représentent un grand pourcentage de la superficie agricole occupée (Jebbari, 2014). Ainsi, la lutte contre les risques d'érosion en milieu rural où la productivité agricole est l'un des objectifs principaux et qui reste l'enjeu ultime du développement rural tout en préservant les ressources naturelles. Des méthodes d'évaluation qualitative ou quantitative de l'érosion déjà utilisées dans le monde permettent de répondre à ces questions : le modèle INRA (Le Bissonnais et al., 1998) ainsi que la modélisation hydrologique : modèle neros (mouvement du ruissellement et de l'érosion) (Le Bissonnais et al., 1990), modèle SWAT (outil d'évaluation des sols et de l'eau) (Le Bissonnais et al., 1993)...etc. Ces méthodes sont certes efficaces, mais nécessitent de grandes quantités de données, qui sont parfois perdues, rendant leur utilisation peu concluante. Il est donc nécessaire de trouver une méthode qualitative simple mais pertinente pour identifier les terrains susceptibles de rencontrer des problèmes d'érosion, qui sont des problèmes de prédition des risques (Fiandino, 2007). Le but de cette étude était de démontrer l'efficacité de l'approche FAO : CAR/PAP (Programme d'Actions Prioritaires et Centre Régional) dans l'étude de la sensibilité à l'érosion dans la région d'Ain Oktor-Korbous.

## II. Matériels et méthodes

### A. Le site d’étude :

La route d’Ain-Oktor ( $36^{\circ}47'56''$ ,  $10^{\circ}33'42''$ ), appartient à la région de Korbous, cette route régionale N°128 reliant Ain Oktor et Korbous est limitée par Djebel de Bou Korbous à l’Est et par la mer méditerranée à l’Ouest. Administrativement Ain-Oktor appartient à la délégation de Korbous (Figure 1), il se situe à l’étage bioclimatique semi-aride inférieur et se caractérise par une moyenne pluviométrique annuelle entre 400 mm et 500 mm. La région de Ain-Oktor représente un relief fort puisque elle est considéré comme une région montagneuse et la majorité de sa superficie représente une pente supérieure à 15%, ses altitudes varient entre 200 à 416m. Le relief fort de Ain Oktor ne fait que favoriser le risque d’érosion.

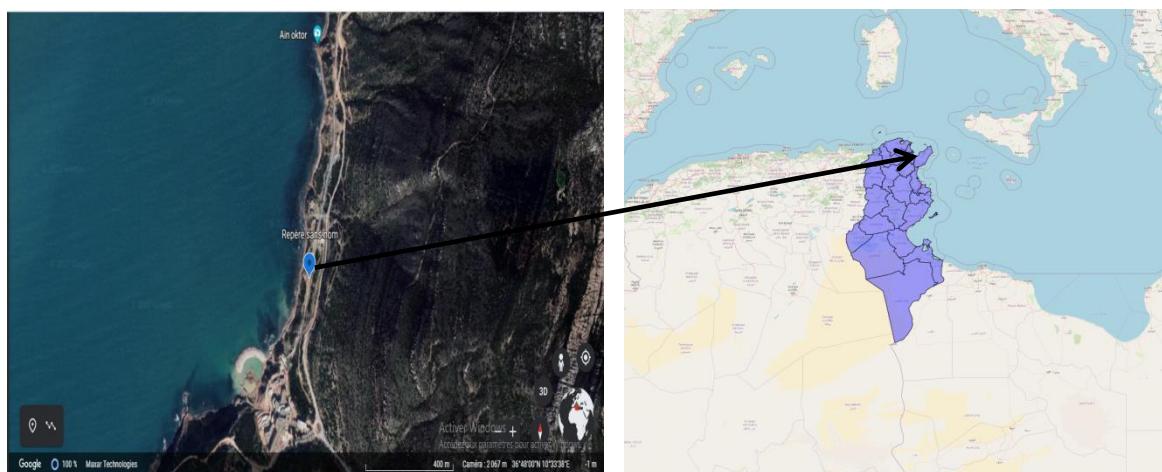


Figure 1: Situation géographique du secteur d’étude (Image Google Earth)

### B. Cadre géologique et structural

Le Jebel Korbous, se présentant sous forme d’une structure monoclinale, correspond à une structure anticlinale dont le flanc occidental est effondré vers le golfe de Tunis. A l’Est du Jebel Korbous, s’individualise le synclinal de Takelsa et au Sud la plaine de Sidi Er Raies.

Au bord de la mer, la morphologie du terrain se distingue par le façonnement de falaises rocheuses abruptes entaillées dans les séries oligo-miocènes. Les basses altitudes n’apparaissent que de part et d’autre de Jebel Korbous, à partir de Sidi Er Raies du côté sud et à partir du Port aux Princes du côté nord.

Les couches de la formation Fortuna plongent de  $30^{\circ}$  vers l’Est. Latéralement, du Sud vers le Nord, la direction des différents termes des séries géologiques dessine une virgation de la direction N-S dans les parties méridionale et centrale vers une direction sensiblement SSWNNE à SW-NE au niveau de Rass el Fartass (Figure 2 et Figure 3).

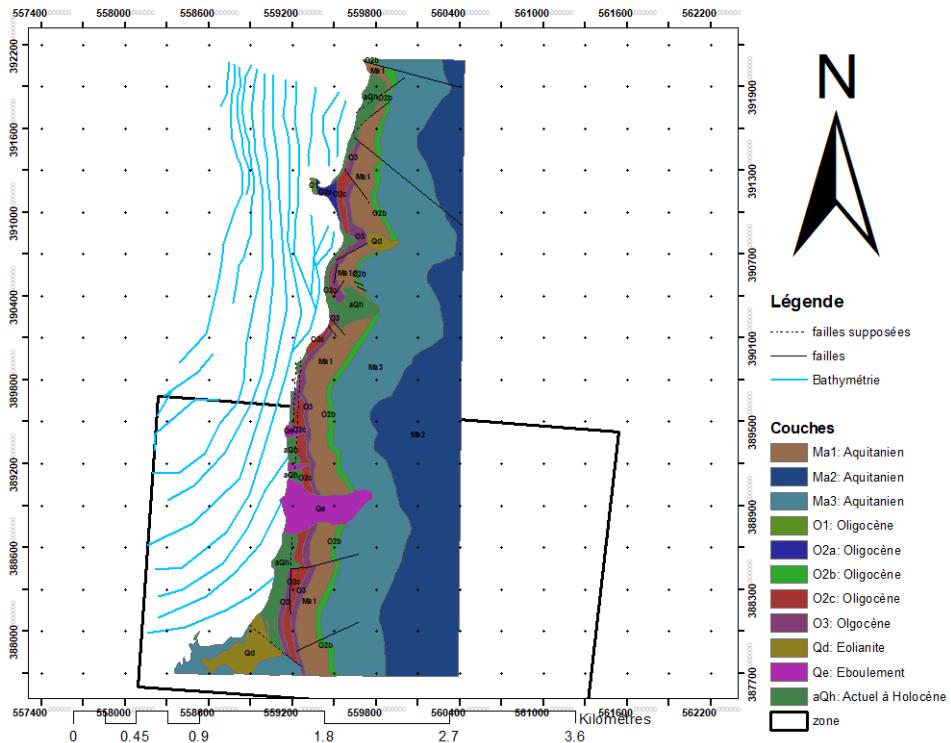


Figure 2: Carte géologique de la région de Korbous (Maamri et al., 2001)

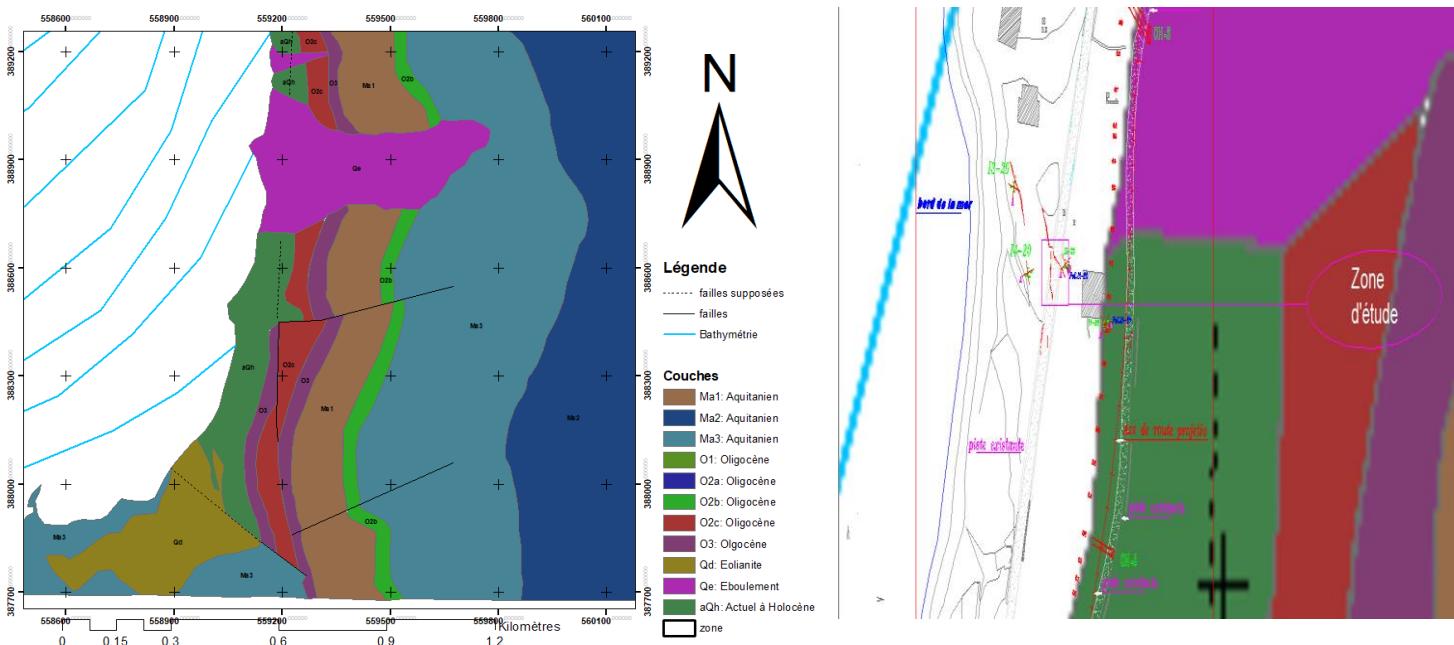


Figure 3: Carte géologique de la zone d'étude.

## C. Présentation du modèle PAP/CAR

Dans les années 1990, la FAO, la DGCNA et le PAP/PAM ont collaboré pour parvenir à une approche simple et flexible, adaptée aux conditions spécifiques de chaque région de la Méditerranée.

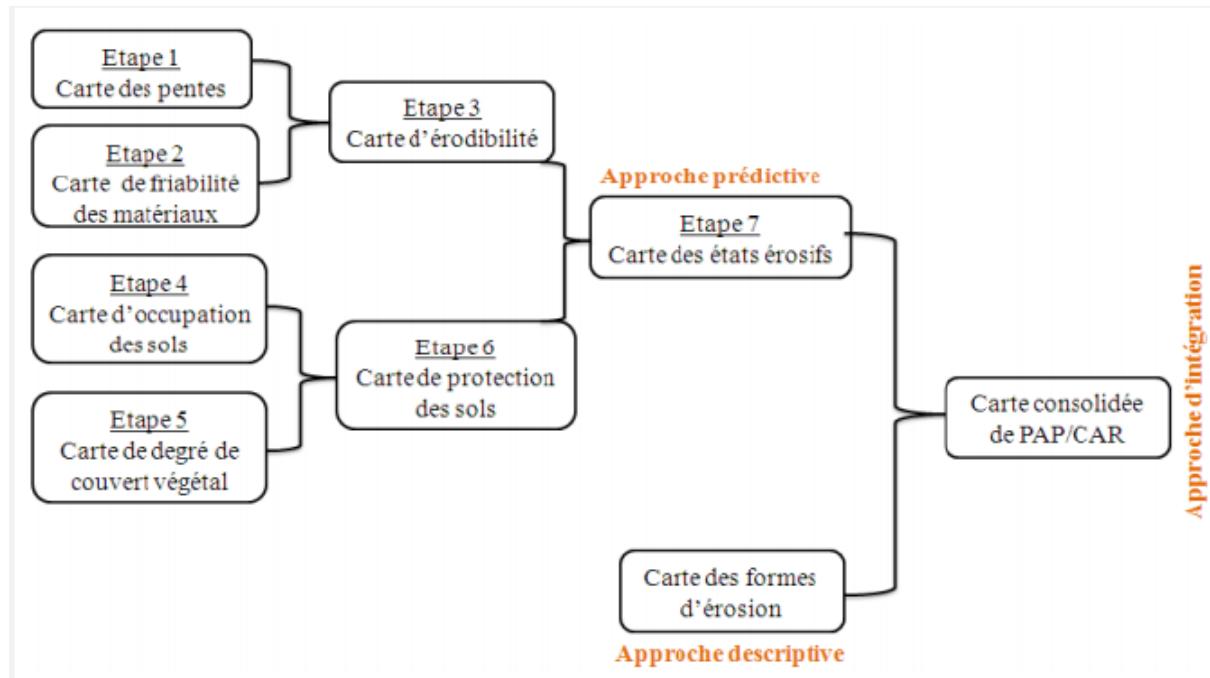


Figure 4 : Schéma général de du modèle PAP/CAR (Ousmana, 2017)

Le système cartographique utilisé est en effet une approche informatisée basée sur deux types de données : des données descriptives du site (topographie, occupation du sol, pédologie et lithologie) et des données spatiales issues d'un système d'information géographique (cartes thématiques). En effet, les résultats cartographiques du modèle PAP/CAR spatialisent d'une part les zones selon l'état d'érosion (faible, moyen, fort, très fort) pour comprendre la sensibilité de l'ensemble du site à l'érosion, et d'autre part décrivent les différentes formes d'érosion et l'évolution de son risque(Faleh et Maktite, 2014). En Tunisie, cette approche a été bien appliquée dans le bassin versant de la Lebna (Attia et al., 2007).

Par conséquent, nous avons étudié la susceptibilité potentielle à l'érosion du Jbel Bou Korbous en utilisant cette directive de cette manière:

Collecte de données : carte géologique, cartes structural et images SRTM (Shutter Radar Topography Mission), imagerie Google Earth (landsat/copernicus/CNES/Astrium 2015)

On a ainsi classifié la contribution de chaque facteur dans le processus d'érosion en attribuant des valeurs numériques à chaque catégorie nous permet d'élaborer différentes cartes thématiques à l'aide du SIG (Système d'Information Géographique) : cartes d'érodibilité (pente × formation géologique), carte d'état d'érosion (érosion × niveau de protection du

couvert végétal). Par conséquent, le problème est d’attribuer une valeur numérique à chaque degré de sensibilité à la corrosion selon la formule suivante :

$$\text{État d'érosion} = \text{pente} * \text{géologie} * \text{indice de couverture végétale.}$$

Le modèle qualitatif obtenu est représenté par une valeur comprise entre un et cinq pour transformer la sensibilité à l'érosion : 1(très faible), 2(faible), 3(moyen), 4(fort), 5(très fort). Par conséquent, la carte des risques d'érosion implique le concept de probabilité d'érosion (Jansen, 1996). En d'autres termes, le modèle peut modifier les scénarios pour prédire les tendances futures de l'érosion.

### III. Résultats

Pour aboutir aux résultats du modèle PAP/CAR, on doit préparer trois différentes cartes : la carte des pentes, la carte de niveau de protection du sol par la végétation et la carte des formations géologiques.

#### A. Vulnérabilité en fonction de l'occupation du sol

A partir d'une image Landsat 8, on a réalisé deux cartes d'occupations de sol (**Figure 5** et **Figure 6**), une première qui couvre la totale région Takelsa-Slimane et une autre pour notre zone en question. Et, on a distingué cinq différentes classes en termes de leur pouvoir couvrant du sol (**Figure 6**).

- ✓ La faible végétation représente environ 50,3% de la surface totale de notre zone d'étude ce qui favorise fortement à très fortement l'érosion hydrique vu qu'il n'assure qu'une faible couverture du sol. Par contre, une forte végétation et moyenne végétation représentent respectivement environ 23,7% et 25,2% de la surface totale de notre zone d'étude ce qui favorisent la couverture du sol mais de façon limité vu qu'ils ne représentent pas des grandes pourcentages par rapport aux zones de faible végétation.
- ✓ Aucune très forte végétation et c'est presque nul dans notre zone en question et ce qui favorise très fortement le phénomène d'érosion.

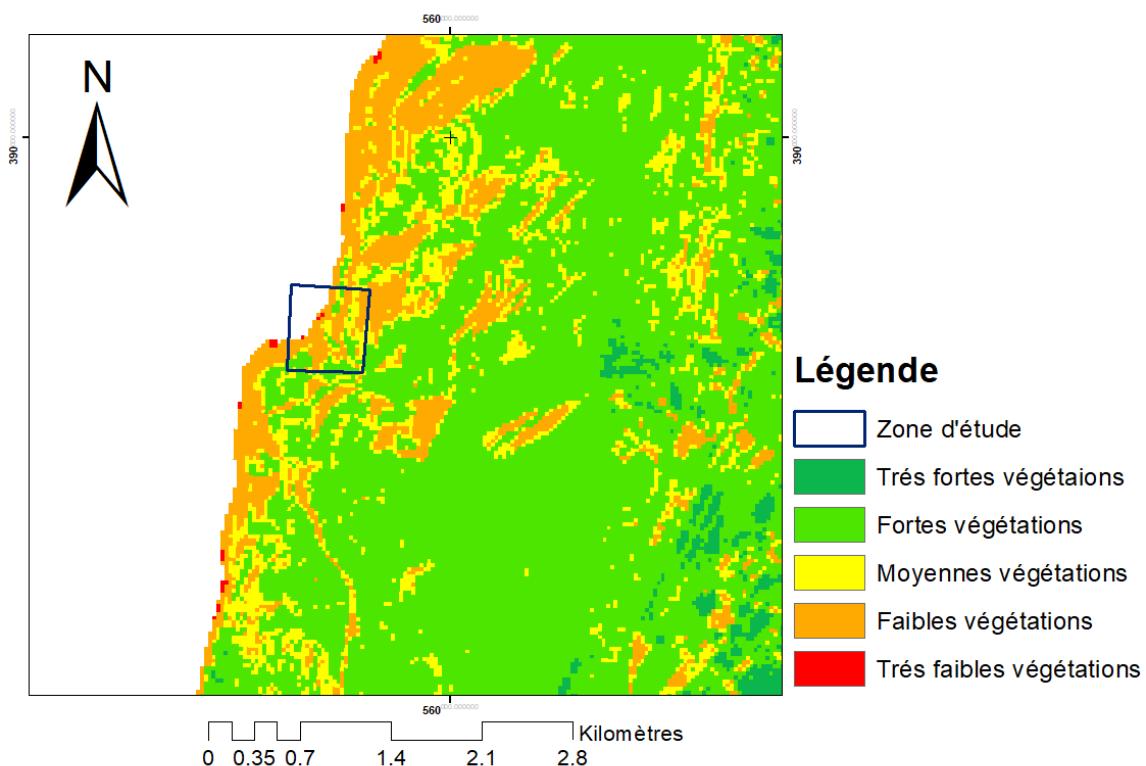


Figure 5: couverture végétale du zone Ain Oktor-Korbous

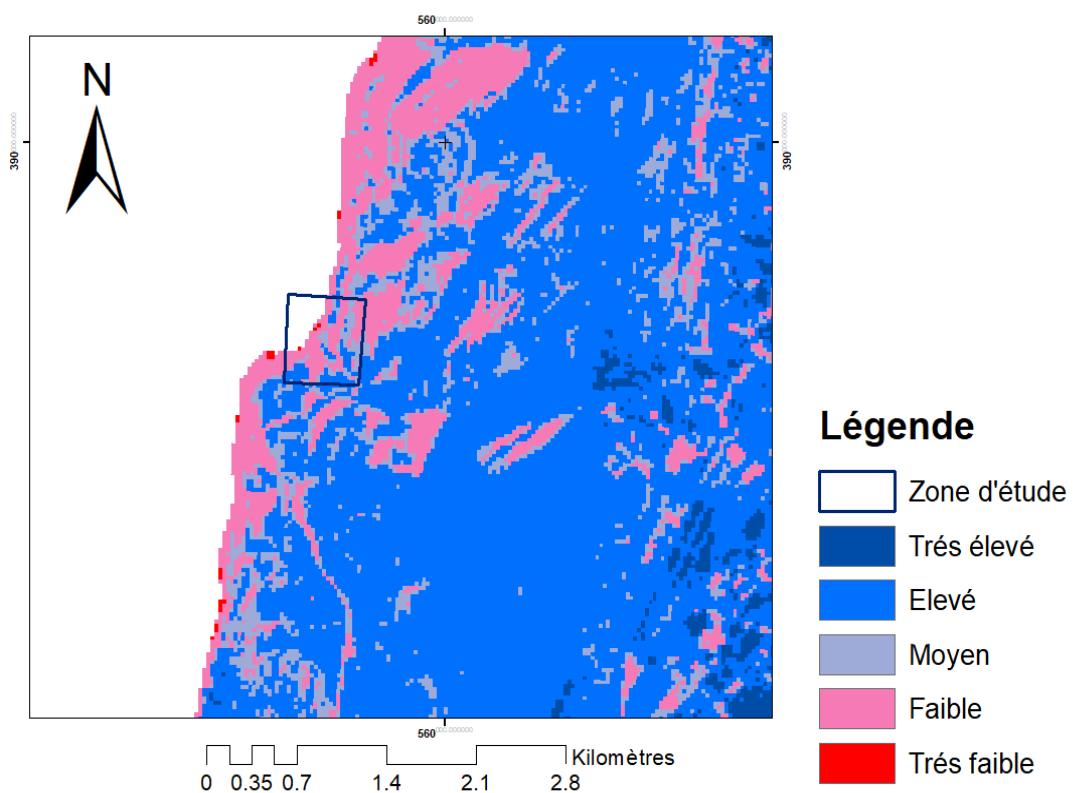


Figure 6: Niveau de protection du sol par la couverture végétale selon la directive PAP/CAR

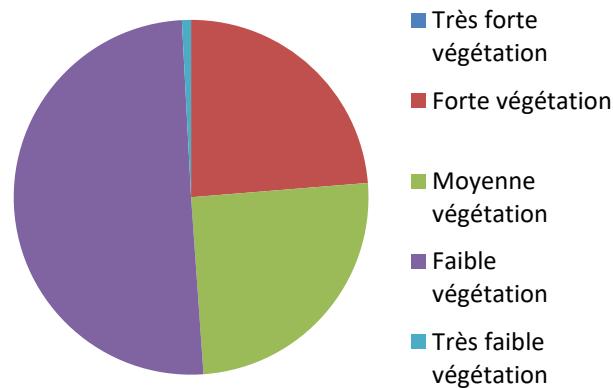


Figure 7: Diagramme de niveau de végétation

D'autre part, la végétation dense représente la majorité de la superficie totale de Takelsa-Slimane (**Figure 8** et **Figure 9**), tandis que la végétation faible occupe le reste de la surface. Cela confirme notre hypothèse pour notre zone en question (qui est indiquée dans un encadré dans la légende) et c'est que l'érosion est plus probable que pour le reste de la surface Takelsa-Slimane.

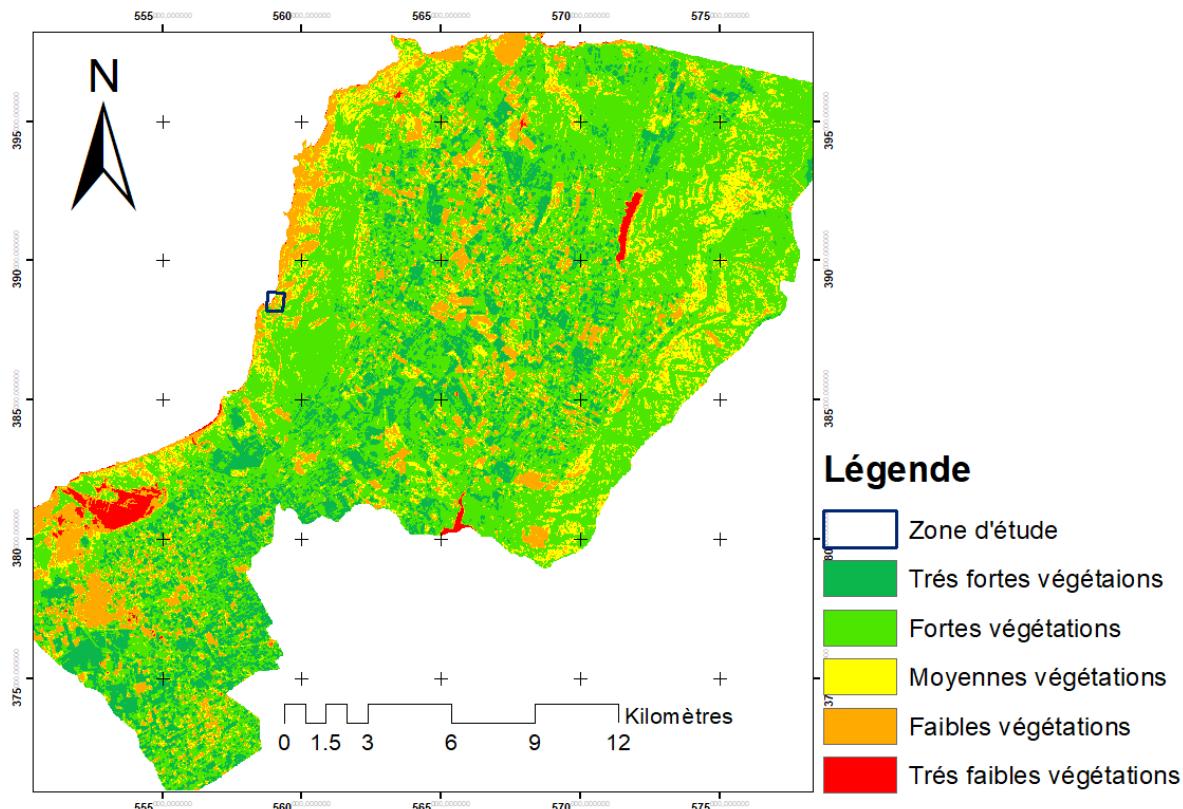


Figure 8: couverture végétale du zone Takelsa-Slimane

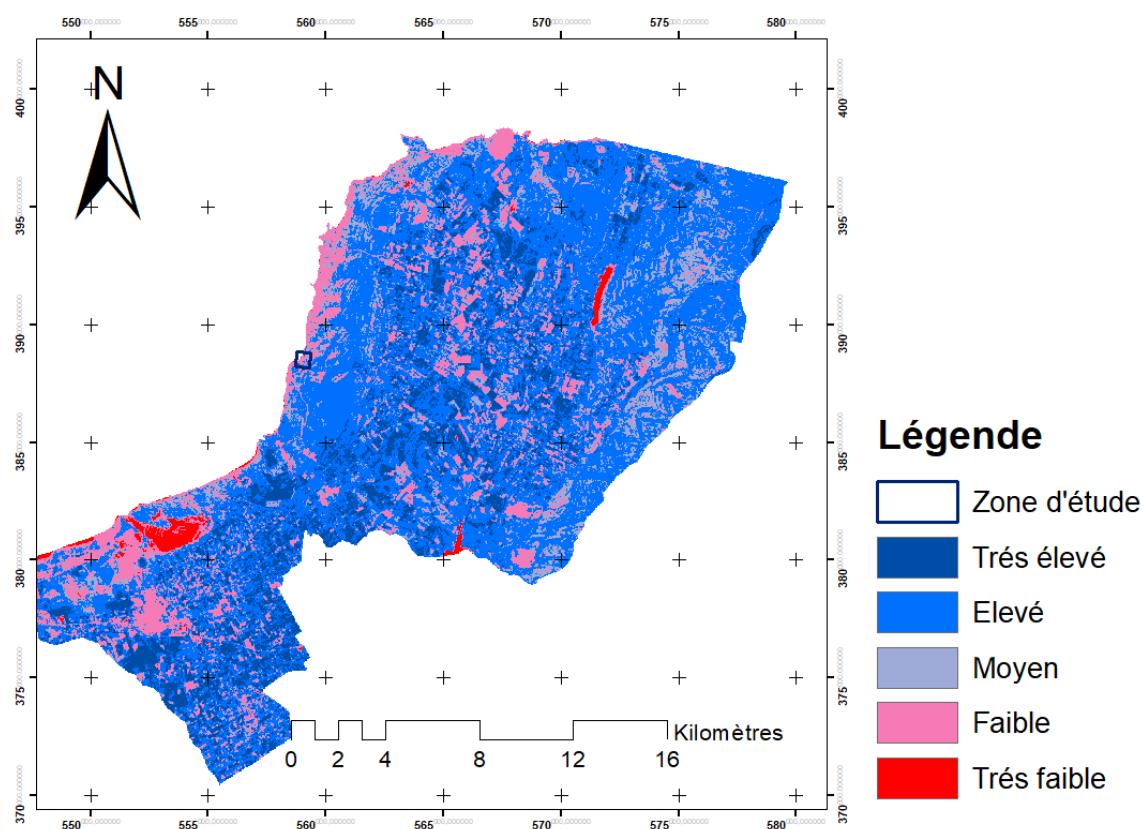


Figure 9: Niveau de protection du sol par la couverture végétale selon la directive PAP/CAR

## B. Vulnérabilité en fonction de la pente

Pour le facteur de pente, la raideur de la pente favorise de manière exponentielle la vitesse de ruissellement et donc l'arrachement et le déplacement des particules de sol. Ce facteur est dérivé des images SRTM de la région. Le tableau suivant documente les différentes catégories de pentes et les risques associés.

Les classes des pentes	Degré de risque	Valeurs de pente
1	Faible	0-3 %
2	Faible à moyen	3-7 %
3	Moyen à élevé	7-15 %
4	Elevé à très élevé	15-30 %
5	Très élevé	> 30 %

L'analyse de la carte des pentes (**Figure 10**) montre que environ de 57% de la surface totale de notre zone est à relief à moyennement à fortement accidenté ( $7\% < \text{pente} < 15\%$ ) alors que 15% est à reliefs élevés à très élevés ( $15 < \text{pente} < 30\%$ ).

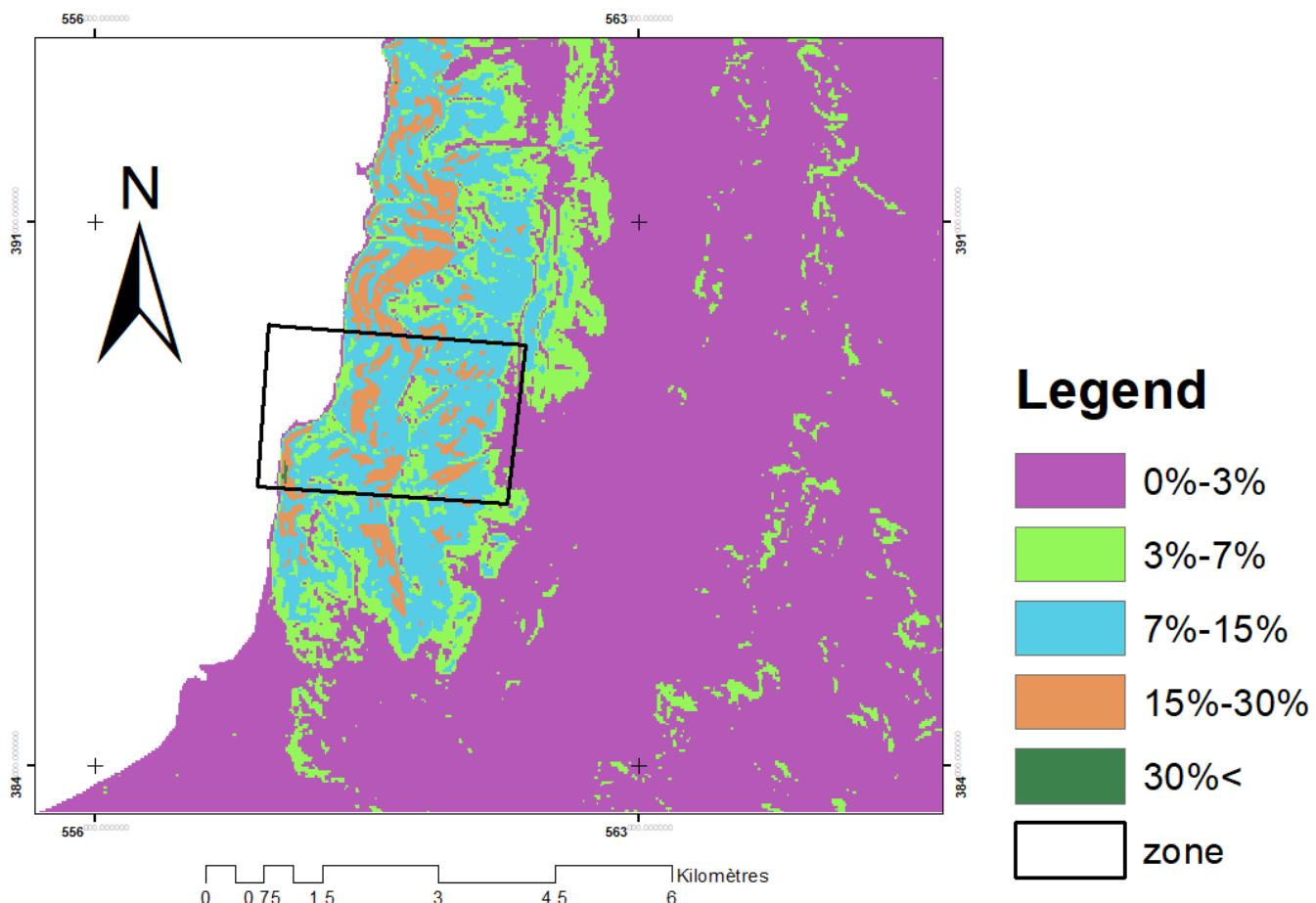


Figure 10: Carte des pentes (%) de la zone Ain Oktor-Korbous

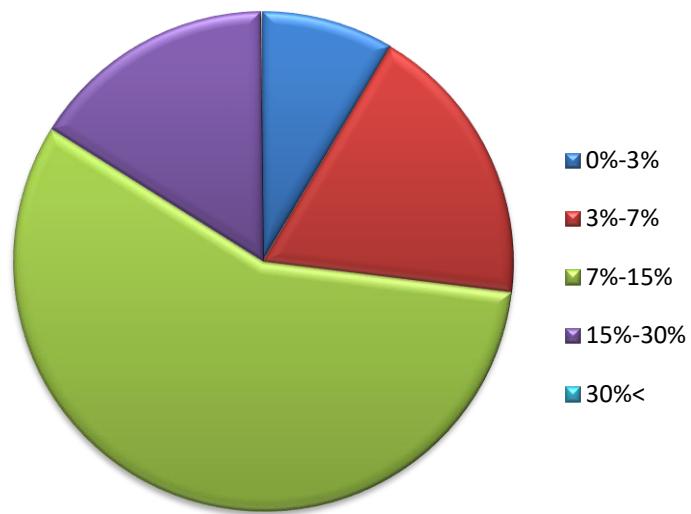
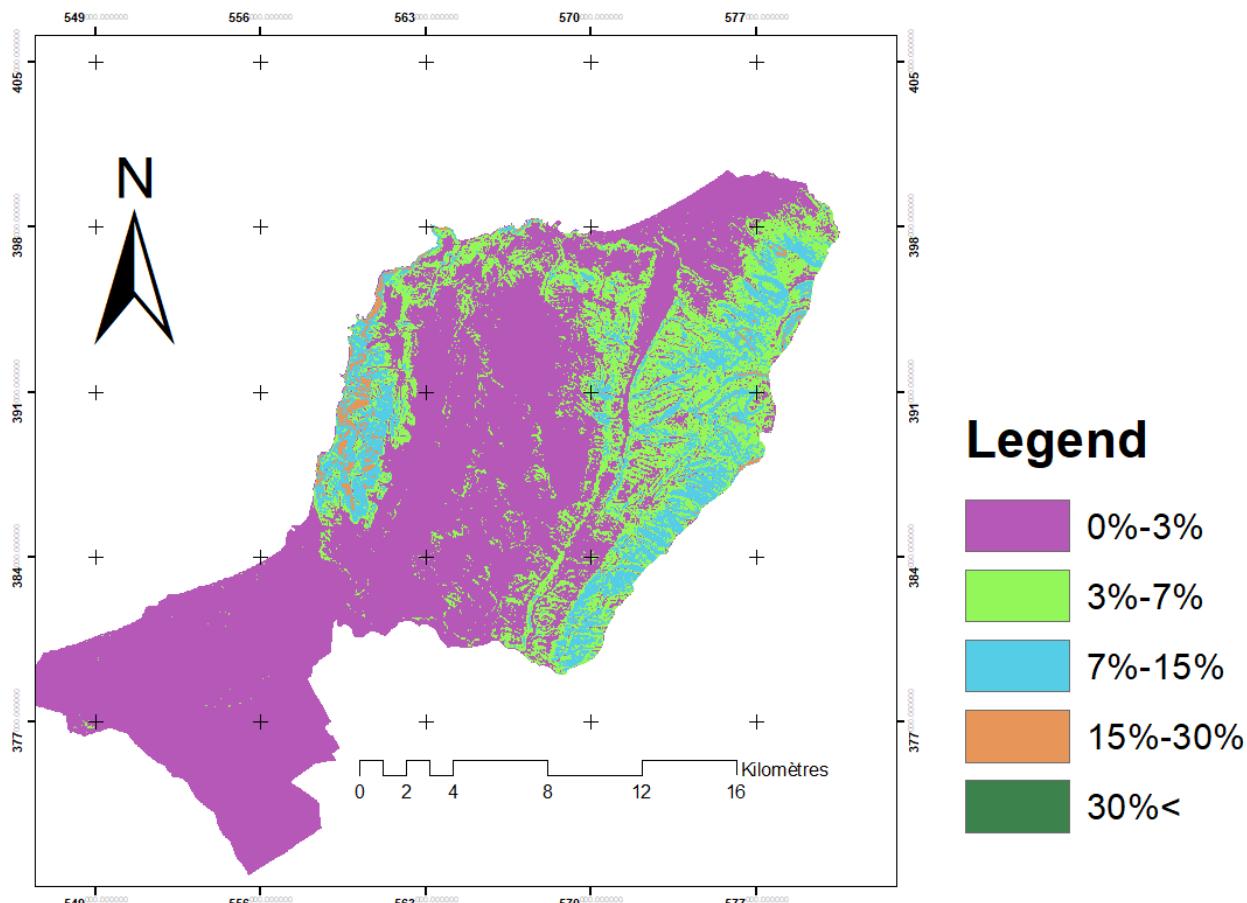


Figure 11: Diagramme circulaire des pentes (%)

Par contre, une très faible pente (0%-3%) occupe la majorité de la zone Takelsa-Slimane(**Figure 12**) et une variété de types de pente mais avec une petite quantité en surface et ce qui confirme le fait que le phénomène de l'érosion est plus probable dans notre zone en question que dans le reste en terme de pente.



*Figure 12: Carte des pentes (%) de la zone Takelsa-Slimane*

### C. Vulnérabilité en fonction de la lithologie.

Le djebel Korbous se présente sous la forme d'une structure monoclinique, correspondant à l'anticlinal qui s'effondre dans le golfe de Tunis sur son versant ouest. A l'Est du

Jebel Korbous, se personnalise le synclinal de Takeelsa et la plaine de Sidi Er Raies au sud. Au bord de la mer, les caractéristiques morphologiques du terrain sont des falaises rocheuses abruptes taillées dans la série oligo-miocènes. Les basses altitudes ne se trouvent que de part et d'autre du Jebel Korbous, à partir de Sidi Er Raies du côté sud De Port Prince au nord. (STUDI).

Par conséquent, l'analyse de la carte de la formation de la surface montre que 37,62582% de la surface de la zone d'étude est couverte par les grés flus: Aquitanie, et le grès grossier:

Aquitaine couvre 25,38839% de la superficie totale et 28,7987% du Quaternaire, donc seulement 8.187082 sont laissés dans le calcaire : Oligocène. (**Figure 13**) et (**Figure 14**)

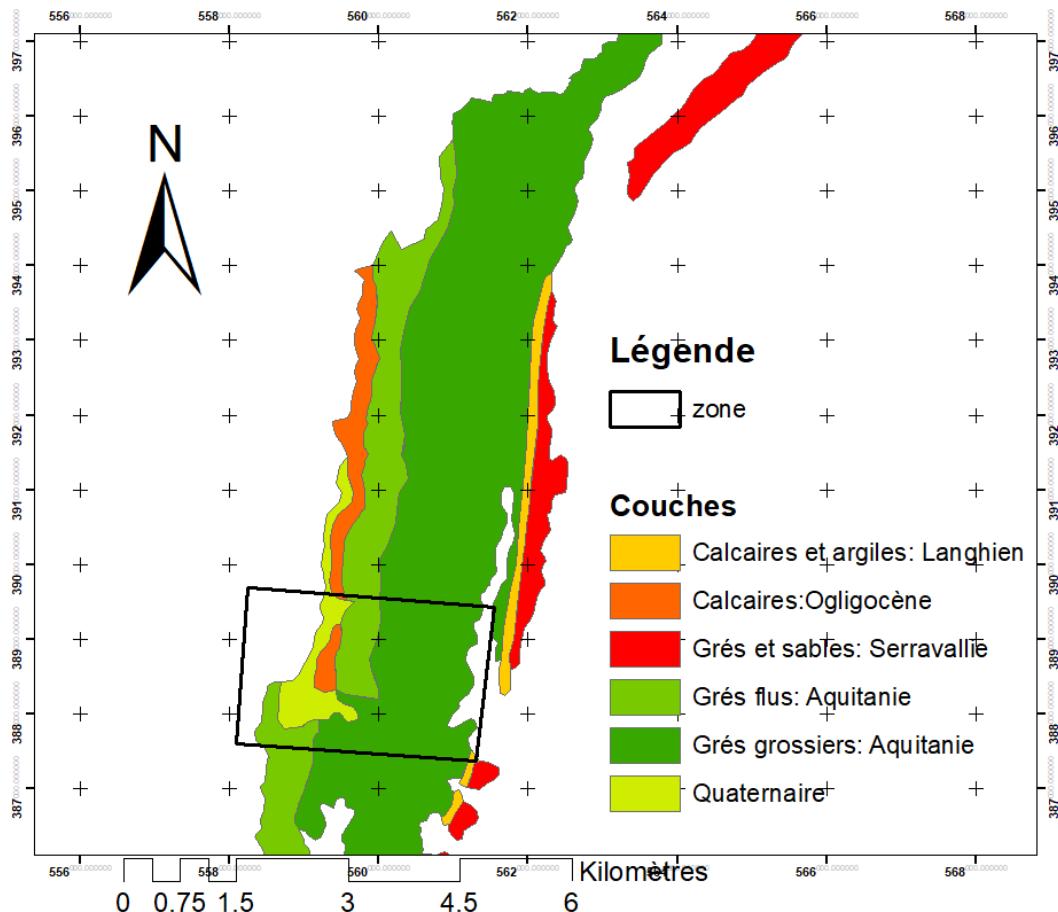


Figure 13: Carte de la lithologie de la zone Ain-Oktor Korbous (carte géologique de la Tunisie)

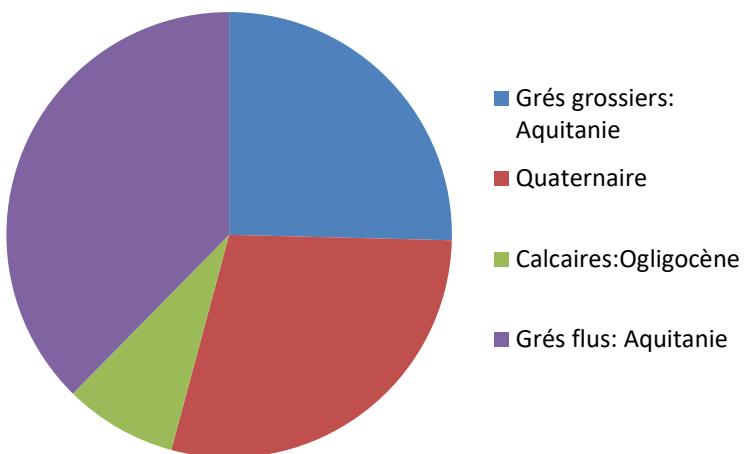


Figure 14: Diagramme circulaire des couches de lithologies

Nous avons construit la première carte qui est la carte d'érodibilité (**Figure 15**) résultante de la superposition de la carte des pentes avec celle des affleurements. La première constatation est que les grés flus: Aquitanie qui constituent une grande partie de la zone d'étude sont associés à de fortes pentes (élévées à très élevées), le calcaire :Oligococène et le quaternaire qui sont très peu perméables sont associés à des moyennes et faibles pentes et ils créent des conditions favorables à l'érosion. Cinq classes d'érodibilité ont été finalement distinguées : du faible au très élevée (**Figure 16**).

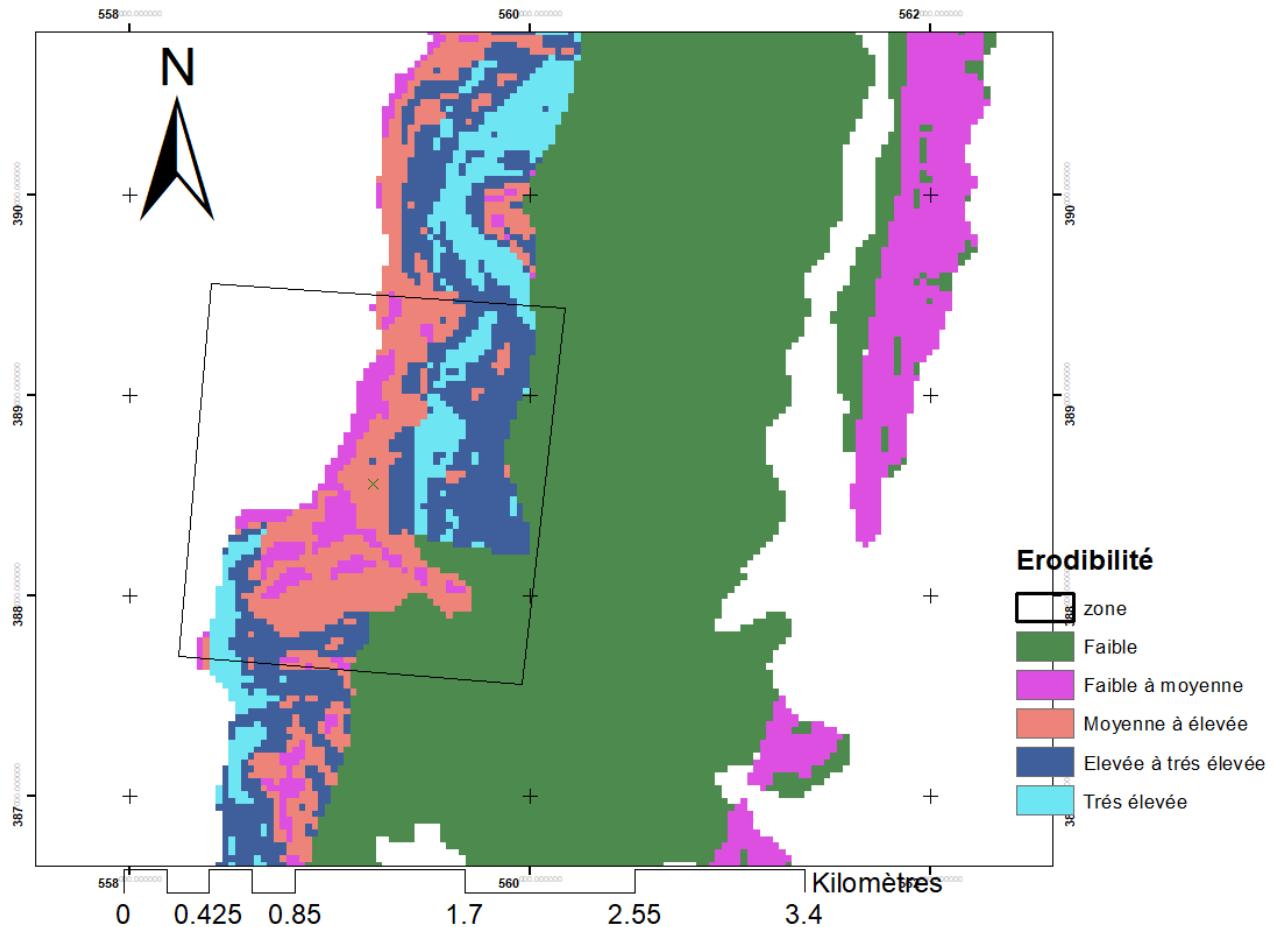
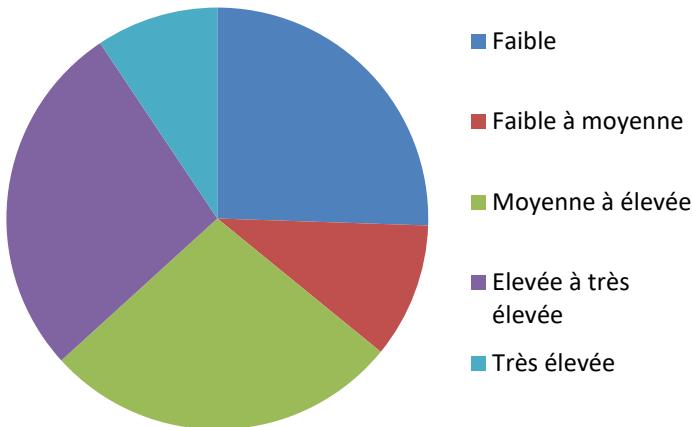


Figure 15: Carte de l'érodibilité de la zone Ain-Oktor Korbous selon le modèle PAP/CAR



*Figure 16: Diagramme circulaire de niveau de l'érodibilité*

La classification des zones selon leur érodibilité montre que d'une part la classe d'érodibilité élevée à très élevée couvre 27.37391 % de la superficie totale et se localise dans la partie Nord-West et centrale et Sud de notre zone d'étude (Quadrant noir), dont la partie est à pente raide supérieure à 10%, et d'autre part que la classe faible et faible à moyenne est représentée sur 10.36457% de la superficie du zone. Alors que la majorité du terrain représente une érodibilité moyenne à élevée 27.35661% ou les fissures se représentent. Cette carte montre que malgré les faibles pentes de la partie centrale, on en trouve une érodibilité élevée vu la nature meuble de ses formations. Bien évidemment l'inclinaison de la pente influe sur l'accroissement de l'énergie cinétique des écoulements, pour favoriser le charriage des particules du sol.

Le deuxième produit cartographique concerne l'effet du couvert végétal dans la stabilisation du milieu contre l'érosion, nous avons obtenu la carte des états érosifs (**Figure 17**) qui exprime la sensibilité à l'érosion hydrique. Cette carte met en évidence l'effet du couvert végétal dans la stabilité du milieu, puisque selon sa densité, la gravité de l'état érosif diminue ou augmente. Mesrar (2012) montre que l'occupation est moins significative que la densité de la couverture, chose mise en évidence aussi pour le site d'Ain-Oktor Korbous. Quatre classes d'état érosif ont été trouvé (**Figure 18**) : très faibles, faible, moyen, grave et très grave.

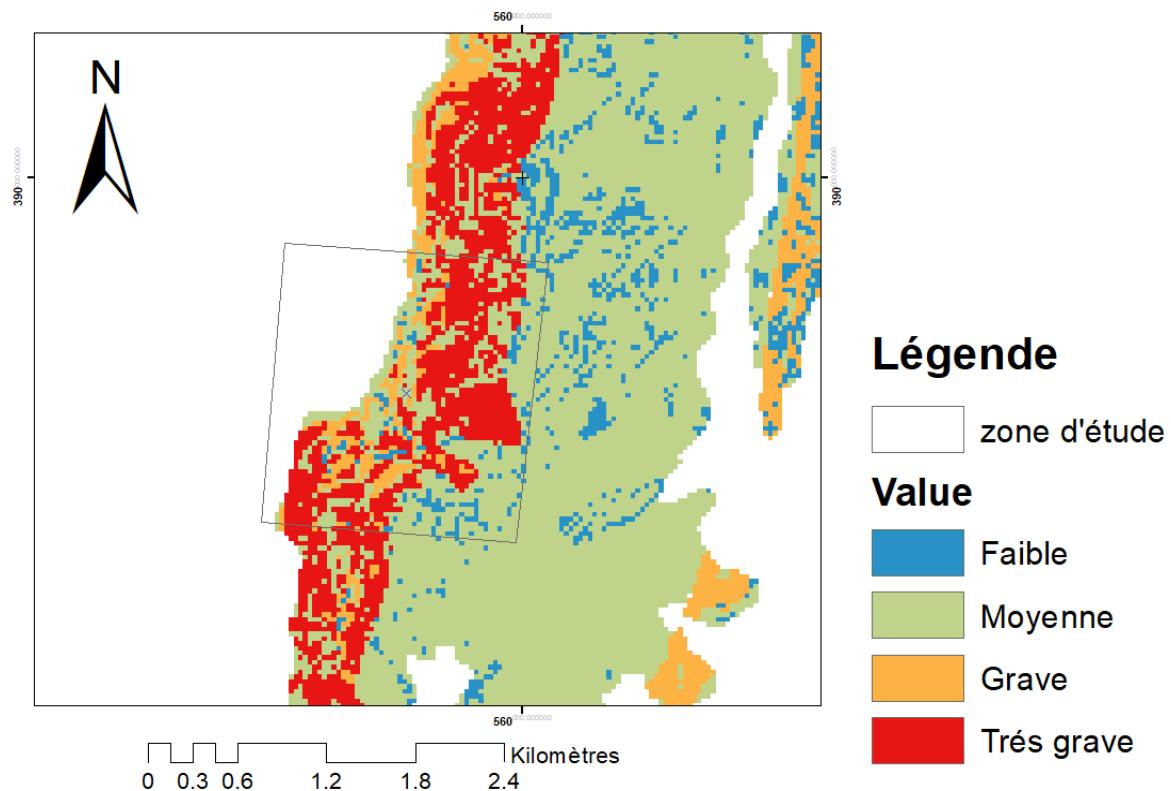


Figure 17: Carte des états érosifs de la zone Ain-Oktor

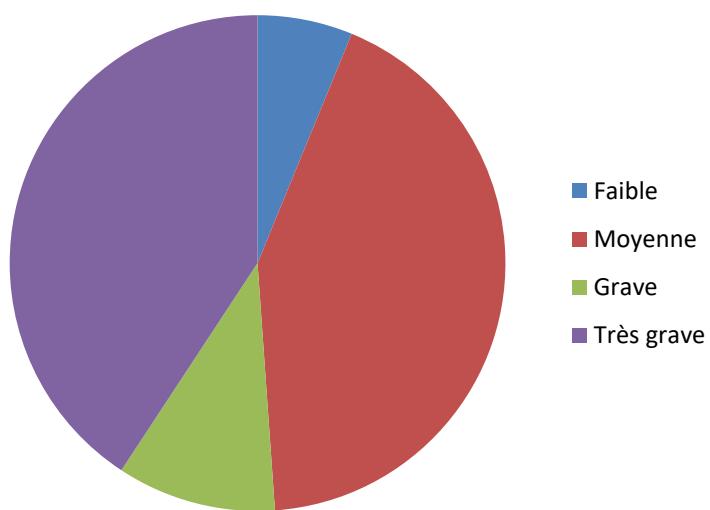


Figure 18: Diagramme circulaire du niveau des états érosifs

En effet, les aires couvertes par les faibles végétations et par les faibles végétations allant du moyen au grave. Par contre, pour les zones forte végétation la sensibilité à l’érosion hydrique est toujours grande en dépit de la nature de la formation superficielle. En revanche, une zone très pentue qui représente une couverture végétale naturelle développée aura une réduction considérable dans son degré de sensibilité. Par contre, la modification des pratiques agricoles et le défrichement peuvent provoquer le ruissellement et l’érosion même à très faible pente (El Haj Hassan, 2013), et les facteurs morpho-pédologiques peuvent n’avoir qu’un effet réduit ou même ne pas avoir d’effet du tout s’il existe une couverture végétale qui annule ou amortit l’énergie cinétique de la pluie sur le sol (Veyret, 1992). L’analyse de la carte montre que seulement 6.20461% de la surface du zone d’étude (Quadrant noir) représente un état érosif faible, et se caractérise par des pentes faibles de 0 à 7%. Par contre le reste du terrain se caractérise par un état érosif moyen 42.67467% et très grave 40.7442%, ce sont les zones à matériaux érodables meubles et peu consolidés.

## Scénario de modification de la couverture végétale

Afin de mieux mettre en évidence l’effet du couvert végétal sur la stabilisation du milieu pour la zone Ain Oktor on a proposé un scénario permettant d’augmenter les superficies ayant un degré de protection très élevé, les superficies modifiées sont celles la faible végétation et très faible végétation. Le résultat est présenté par la carte suivante (**Figure 19**) :

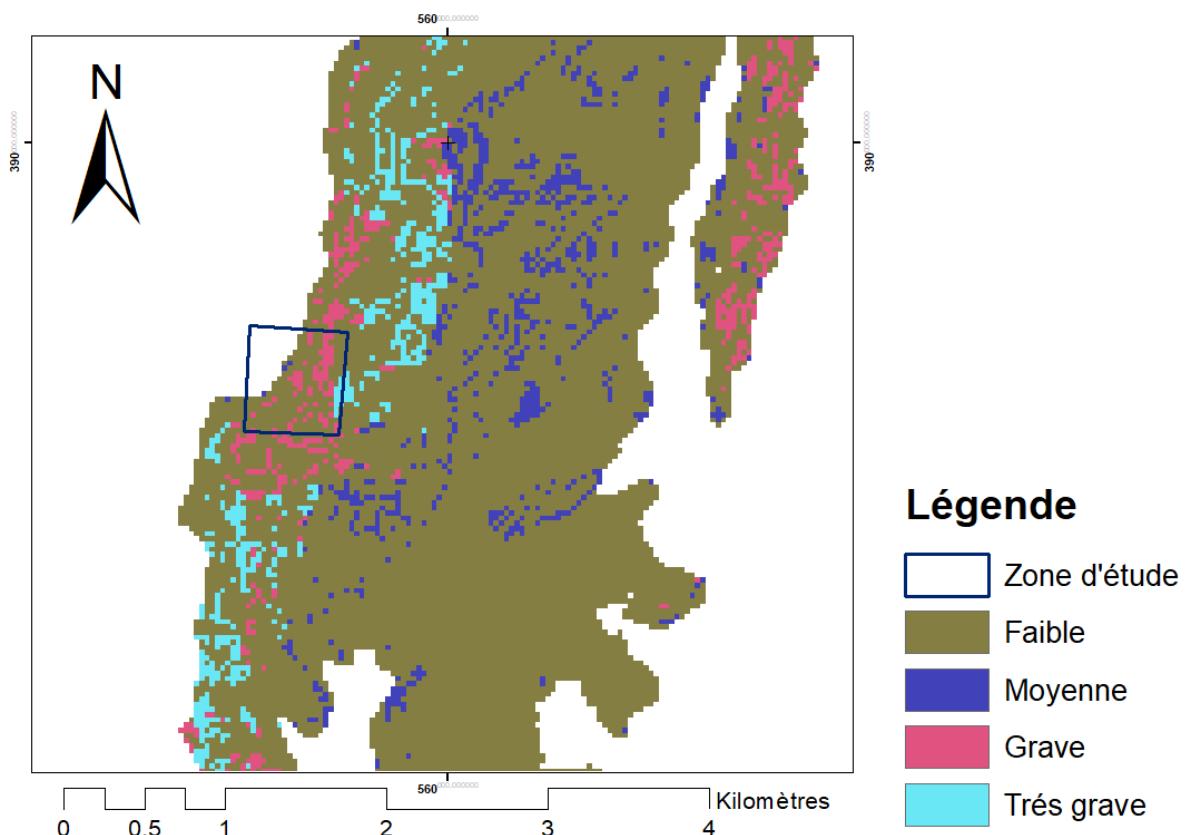


Figure 19: carte des états érosifs après application du scénario de modification de la couverture végétale

La classe d'érosion moyenne passe de 42.67467% à 0.72388% et très grave de 40.7442 à 20.12315% alors que la classe faible passe de 6.20461% à 72.17406%. Ce résultat témoigne de la grande importance du couvert végétal sur la préservation du milieu naturel et plus précisément des ressources en sol.

## **IV. Conclusion**

Ce travail est un exemple d'utilisation de données multi-sources pour étudier la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. La région d'Ain Oktor-Korbous montre une grande sensibilité à l'érosion dans les zones à forte pente ainsi qu'en plaine. Mais ce travail ne suffit pas si la bonne pratique des techniques douces ne complète pas ce traitement onéreux. La forme prédominante d'érosion est l'érosion diffuse (nappe), qui peut conduire à un décapage à un stade ultérieur. En plus des traces de déplacement de terrain, on a aussi remarqué une érosion linéaire sous forme de rigoles plus ou moins développées qui se transformaient parfois en un réseau de ravins.

L'analyse des cartes obtenues a montré qu'il y avait trois niveaux d'érodabilité : 10,36457 % de la zone était faiblement érodable, 27,35661 % était modérément érodable et le niveau dominant était très érodable, avec un pourcentage de 36,75227 %. De plus, l'ajout d'un facteur de densité de végétation pour déterminer la sensibilité à l'érosion a modifié la tendance de la carte d'érosion, car le degré moyen d'érosion est resté élevé avec un pourcentage de 42,67467 %, tandis que le degré d'érosion très sévère était majoritaire avec un pourcentage de 40,7442 %.

# Chapitre 2 : Instabilité et surveillance

## I. Introduction

Ce chapitre présente les aléas « mouvements de terrain », notamment l'instabilité des roches, qui sont les objectifs de suivi de ces travaux. Ces phénomènes sont difficiles à prévoir en raison de la complexité de caractériser pleinement la qualité (altération et discontinuité des dommages) des ponts en enrochements. La mise sous surveillance d'un site constitue une protection efficace lorsque les biens sont menacés. Nous présenterons les phénomènes d'instabilités rocheuses. Enfin, nous détaillerons quelques techniques instrumentales utilisées dans le monde pour la surveillance des instabilités rocheuses.

## II. Les phénomènes d'instabilités rocheuses

### A. Caractérisation du phénomène

L'instabilité des roches fait partie de l'aléa "mouvement de terrain". Ces phénomènes sont caractérisés par l'instabilité des massifs rocheux dont la gravité est le moteur de rupture [Flageollet, 1989]. L'instabilité des roches se manifeste sous la forme d'éboulements ou de glissements de terrain pouvant constituer une menace pour les biens et les personnes. Ces phénomènes sont plus fréquents et destructeurs dans les zones montagneuses, où les pentes sont souvent fortes et peuvent mobiliser de grandes quantités de matière (forte énergie potentielle). L'instabilité est caractérisée par des descripteurs physiques et la probabilité de rupture (fréquence d'occurrence). Le volume est le critère le plus décisif pour évaluer les dangers. C'est pourquoi nous classons principalement les instabilités dans la littérature selon la force du phénomène (effondrement de volume). On distingue donc les chutes de pierres (volume < 0,1 m<sup>3</sup>), les chutes massives (volume < 10 m<sup>3</sup>), les glissements de terrain (volume < 10 000 m<sup>3</sup>), et les effondrements ou glissements de terrain massifs (volume > 10 000 m<sup>3</sup>) [PPR, 1999, LCPC, 2004].

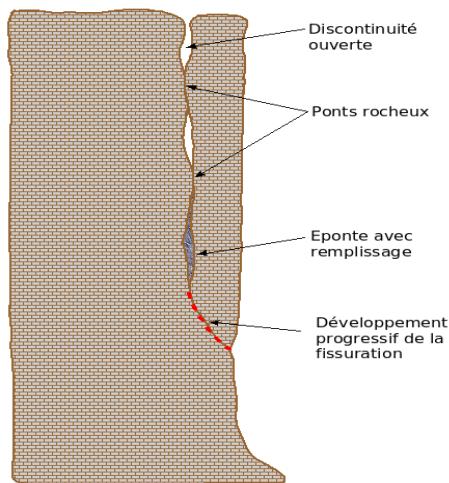
D'autres classifications sont basées sur le mécanisme de rupture, le type de matériau ou le mode de déplacement [Cruden et Varnes, 1996, CFGI, 2000]. Du point de vue de la sûreté, la vitesse d'instabilité (rupture et propagation) est un élément essentiel à considérer lors de la définition de la protection. Ainsi, on peut distinguer le glissement, un mouvement lent et graduel montrant des signes de présage, et le basculement, un mouvement graduel plus ou moins rapide avec un indice évolutif observable, et la rupture, un mouvement rapide sans signes de présage (**Annexe A-1**). Il n'est pas rare d'observer une combinaison de plusieurs de ces mécanismes (un mécanisme menant à l'autre) simultanément ou de façon échelonnée dans le temps.

L'identification de l'instabilité des roches se fait essentiellement par observation. Un massif rocheux est soumis à des aléas d'instabilité lorsqu'il présente un état de fracturation avancé ou

des traces de glissements de terrain antérieurs. L'identification des facteurs intrinsèques et des déclencheurs permettra une représentation de l'instabilité [Finlayson et Statham, 1980].

Les facteurs intrinsèques correspondent à la description géo-mécanique du massif rocheux. Ils comprennent (**Figure 20**) :

- ✓ Définir les discontinuités (localisation, type) qui constituent les points faibles de la parcelle, dans lesquelles se développent les changements physico-chimiques qui contribuent à la stabilité de la parcelle ;
- ✓ Caractéristiques structurelles des diverses discontinuités et leurs relations (orientation, pendage, persistance, espacement, etc.) ;
- ✓ Caractéristiques géomorphologiques et géo-mécaniques (lithologie, paroi ouverte, remplissage, rugosité, volume des divers éléments instables, etc.) ;
- ✓ Définition des mécanismes de rupture possibles (glissement, rupture de surplomb ou pied de colonne, basculement, etc.) (**Annexe A-1**).

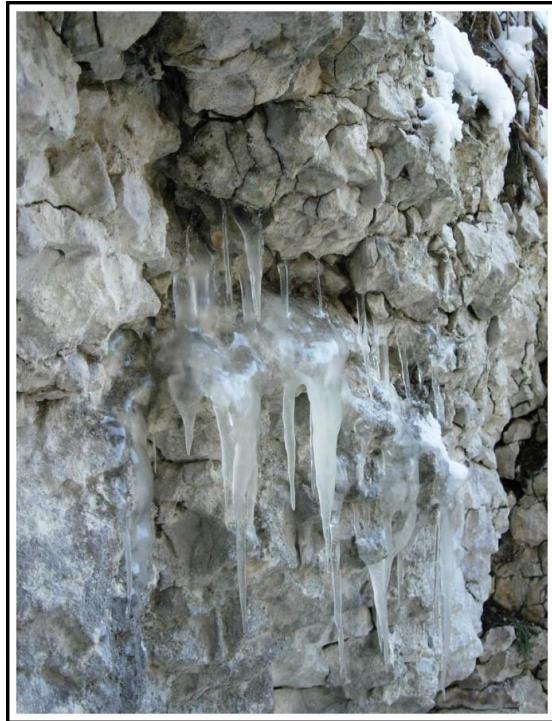


*Figure 20: Facteurs intrinsèques d'une écailler rocheuse participant à l'évolution de sa stabilité (P.Mourot)*

Les facteurs intrinsèques se détériorent sous l'effet d'un stress externe. Ce sont tous des processus qui peuvent interférer avec la stabilité de la masse rocheuse. Ces facteurs dits « évolutifs » et « déclenchant » peuvent être naturels ou artificiels. Les facteurs évolutifs, aussi appelés facteurs de dégradation, sont définis par des comportements (changement, gel/dégel) qui agissent régulièrement sur la stabilité. Les déclencheurs sont liés à des actions discrètes soudaines (tremblements de terre, pression de l'eau après de fortes pluies). Globalement, ils sont identifiés par :

- ✓ Données hydrologiques et hydrogéologiques (présence d'eau, précipitations, débit) ;
- ✓ Activité sismique ;
- ✓ Données climatiques (cycles gel-dégel, vent, sécheresse) (**Figure 21**) ;

- ✓ Données liées au couvert végétal ;
- ✓ Données historiques ;
- ✓ Activités humaines à proximité (ingénierie, dynamitage, barrages, trafic routier, etc.).



*Figure 21: Action du gel sur la fracturation de la roche (Grands Goulets, photo P.Mourot)*

L'instabilité est liée à la probabilité de défaillance, qui est définie comme la probabilité qu'une masse rocheuse commence à se déplacer dans un laps de temps donné. Cependant, ce critère est difficilement quantifiable car il dépend de facteurs intrinsèques (résistance) et déclencheurs (forces motrices) dont l'action combinée va modifier l'état stable du massif rocheux. L'instabilité est également liée à la probabilité d'atteinte, qui correspond à la probabilité qu'un bloc rocheux atteigne une certaine zone. Dans ce cas, la trajectoire et l'énergie générée par la chute peuvent être estimées à l'aide d'un modèle numérique de terrain. L'étude de la propagation dépend de la topographie de la pente (pente, forme, obstacles, forme et caractéristiques des blocs, etc.).

Il existe un certain nombre de codes de calcul de trajectoire permettant d'évaluer les conditions possibles de propagation des blocs dans une rampe (modèle LCPC, modèle ADRGT, ENTPE PIR3D, modèle BRGM, modèle EPFL). Les résultats obtenus à partir de ces modèles sont principalement utilisés pour définir les ouvrages de protection (limites de propagation, énergie et distribution d'impact, volume de débris post-propagation, etc.). Les résultats de simulation peuvent varier d'un code à l'autre car le modèle ne tient pas compte des mêmes interactions rhéologiques. De plus, la corrélation des résultats dépend de la corrélation

des paramètres d'entrée. Pour cette raison, les valeurs de ces paramètres doivent être calibrées par les informations de propagation de masses de blocs sur le terrain.

## B. Évolution d'une instabilité vers la rupture

La stabilité des massifs rocheux évolue progressivement dans le temps. Sa résistance diminue naturellement avec le temps à mesure que les facteurs évolutifs augmentent [Finlayson & Statham, 1980, Hantz, 2003]. La déformation qui se produit dans la matière solide est si faible qu'elle est à peine visible en surface. Lorsque la force motrice domine, la stabilité évolue vers une phase d'accélération, marquée par des changements topographiques visibles. Selon le type d'instabilité (de quelques minutes à plusieurs mois), cette phase peut se dérouler sur une durée très variable. L'effondrement des massifs instables atteint une période paroxystique. Dans le cas d'un mouvement de terrain lent de type glissement de terrain, la phase d'accélération est évidente et il y a des signes évidents de déplacement en surface [Azimi et al. 1988, Duranthon et al. 2003]. Ce n'est pas le cas de l'instabilité rocheuse, difficile à prévoir car la phase d'accélération du phénomène est très courte et difficilement observable. Il existe différentes approches pour évaluer l'instabilité des roches, avec des objectifs allant de la caractérisation des aléas à la probabilité d'atteindre l'instabilité. Certaines méthodes différentes incluent :

- la méthode Rock Engineering System (RES) [Hudson, 1992], qui peut être ajustée selon le choix des paramètres utilisés et peut définir un indice de probabilité d'endommagement (Rockfall Instability Index, RII) ;
- La méthode Rockfall Hazard Assessment Procedure (RHAP) utilisée en Lombardie (Italie), qui permet une évaluation rapide de la probabilité et du risque de dommages;
- la méthode du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [LCPC, 2001], basée sur un mode opératoire détaillé et utilisant des méthodes qualitatives pour évaluer l'apparition d'instabilité selon une échelle composée de 5 échelles ;
- la méthode MATTEROCK [Rouiller et al, 1998], basée sur une analyse détaillée de la stabilité et fournissant une cartographie du périmètre d'impact de chute de blocs par unité de temps ;
- Méthodes historiques, géo-mécaniques et probabilistes (HGP) [Hantz et al., 2003], qui utilise une approche globale pour évaluer les risques et corrèle la fréquence des glissements de terrain dans une zone donnée avec la probabilité de rupture de bloc déterminée par des méthodes géo-mécaniques, empiriques ou statistiques ;
- La méthode Rock Hazard Assessment System (RHRS) [Pierson et al. 1990], développée spécifiquement pour le secteur routier, constitue une méthode opérationnelle qui fournit une cartographie du périmètre d'impact des chutes de blocs selon la morphologie, la fréquence et la géographie
- propriétés mécaniques des rocher;
- La méthode Rock Mass Rating (RMR) [Bieniawski, 1993], développée pour l'ingénierie du sous-sol, pour classer les massifs rocheux d'un point de vue géo-mécanique sans évaluer leur rupture. Une adaptation appelée Slope Quality Rating

(SMR) [Romana, 1993] étend son application aux remblais (pentes remaniées). Ces différentes approches impliquent la qualité de la roche, les discontinuités, les apports d'eau et différents paramètres externes qui affectent la stabilité. Ils permettent de définir des partitions spatiales dangereuses en termes probabilistes.

Cependant, ils ne peuvent rendre compte de l'évolution temporelle de cet aléa et ne permettent donc pas d'obtenir une véritable évaluation du risque. Une autre façon d'intégrer ce problème est l'approche instrumentale. Dans ce cas, il s'agit de détecter les indicateurs physiques de l'évolution de l'instabilité vers la rupture et de quantifier les paramètres pertinents par des mesures instrumentales en continu. En corrélant les différents paramètres mesurés, tels que l'ouverture des fissures, les précipitations, les mesures de pression, etc., l'instrument peut comprendre les mécanismes qui agissent au sein d'une masse instable. Cependant, ces méthodes ne sont pas toujours adaptées aux phénomènes présentant des phases d'accélération rapides. En effet, ce type de phénomène se produit brutalement lors de sa phase d'accélération avec un déplacement très rapide dont l'amplitude est nettement inférieure à la résolution des capteurs de mesure de déplacement classiques. Dans la méthode d'évaluation des risques ci-dessus, dans le cadre de l'instrument d'instabilité de la roche, nous prenons comme exemple LIRIGM [Dussauge-Peisser, 2002]. Il ne s'agit pas ici d'évaluer la probabilité d'une rupture dangereuse, mais de décrire précisément l'instabilité afin de déterminer la meilleure technique d'instrumentation à mettre en œuvre. Dans le cadre de cette méthode, la caractérisation de l'instabilité est présentée sous la forme d'un tableau décrivant les paramètres à considérer dans l'évaluation des risques (voir annexe A-2). L'intérêt de ce tableau est sa structure, qui rend la collecte des données aussi objective que possible. Il comporte quatre parties :

- paramètres statiques (S), liés à l'analyse de la stabilité actuelle ;
- Paramètres dynamiques (D), indice sportif ;
- Facteur d'évolution continue (FC) ;
- Facteur d'évolution aléatoire/discontinu (FD), ou déclencheur. Chaque titre se voit attribuer une note de 0 à 10 pour la description des paramètres liés à la nature de l'instabilité. Un score élevé indique un caractère très défavorable. De plus, à chaque titre est attribué un indice de qualité des observations, noté a, b et c, qui différencie les observations fiables des observations non vérifiées (ou inaccessibles).

### III. Surveillance des instabilités rocheuses

L'instabilité rocheuse ne représente pas le risque naturel le plus meurtrier en Tunisie et dans le monde. Or, une enquête en Rhône-Alpes a montré que dans les glissements de terrain, l'érosion pluviale et les éboulements, les travaux de sécurisation de l'itinéraire sont les seconds [LCPC, 2001]. Pour se prémunir contre ces risques, deux grandes lignes de protection sont généralement utilisées :

- La protection active, qui vise à intervenir sur les aléas en luttant contre les phénomènes, y compris les opérations telles que la stabilisation, le renforcement, le drainage, les terrassements, l'exploitation minière, la dépollution, etc. ;
- Protection passive, agissant sur les conséquences du phénomène, correspondant à la construction d'ouvrages tels que barrages, écrans, fosses, melons, chicanes, déflecteurs, etc.

## A. La mise sous surveillance

Lorsque des travaux de protection ne sont pas envisageables, du moins à court terme, une autre solution consiste à surveiller le site. La surveillance n'agit pas directement sur les conséquences d'un phénomène, par exemple en limitant sa propagation, mais intervient indirectement en avertissant qu'un danger est imminent. Il existe différents degrés de surveillance.

Les observations peuvent mettre en évidence la présence de régions instables dans le massif. Il s'agit d'une action ponctuelle, visuelle, non instrumentée réalisée par un expert dans le cadre de la définition d'un danger ou de son suivi. L'inspection visuelle sur site (observations qualitatives: apparition de nouvelles fractures, apports d'eau, état de fracturation, structure géologique, etc.) constitue une base importante pour assurer un suivi fiable, qui n'est en aucun cas une situation réduite à une interprétation directe de la mesure.

L'auscultation est la première étape de l'instrumentation du site. Il permet une inspection régulière du site au moyen de capteurs de mesure, à lecture directe (vision de terrain) ou automatique (via des dispositifs d'enregistrement de données de terrain). Cette inspection périodique fournit des informations précises sur l'évolution de l'instabilité [LCPC, 1994].

Au sens strict, la différence entre la surveillance et l'auscultation est la gestion de la sécurité. Le but de la surveillance est d'assurer un contrôle total ou partiel de l'instabilité. Il doit fournir des informations précises sur l'évolution de l'état de stabilité du massif rocheux. La collecte périodique et régulière des données permet d'exploiter et d'interpréter les informations relatives à la stabilité des parcelles sur des échelles de temps adaptées à la nature du phénomène [LCPC, 1994].

## B. Techniques instrumentales utilisées en surveillance

Pour mieux suivre l'évolution des parcelles instables, la surveillance nécessite la mise en place d'un large éventail d'outils et de méthodes. L'instrument et la méthode qui lui est appliquée doivent pouvoir mesurer les paramètres qui caractérisent la stabilité du massif rocheux et l'évolution des facteurs déclenchant. Cependant, de toutes les techniques de mesure qui existent aujourd'hui, il existe un nombre limité de techniques disponibles pour surveiller l'instabilité des roches. En pratique, l'utilisation de l'instrument dépend :

- La compatibilité de la technique avec la grandeur physique que l'on cherche à mesurer et sa vitesse d'évolution ;

- Contraintes environnementales du site (température, humidité, environnement corrosif, poussière, bruit, etc.) ;
- La capacité d'intégrer la technologie dans des processus de mesure automatisés dans le cadre d'un système de gestion des alarmes. Différentes techniques instrumentales peuvent être utilisées pour surveiller l'instabilité gravitationnelle.

Une liste détaillée est fournie en annexe (voir Annexe A-2). Ces techniques peuvent être regroupées en 5 approches outils principales :

- Mesures de déformation structurelle (surface et profondeur) ;
- Mesure des vibrations ;
- Détection d'objets en mouvement ;
- Mesure de niveau et de pression ;
- Mesures météorologiques.

Parmi ces méthodes, il existe des choix plus ou moins différents de techniques pour effectuer les mesures. Par exemple, les méthodes de mesure de la déformation comprennent un large choix de techniques, en particulier pour la déformation de surface, y compris les extensomètres, la topographie, la géodésie, le radar, la mesure vidéo et les techniques interférométriques. Par contre, la mesure du niveau de la nappe phréatique est différente et ne peut être déterminée que par des méthodes manométriques. Cependant, lorsqu'un procédé présente un ensemble de techniques disponibles, le choix de la technique à mettre en œuvre dépendra de la nature de l'objet à détecter. Afin de sélectionner la technique la plus adaptée, la caractérisation du danger est essentielle.

L'expérience a montré que la définition des seuils et des critères d'alerte est souvent spécifique à la situation et affinée sur la base d'un suivi préalable de l'instabilité. Par conséquent, il faut être prudent quant à l'utilisation de modèles déterministes, qui se concentrent généralement sur l'extrapolation d'une seule variable (le déplacement). Cependant, les fluctuations de déplacement (ouvertures de fractures) ne sont pas nécessairement une représentation exhaustive de la stabilité du massif rocheux. De plus, l'état d'équilibre au moment de la surveillance ne peut être connu qu'avec une grande incertitude. La surveillance est généralement déterminée lorsque le mouvement est observé et confirmé. Enfin, les conditions aux limites géo-mécaniques et structurelles des massifs rocheux, y compris l'emplacement des surfaces de rupture, sont souvent imprécises.

Ainsi, si les modèles peuvent être validés *a posteriori*, leur application peut démontrer qu'ils ne fonctionnent que dans la phase finale de la crise, la phase d'accélération déterministe avant la rupture [Rocher, 1992].

Il existe de nombreux types de ruptures potentielles de massifs rocheux, qui peuvent atteindre l'ampleur des ruptures de pente à grande échelle - comme les grands sites Les massifs rocheux de la Séchilienne, de Randa ou de la Clapière-, ou des Gorges de la Bourne ou des Grands Goulets du Vercors, impliquent un degré de complexité et d'interaction, donc les dynamiques sont très différentes. Il est donc clair qu'on ne peut chercher un modèle unique

pour expliquer cette dynamique. L'identification de grandes classes de dynamique de mouvement gravitationnel est un objectif en soi. La localisation des instabilités au sein de ces grandes catégories aide à identifier les paramètres observables pertinents, ainsi qu'à surveiller et prévoir l'évolution de ces instabilités (par exemple, [Rochet, 1992 ; Effendiantz et Rochet, 2000]).

L'expérience a montré que la définition des seuils et des critères d'alerte est souvent basée empiriquement sur une base au cas par cas et affinée en fonction de l'inspection initiale de l'instabilité (par exemple, [Effendiantz et Rochet, 2000]). Il est également nécessaire de tester un ensemble de paramètres, pas un seul. Il est également nécessaire de déterminer quels jeux de paramètres sont pertinents. Par conséquent, il est nécessaire d'être prudent quant à l'utilisation de modèles qui se concentrent sur l'extrapolation uni variée (déplacement). Les fluctuations de déplacement (ouvertures de fractures) ne sont pas nécessairement une bonne représentation de la dynamique interne fine de la stabilité du massif rocheux.

Par exemple, une masse associée à une parcelle par plusieurs ponts de pierre répartis sur la surface verticale arrière de la fissure peut rester immobile ou se déplacer en une minute et peut se déplacer de manière non mesurable, alors que l'état des ponts de pierre est lent mais continu. (Par exemple transfert de masse) évoluent sous l'influence. Les mesures de déplacement ne peuvent pas représenter correctement cette dynamique de profondeur. La question est de savoir si des mesures acoustiques ou l'utilisation du bruit sismique acquis en continu peuvent permettre de mieux comprendre l'évolution de l'état de telles fractures et des ponts rocheux qu'elles contiennent. Ainsi, si les modèles peuvent être validés a posteriori, leur application peut démontrer qu'ils ne fonctionnent que dans la phase finale de la crise, la dernière phase d'accélération avant la rupture.

## IV. Conclusion

La surveillance des aléas ne peut être déterminée qu'après une phase initiale d'identification. Les instruments sont ensuite définis en fonction des objectifs recherchés. En fait, dans ce chapitre, nous avons défini les différents types de phénomènes d'instabilité des roches et leurs principales causes, suivis des types d'instruments pouvant être utilisés pour surveiller ce phénomène. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir une compréhension approfondie de l'objet (instabilité de la roche) et de l'instrumentation.

# Chapitre 3 : Levé topographique

## I. Introduction

Un dispositif d'auscultation du mouvement du sol permet de suivre l'évolution du mouvement en mesurant son déplacement. Dans ce chapitre, nous décrirons en détail les mesures de terrain réalisées avec une station totale, ainsi on citera tous les points de détermination de fissures qui caractérisent le phénomène de déplacement du sol et les méthodes de calcul utilisées.

### A. Site d'étude

#### 1. Introduction

Dans la route d'Ain-Oktor, on remarque l'existence des fissurations qui apparaissent juste à côté de la surface de la route (**Figure 22**). Afin d'établir une analyse de ces fissurations, on a effectués des mesures qu'on va les détailler dans le reste de ce chapitre.



*Figure 1:Les Fissurations étudiées*

## 2. Croquis du levé :

Le croquis de notre levé de détail est composé d'un point de stationnement(ST), deux points connues S2 et S3, respectivement, référence et contrôle et 12 points nommés de A jusqu'à L.

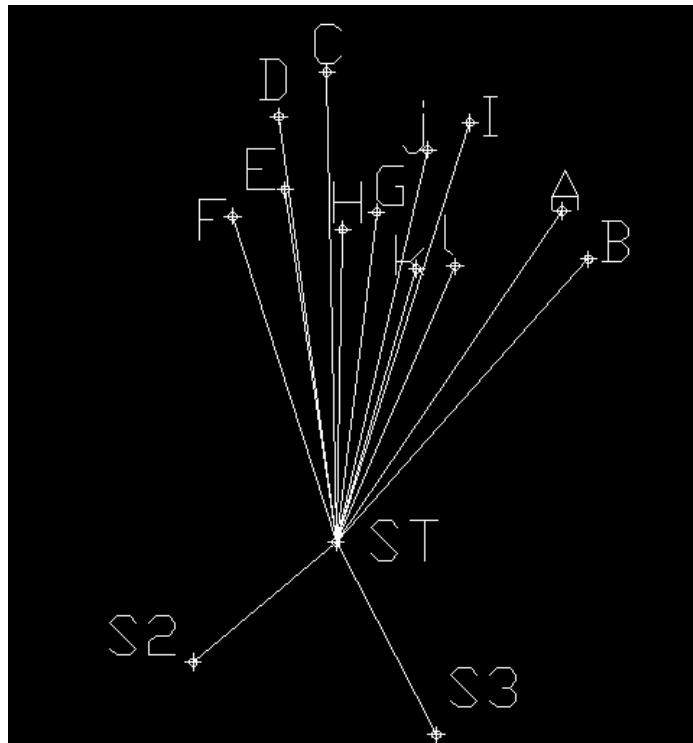


Figure 2: Croquis de levé

## II. Canevas de Base

### A. Généralité

En générale, un canevas est un ensemble de point repartis sur une surface à lever tel que la précision de ses points sont à moins égale à la précision que l'on attend du levé. Ce canevas serve comme un appui au levé de détail et dont tous ses points sont exprimés dans un même système.

Le canevas planimétrique est réalisé à l'aide d'un ensemble de techniques de mesure sur le terrain dont les bornes ou points doivent être matérialisés de manière durable et suffisamment dense pour renforcer le levé de détail.

## B. But

- ❖ Connaissance de terrain
- ❖ Choisir des points comme stations sur le terrain à condition qu'à partir de ces derniers on puisse visualiser le point géodésique connu pour les rattachements.
- ❖ Préparation du canevas de base sur terrain.
- ❖ Préparation d'un réseau géodésique constitué par une chaîne de triangles.

## C. Application sur terrain

Les opérations sur terrain seront conditionnées par les modes de calcul tel que la Triangulation dans notre cas pour ce projet.

Après l'établissement de variante théorique de canevas au bureau et avant de l'accepter ou modifier l'emplacement de quelques points ou établir une nouvelle variante on doit sortir sur terrain et on doit certainement examiner :

- ❖ La visibilité des points entre eux.
- ❖ Le nombre des points connus visibles pour chaque point nouveau.
- ❖ L'existence des points réellement sur terrain.
- ❖ La possibilité de stationner sur chaque point.
- ❖ La stabilité de chaque point.

Les points de canevas de bases sont présentés dans l'annexe (numéro de l'annexe)

# III. La Triangulation

## A. But

La triangulation est une technique de mesure d'un point inconnu en (X,Y), à partir d'un ensemble de triangles rattachés les uns aux autres et dont on connaît les positions(X,Y) et les angles de ses sommets .

## B. Principe

Identifiez un réseau de points (en coordonnées) uniforme, précis, dense et conservé de manière persistante. Le réseau servira de support pour le travail de suivi.

Afin de déterminer les coordonnées des points, les observations nécessaires sont faites entre les différents points du réseau triangulaire de sorte que chacun des trois points forme un triangle : deux points sont connus et le troisième est déterminé en suivant un algorithme de calcul.

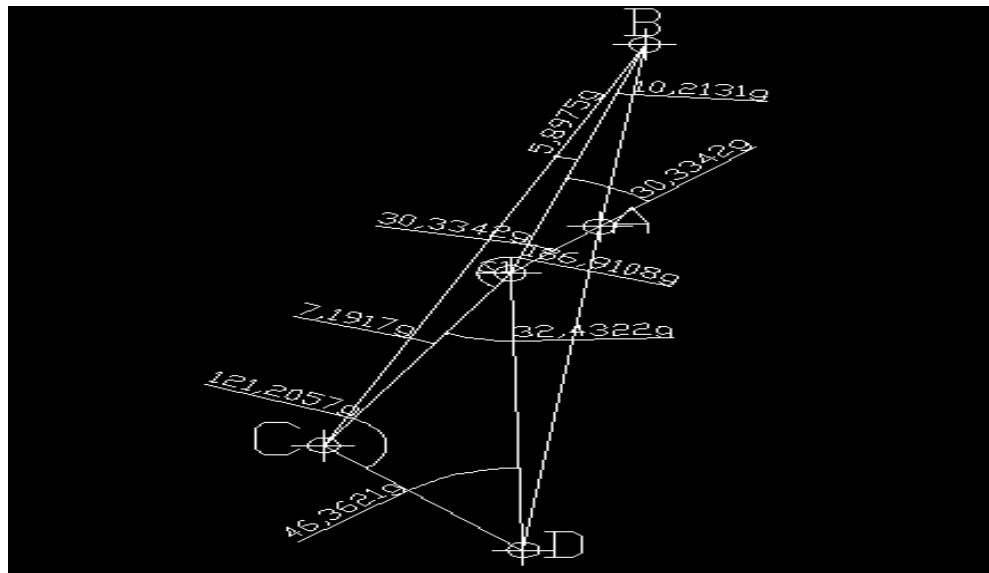
Un canevas de triangulation est nécessaire quelle que soit l'importance de la mesure de la propriété, des routes, des bâtiments ou de la topographie naturelle.

Un canevas de base doit couvrir tous les terrains à mesurer, même au-delà des limites choisies.

Ci-dessous on présente les points de polygonation de base qui construisent notre canevas dans un tableau:

	X	Y
Point A	559186.38100	388779.73900
Point B	559227.86600	389123.80100
Point C	558931.25400	388365.95300
Point D	559115.76200	388168.56000

*Tableau 1: Les points de polygonation de base qui constituent le canevas*



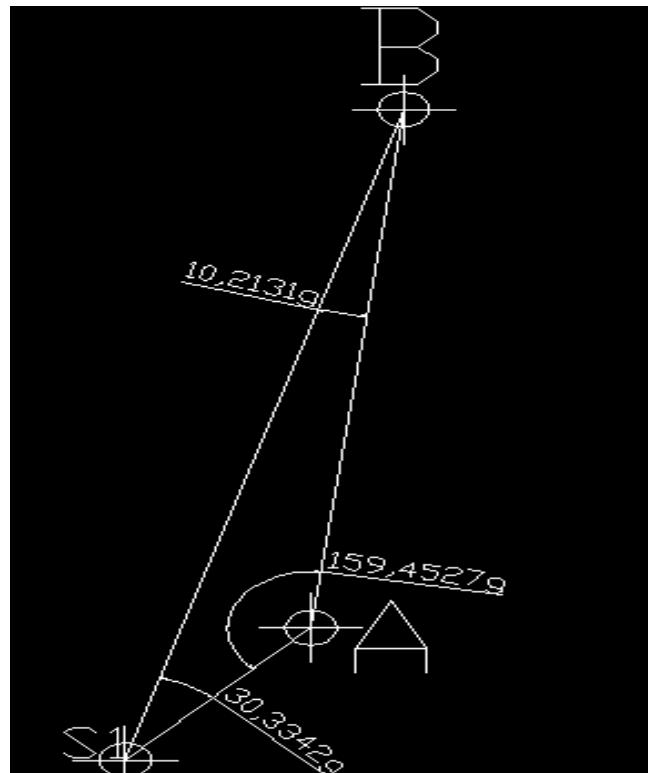
*Figure 3: Croquis du canevas*

Le système de coordonnées utilisé dans ce chapitre est «Carthage UTM zone 32 Nord »

- Les points de polygonale de base seront représentés dans l'annexe III.

#### ❖ Algorithme de calcul

##### ○ Le premier triangle



On a:

$$BAS_1 = 159.4527 \text{ gr}$$

$$ABS_1 = 10.2131 \text{ gr}$$

$$AS_1B = 30.3342 \text{ gr}$$

$$BAS_1 + ABS_1 + AS_1B = 200 \text{ gr}$$

D'après la règle de sinus on a :

$$\frac{AB}{\sin(AS_1B)} = \frac{AS_1}{\sin(ABS_1)} = \frac{BS_1}{\sin(BAS_1)}$$

$$AB = \sqrt{\Delta x(AB)^2 + \Delta y(AB)^2}$$

$$AB = \sqrt{(559186.381 - 559227.866)^2 + (388779.739 - 389123.801)^2} = 346.5539858m$$

$$AS_1 = \frac{AB \sin(B)}{\sin(S1)} = 120.6955991m$$

$$BS_1 = \frac{AB \sin(A)}{\sin(S1)} = 449.3553787m$$

$$GAB = \arctan\left(\frac{\Delta x(AB)}{\Delta y(AB)}\right)$$

$$GAB = \arctan\left(\frac{559186.381 - 559227.866}{388779.739 - 389123.801}\right) = 7.639114837 gr$$

On a  $GAS_1 = GAB - BAS_1$

$$GAS_1 = 7.639114837 - 159.4527 + 400 = 248.1864148 gr$$

$$X_{S_1} = X_A + AS_1 \sin(GAS_1)$$

$$X_{S_1} = 559186.38100 + 120.6955991 \sin(248.1864148) = 559103.501899m$$

$$Y_{S_1} = Y_A + AS_1 \cos(GAS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388779.73900 + 120.6955991 \cos(248.1864148) = 388691.998m$$

→ Contrôle :

On a :  $GBS_1 = GAB + 200 + ABS_1$

$$GBS_1 = 7.639114837 + 200 + 10.2131 = 217.8522148 gr$$

$$X_{S_1} = X_B + BS_1 \sin(GBS_1)$$

$$X_{S_1} = 559227.86600 + 449.3553787 \sin(217.8522148) = 559103.501899m$$

$$Y_{S_1} = 389123.80100 + 449.3553787 \cos(217.8522148) = 388691.99800m$$

Ainsi on a :

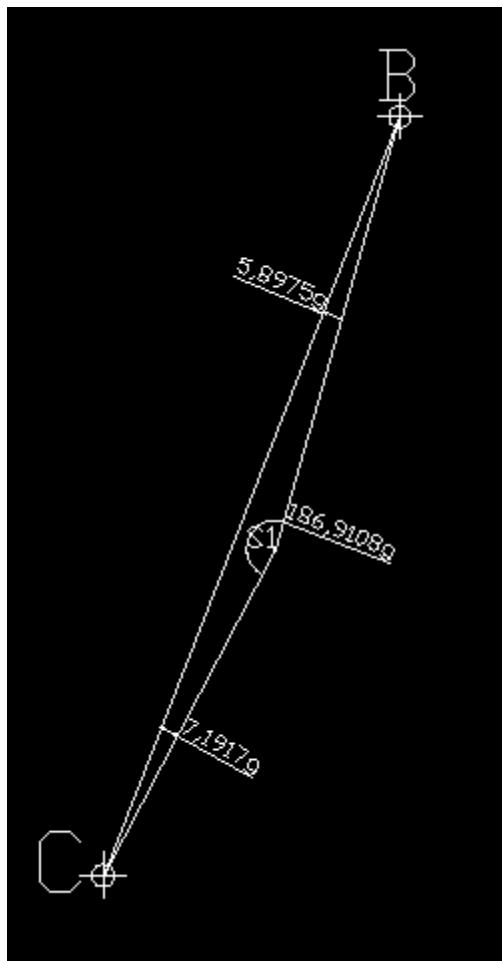
$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.501899 - 559103.501899 = 0$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388691.99800 - 388691.99800 = 0$$

- Le deuxième triangle



On a :

$$BCS_1 = 7.1917 gr$$

$$CBS_1 = 5.8975 gr$$

$$CS_1 B = 186.9108 gr$$

$$BCS_1 + CBS_1 + CS_1 B = 200 gr$$

D'après la règle de sinus on a :

$$\frac{BC}{\sin(BS_1 C)} = \frac{BS_1}{\sin(CBS_1)} = \frac{CS_1}{\sin(BCS_1)}$$

$$BC = \sqrt{\Delta x(BC)^2 + \Delta y(BC)^2}$$

On a:

$$CS_1 = \frac{BC \sin(CBS_1)}{\sin(CS_1 B)}$$

$$CS_1 = \frac{813.8256998 \sin(5.8975)}{\sin(186.9108)} = 368.7474845 m$$

$$BS_1 = \frac{BC \sin(BCS_1)}{\sin(CS_1 B)}$$

$$BS_1 = \frac{BC \sin(7.1917)}{\sin(186.9108)} = 449.3553542 m$$

$$GBC = \arctan\left(\frac{\Delta x(BC)}{\Delta y(BC)}\right)$$

$$GBC = 200 + \arctan\left(\frac{\Delta x(558931.25400 - 559227.86600)}{\Delta y(388365.95300 - 389123.80100)}\right) = 223.7497094 gr$$

$$GBS_1 = GBC - CBS_1$$

$$GBS_1 = 223.7497094 - 5.8975 = 217.8522094 gr$$

$$X_{S_1} = X_B + BS_1 \sin(GBS_1)$$

$$X_{S_1} = 559227.86600 + 449.3553787 \sin(217.8522148) = 559103.501899 m$$

$$Y_{S_1} = Y_B + BS_1 \cos(GBS_1)$$

$$Y_{S_1} = 389123.80100 + 449.3553787 \cos(217.8522148) = 388691.99800 m$$

→ Contrôle :

On a:

$$GCS_1 = GBC + BCS1 - 200$$

$$GCS_1 = 223.7497094 + 7.1917 - 200 = 30.94140938 \text{ gr}$$

$$X_{S_1} = X_c + CS_1 \sin(GCS_1)$$

$$X_{S_1} = 558931.25400 + 368.7474845 \sin(30.94140938) = 559103.501943 \text{ m}$$

$$Y_{S_1} = Y_c + CS_1 \cos(GCS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388365.95300 + 368.7474845 \cos(30.94140938) = 388691.99802 \text{ m}$$

Ainsi on a :

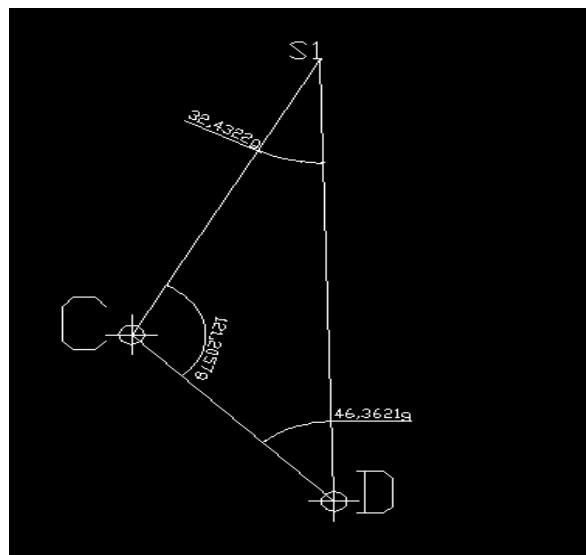
$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.501899 - 559103.501899 = 0$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388691.99800 - 388691.99800 = 0$$

- Le troisième triangle



On a:

$$DCS_1 = 121.2057 \text{ gr}$$

$$CDS_1 = 46.3621 \text{ gr}$$

$$DS_1 C = 32.4322 \text{ gr}$$

$$DCS_1 + CDS_1 + CS_1 D = 200 \text{ gr}$$

D'après la règle de sinus on a :

$$\frac{DC}{\sin(CS_1 D)} = \frac{CS_1}{\sin(CDS_1)} = \frac{DS_1}{\sin(DCS_1)}$$

$$CD = \sqrt{\Delta x(CD)^2 + \Delta y(CD)^2}$$

$$CD = \sqrt{(558931.25400 - 559115.76200)^2 + (388365.95300 - 388168.56000)^2} = 270.1984428 \text{ m}$$

$$CS_1 = \frac{CD \sin(CDS_1)}{\sin(CS_1 D)}$$

$$CS_1 = \frac{270.1984428 \sin(46.3621)}{\sin(32.4322)} = 368.7479742 \text{ gr}$$

$$DS_1 = \frac{CD \sin(DCS_1)}{\sin(CS_1 D)}$$

$$DS_1 = \frac{270.1984428 \sin(121.2057)}{\sin(32.4322)} = 523.5820757 \text{ gr}$$

$$GCD = \arctan\left(\frac{\Delta x(DC)}{\Delta y(DC)}\right)$$

$$GCD = \arctan\left(\frac{558931.25400 - 559115.76200}{388365.95300 - 388168.56000}\right) + 400 = 352.147084 \text{ gr}$$

On a :

$$GCS_1 = GCD - DCS_1 - 200$$

$$GCS_1 = 352.147084 - 121.2057 - 200 = 30.94138403 gr$$

$$X_{S_1} = X_c + CS_1 \sin(GCS_1)$$

$$X_{S_1} = 558931.25400 + 368.7474845 \sin(30.94140938) = 559103.501943 m$$

$$Y_{S_1} = Y_c + CS_1 \cos(GCS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388365.95300 + 368.7474845 \cos(30.94140938) = 388691.99802 m$$

❖ Contrôle :

On a :

$$GDS_1 = GDC + CDS_1 + 400$$

$$GDS_1 = 352.147084 + 46.3621 + 400 = 398.509184 gr$$

$$X_{S_1} = X_D + DS_1 \sin(GDS_1)$$

$$X_{S_1} = 559115.76200 + 523.5820757 \sin(398.509184) = 559103.502042 m$$

$$Y_{S_1} = Y_D + DS_1 \cos(GDS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388168.56000 + 523.5820757 \cos(398.509184) = 388691.9985 m$$

Ainsi on a :

$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.501899 - 559103.501899 = 0$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388691.99800 - 388691.99800 = 0$$

→ Résultat :

	Triangle1	Triangle2	Triangle3
X	559103.501899	559103.502	55103.5015
Y	388691.998	388691.998	388691.998
Xmoy	391103.5018		
Ymoy	388691.998		

Tableau 2: Les coordonnées résultats du point S1

## IV. La trilateration

### A. Définition

La triangulation est une technique de mesure d'un point inconnu en (X,Y), à partir d'un ensemble de triangles rattachés les uns aux autres et dont on connaît les positions(X,Y) de ses sommets et les distances entre eux.

### B. Principe

Le principe de la trilateration consiste à mesurer tous les côtés d'une chaîne de triangles, plutôt qu'une triangulation qui ne mesure que les angles.

Vous avez besoin d'un point de départ connu A dans le premier triangle et la direction.

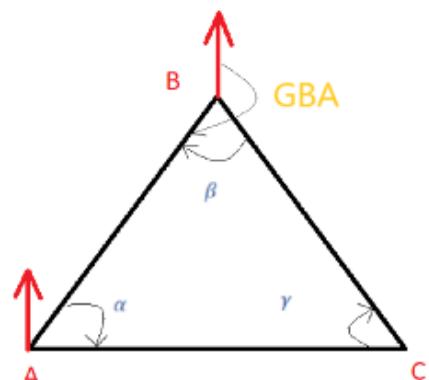
#### ❖ Algorithme de calcul :

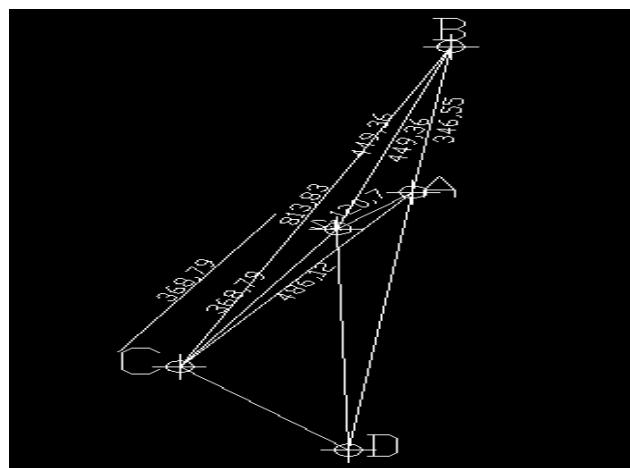
Soit a, b et c les trois côtés du triangle ABC comme suit ;

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \text{ Et on déduit } \alpha$$

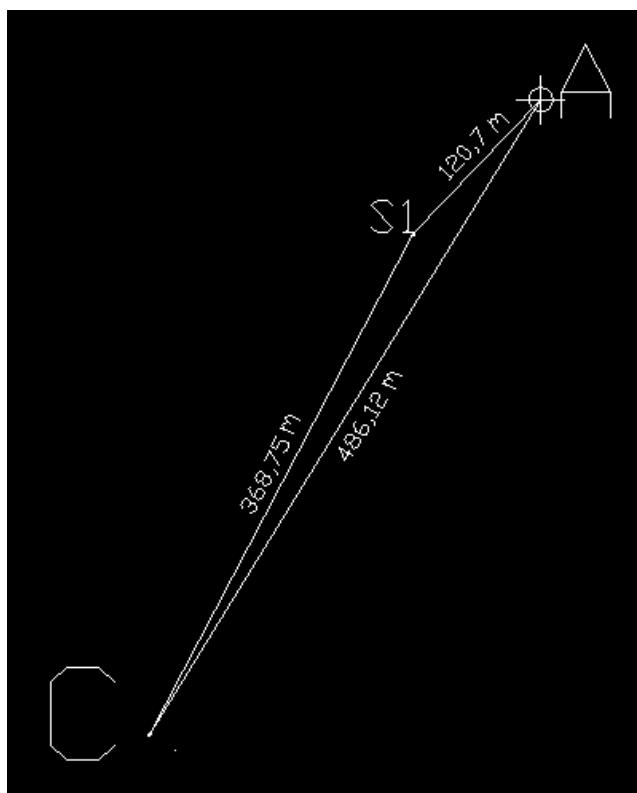
$$\cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \text{ Et on déduit } \beta$$

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \text{ Et on déduit } \gamma$$





- ❖ Algorithme de calcul
    - Le premier triangle



$$AC = 486.1158709m$$

$$AS_1 = 120.7m$$

$$CS_1 = 368.75m$$

D'après la règle des sinus on a :

$$AS_1C = \cos^{-1}\left(\frac{AS_1^2 + CS_1^2 - AC^2}{2 \times AS_1 \times CS_1}\right)$$

$$AS_1C = \cos^{-1}\left(\frac{120.7^2 + 368.75^2 - 486.1158709^2}{2 \times 120.7 \times 368.75}\right) = 182.755gr$$

$$CAS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{AS_1^2 + AC^2 - CS_1^2}{2 \times AS_1 \times AC}\right)$$

$$CAS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{120.7^2 + 486.1158709^2 - 368.75^2}{2 \times 120.7 \times 486.1158709}\right) = 13.0123gr$$

$$S_1CA = \cos^{-1}\left(\frac{AC^2 + CS_1^2 - AS_1^2}{2 \times AC \times CS_1}\right)$$

$$S_1CA = \cos^{-1}\left(\frac{486.1158709^2 + 368.75^2 - 120.7^2}{2 \times 486.1158709 \times 368.75}\right) = 4.2326gr$$

$$AS_1C + S_1CA + CAS_1 = 200gr$$

On a:

$$GAC = \arctan\left(\frac{\Delta x(AC)}{\Delta y(AC)}\right) + 200$$

$$GAC = \arctan\left(\frac{559186.38100 - 388779.73900}{558931.25400 - 388365.95300}\right) + 200 = 235.1740384gr$$

$$GAS_1 = GAC + CAS_1$$

$$GAS_1 = 235.1740384 + 13.0123 = 248.1863384gr$$

$$X_{S_1} = X_A + AS_1 \sin(GAS_1)$$

$$X_{S_1} = 559186.38100 + 120.7 \sin(248.1863384) = 559103.498982m$$

$$Y_{S_1} = Y_A + AS_1 \cos(GAS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388779.73900 + 120.7 \cos(248.1863384) = 388691.9947m$$

→ Contrôle

$$GCS_1 = GAC - S_1 CA - 200$$

$$GCS_1 = 235.1740384 - 4.2326 - 200 = 30.94143835 gr$$

$$X_{S_1} = X_c + CS_1 \sin(GCS_1)$$

$$X_{S_1} = 558931.25400 + 368.7474845 \sin(30.94143835) = 559103.503266m$$

$$Y_{S_1} = Y_c + CS_1 \cos(GCS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388365.95300 + 368.7474845 \cos(30.94143835) = 388692.00016m$$

Ainsi on a :

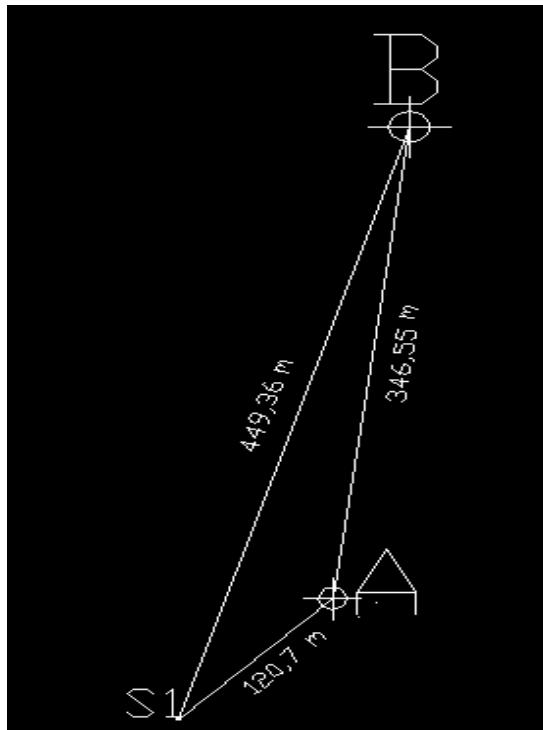
$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.503266 - 559103.498982 = 0.004284m$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388692.00016 - 388691.9947 = 0.00546m$$

○ Le deuxième triangle



$$AB = 346.5539858m$$

$$AS_1 = 120.7m$$

$$BS_1 = 449.36m$$

D'après la règle de sinus on a :

$$BAS_1 = \frac{AS_1^2 + AB^2 - BS_1^2}{2 \times AS_1 \times AB}$$

$$BAS_1 = \frac{120.7^2 + 346.5539858^2 - 449.36^2}{2 \times 120.7 \times 346.5539858} = 159.4527 gr$$

$$ABS_1 = \frac{BS_1^2 + AB^2 - AS_1^2}{2 \times BS_1 \times AB}$$

$$ABS_1 = \frac{449.36^2 + 346.5539858^2 - 120.7^2}{2 \times 449.36 \times 346.5539858} = 10.2131 gr$$

$$BS_1A = \frac{AS_1^2 + BS_1^2 - AB^2}{2 \times AS_1 \times BS_1}$$

$$BS_1 A = \frac{120.7^2 + 449.36^2 - 346.5539858^2}{2 \times 120.7^2 \times 449.36^2} = 30.3342 gr$$

On a:

$$BS_1 A + ABS_1 + BAS_1 = 200 gr$$

$$GAB = \arctan\left(\left|\frac{\Delta x(AB)}{\Delta y(AB)}\right|\right)$$

$$GAB = \arctan\left(\left|\frac{559186.381 - 559227.866}{388779.739 - 389123.801}\right|\right) = 7.639114837 gr$$

On a :

$$GAS_1 = GAB - BAS_1 + 400$$

$$GAS_1 = 7.639114837 - 159.4527 + 400 = 248.1864148 gr$$

$$X_{S_1} = X_A + AS_1 \sin(GAS_1)$$

$$X_{S_1} = 559186.38100 + 120.6955991 \sin(248.1864148) = 559103.498877 m$$

$$Y_{S_1} = Y_A + AS_1 \cos(GAS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388779.73900 + 120.6955991 \cos(248.1864148) = 388691.9948 m$$

→ Contrôle

$$GBS_1 = GAB + ABS_1 + 200$$

$$GBS_1 = GAB + ABS_1 + 200$$

$$GBS_1 = 7.639114837 + 10.2131 + 200 = 217.8522148 gr$$

$$X_{S_1} = X_B + BS_1 \sin(GBS_1)$$

$$X_{S_1} = 559227.86600 + 449.3553787 \sin(217.8522148) = 559103.500620 m$$

$$Y_{S_1} = Y_B + BS_1 \cos(GBS_1)$$

$$Y_{S_1} = 389123.80100 + 449.3553787 \cos(217.8522148) = 388691.99356m$$

Ainsi on a:

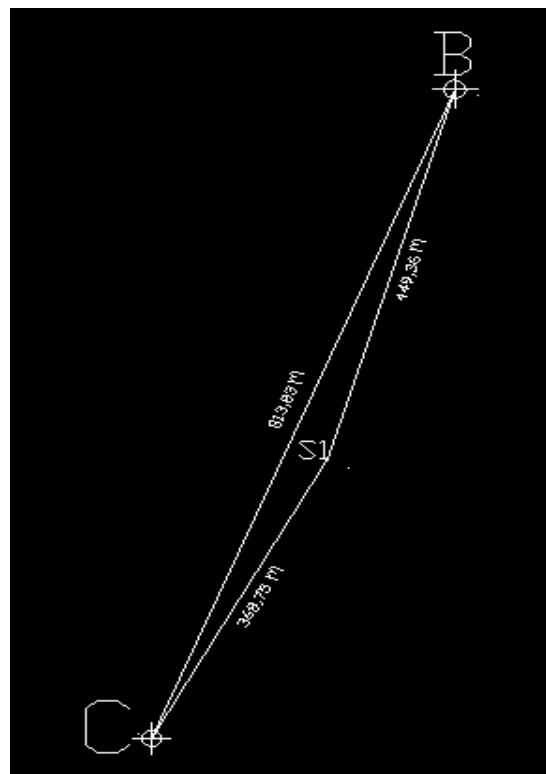
$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.501899 - 559103.501899 = 0.001743m$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388691.99800 - 388691.99800 = -0.00124m$$

- 3ème Triangle



$$BC = 813.8256998m$$

$$BS_1 = 449.36m$$

$$CS_1 = 368.75m$$

D'après la règle de sinus on a :

$$BCS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{CS_1^2 + CB^2 - BS_1^2}{2 \times CS_1 \times CB}\right)$$

$$BCS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{368.75^2 + 813.8256998^2 - 449.36^2}{2 \times 368.75^2 \times 813.8256998^2}\right) = 7.1917 gr$$

$$CBS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{BS_1^2 + CB^2 - CS_1^2}{2 \times BS_1 \times CB}\right)$$

$$CBS_1 = \cos^{-1}\left(\frac{449.36^2 + 813.8256998^2 - 368.75^2}{2 \times 449.36^2 \times 813.8256998^2}\right) = 5.8975 gr$$

$$BS_1 C = \cos^{-1}\left(\frac{CS_1^2 + BS_1^2 - CB^2}{2 \times CS_1 \times BS_1}\right)$$

$$BS_1 C = \cos^{-1}\left(\frac{368.75^2 + 449.36^2 - 813.8256998^2}{2 \times 368.75^2 \times 449.36^2}\right) = 186.9108 gr$$

On a:

$$BS_1 C + CBS_1 + BCS_1 = 200 gr$$

$$GBC = \arctan\left(\left|\frac{\Delta x(BC)}{\Delta y(BC)}\right|\right) + 200$$

$$GBC = \arctan\left(\left|\frac{558931.25400 - 559227.86600}{388365.95300 - 389123.80100}\right|\right) + 200 = 223.7497094 gr$$

On a :

$$GBS_1 = GBC - CBS_1$$

$$GBS_1 = 223.7497094 - 5.8975 = 217.8522094 gr$$

Donc on aura :

$$X_{S_1} = X_B + BS_1 \sin(GBS_1)$$

$$X_{S_1} = 559227.86600 + 449.3553787 \sin(217.8522094) = 559103.500657m$$

$$Y_{S_1} = Y_B + BS_1 \cos(GBS_1)$$

$$Y_{S_1} = 389123.80100 + 449.3553787 \cos(217.8522094) = 388691.9936m$$

→ Contrôle

$$GCS_1 = GBC + BCS_1 - 200$$

$$GCS_1 = 223.7497094 + 7.1917 - 200 = 30.94140938gr$$

$$X_{S_1} = X_C + CS_1 \sin(GCS_1)$$

$$X_{S_1} = 558931.25400 + 368.75 \sin(217.8522094) = 559103.503118m$$

$$Y_{S_1} = Y_C + CS_1 \cos(GCS_1)$$

$$Y_{S_1} = 388365.95300 + 368.75 \cos(217.8522094) = 388692.00024m$$

Ainsi on a :

$$F_x = X_{S_1}(2) - X_{S_1}(1)$$

$$F_x = 559103.503118 - 559103.500657 = 0.002461m$$

$$F_y = Y_{S_1}(2) - Y_{S_1}(1)$$

$$F_y = 388692.00024 - 388691.9936 = 0.00669m$$

→ Résultat :

	Triangle1	Triangle2	Triangle3
X	559103.5	559103.5	559103.5
Y	388691.99	388691.99	388691.99
Xmoy	559103.4995		
Ymoy	388691.9944		

Tableau 3: Les coordonnées résultats du point S1

## V. Rayonnement

### A. Rayonnement planimétrique

#### 1. Généralité

##### a) Définition

A partir d'une même station, les positions X et Y de chaque point sont déterminées par rapport à un repère connu. Souvent, un point de référence doit être défini (sur le chantier) dont ses positions X et Y seront déterminées. Par conséquent, il doit souvent s'attacher à un point connu. Ce rattachement se fait selon un cheminement.

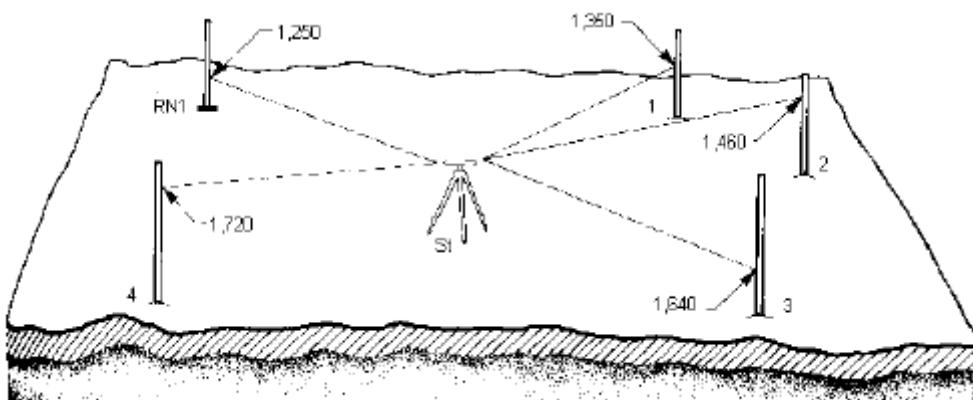


Figure 32 : Principe du rayonnement

##### b) But

Déterminer les coordonnées des points X, Y du levé de détail à partir des angles et distance de chaque point par rapport au point de stationnement.

Dans ce tableau ci-dessous on présente les 12 points de notre levé de détail :

Point	Distance(m)	Angle (gr)
A	173.8416	10.3896
B	173.8096	10.3957
C	177.9219	8.8395
D	177.8224	8.8354
E	165.5218	9.0594
F	165.4423	9.0334
G	164.3936	9.311
H	164.2454	9.2878
I	175.6284	9.4264
J	175.2863	9.3043
K	162.9064	9.4982
L	162.9313	9.4553

Tableau 4: Angles-distances des points du levé

❖ Algorithme de calcul :

On a :

$$X_{S_t} = 559075.2565m$$

$$Y_{S_t} = 388520.4662m$$

$$X_{S_2} = 558931.254m$$

$$Y_{S_2} = 388365.953m$$

$$GS_2P = GS_tP ; \text{Avec } P=\{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L\}$$

○ Point A :

On a:

$$S_tA = 173.8416m$$

$$GS_t A = 10.3896 gr$$

D'où :

$$X_A = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_A = 559075.2565 + 173.8416 \times \sin(10.3896) = 559103.5016 m$$

$$Y_A = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_A = 388520.4662 + 173.8416 \times \cos(10.3896) = 388691.9979 m$$

○ Point B :

On a:

$$S_t B = 173.8096 m$$

$$GS_t B = 10.3957 gr$$

D'où :

$$X_B = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_B = 559075.2565 + 173.8096 \times \sin(10.3957) = 559103.5129 m$$

$$Y_B = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_B = 388520.4662 + 173.8096 \times \cos(10.3957) = 559103.5129 m$$

○ Point C :

On a:

$$S_t C = 177.9219 m$$

$$GS_t C = 8.8395 gr$$

D'où :

$$X_c = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_c = 559075.2565 + 177.9219 \times \sin(8.8395) = 559099.8818m$$

$$Y_c = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_c = 388520.4662 + 177.9219 \times \cos(8.8395) = 388696.6757m$$

- **Point D :**

On a:

$$S_t D = 177.8224m$$

$$GS_t D = 8.8354gr$$

D'où :

$$X_d = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_d = 559075.2565 + 177.8224 \times \sin(8.8354) = 559099.8566m$$

$$Y_d = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_d = 388520.4662 + 177.8224 \times \cos(8.8354) = 388696.5788m$$

- **Point E :**

On a :

$$S_t E = 165.5218m$$

$$GS_t E = 9.0594gr$$

D'où :

$$X_e = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_e = 559075.2565 + 165.5218 \times \sin(9.0594) = 559098.7316m$$

$$Y_E = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_E = 388520.4662 + 165.5218 \times \cos(9.0594) = 388684.3149m$$

○ **Point F:**

On a:

$$S_t F = 165.4423m$$

$$GS_t F = 9.0334gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 165.4423 \times \sin(9.0334) = 559098.7316m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 165.4423 \times \cos(9.0334) = 388684.313m$$

○ **Point G:**

On a:

$$S_t F = 164.3936m$$

$$GS_t F = 9.3110gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 164.3936 \times \sin(9.3110) = 559099.2146m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 164.3936 \times \cos(9.3110) = 388683.1046m$$

○ **Point H:**

On a:

$$S_t F = 164.2454m$$

$$GS_t F = 9.2878gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 164.2454 \times \sin(9.2878) = 559099.1338m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 164.2454 \times \cos(9.2878) = 388682.9667m$$

○ **Point I:**

On a:

$$S_t F = 175.6284m$$

$$GS_t F = 9.4264gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 175.6284 \times \sin(9.4264) = 559101.1668m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 175.6284 \times \cos(9.4264) = 388694.1728m$$

○ **Point J:**

On a:

$$S_t F = 175.2863m$$

$$GS_t F = 9.3043 gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 175.2863 \times \sin(9.3043) = 559100.7837 m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 175.2863 \times \cos(9.3043) = 388693.8837 m$$

○ **Point K:**

On a:

$$S_t F = 162.9064 m$$

$$GS_t F = 9.4982 gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 162.9064 \times \sin(9.4982) = 559099.4716 m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 162.9064 \times \cos(9.4982) = 388681.5628 m$$

○ **Point L:**

On a:

$$S_t F = 162.9313 m$$

$$GS_t F = 9.4553 gr$$

D'où :

$$X_F = X_t + S_t A \times \sin(GS_t A)$$

$$X_F = 559075.2565 + 162.9313 \times \sin(9.4553) = 559099.3668m$$

$$Y_F = Y_t + S_t A \times \cos(GS_t A)$$

$$Y_F = 388520.4662 + 162.9313 \times \cos(9.4553) = 388681.6037m$$

→ Résultat :

Points	X(m)	Y(m)
A	559103.5016	388691.9979
B	559103.5129	388691.9636
C	559099.8818	388696.6757
D	559099.8566	388696.5788
E	559098.7316	388684.3149
F	559098.6536	388684.2457
G	559099.2146	388683.1046
H	559099.1338	388682.9667
I	559101.1669	388694.1728
J	559100.7837	388693.8837
K	559099.4716	388681.5628
L	559099.3668	388681.6037

Tableau 5: Les coordonnées planimétriques résultats des points

## B. Rayonnement altimétrique

### 1. Généralité

#### a) Définition

A partir d'une même station, l'altitude de chaque point est déterminée par rapport à un repère connu. Souvent, un point de référence doit être défini (sur le chantier) dont l'altitude Z sera déterminée. Par conséquent, il doit souvent s'attacher à un point connu. Ce rattachement se fait selon un cheminement.

### 2. But

Déterminer les coordonnées Z du levé de détail à partir la lecture arrière du point de référence et ensuite les lectures avant de chaque point par rapport au point de stationnement et enfin de contrôler avec le premier point (Lecture arrière du point de référence).

### 3. Les étapes de calcul :

Calcul de l'altitude du plan de visée :  $HPV = AltRN + LR$ .

Calcul de l'altitude des différents points :  $H_i = HPV - Li$ .

Vérification du calcul :  $n. HPV = \sum H_i + \sum Li$ .

Points	$L^R$	$L^i$	$\Delta H^{mes} Ri$		$H_i$	Observations
			+	+		
R	$L^R$				$H_R$	
1		$L^1$	$L^R -$	$L^1$	$H_1 = H_R + \Delta H^{mes} R_1$	
2		$L^2$	$L^R -$	$L^2$	$H_2 = H_R + \Delta H^{mes} R_2$	
3		$L^3$	$L^R -$	$L^3$	$H_3 = H_R + \Delta H^{mes} R_3$	
...		...	$L^R -$	$L^i$	$H_i = H_R + \Delta H^{mes} R_i$	$\sum H_i = n. H_R + \sum \Delta H^{mes} R_i$
i-1		...	$L^R -$	$L^{i-1}$	$H_{i-1} = H_R + \Delta H^{mes} R_{i-1}$	
n-1		$L^{n-1}$	$L^R -$	$L^{n-1}$	$H_{n-1} = H_R + \Delta H^{mes} R_{n-1}$	
n		$L^n$	$L^R -$	$L^n$	$H_n = H_R + \Delta H^{mes} R_n$	

Figure 33 : Tableau de calcul du niveling par rayonnement

Or, dans notre travail on a élaboré les altitudes des points de levé de détails à l'aide d'une station totale, ainsi on a obtenu les altitudes des points de manière automatique. Dans le tableau ci-dessous on présente les altitudes des points réalisés :

Points	Z(m)
A	17.2448
B	17.1778
C	17.4513
D	17.4457
E	16.5119
F	16.4778
G	16.4638
H	16.4113
I	17.3548
J	17.2119
K	16.3739
L	16.3509

Tableau 6: Les coordonnées

altimétriques des points

## VI. Suivie des points:

### A. Levé de détail :

#### 1. Définition

A partir des informations obtenues sur terrain, un levé de détail sert à créer une carte ou un plan topographique.

Il existe plusieurs méthodes d'acquisitions des données telles que l'utilisation d'un théodolite ou une station totale.

Les différents objets de terrains soit d'origine artificielle ou naturel seront déterminé avec une précision bien définie. (Cours Prof Ali Ghannem)

#### 2. Choix des objets et détails

Le choix de détails dépend essentiellement de deux caractéristiques :

- Le type de détails
- La taille de détails
- La taille minimale des détails à lever est directement liée à l'échelle du plan.

#### 3. Précision du levé

- La précision d'un plan est liée à celle du levé.
- L'échelle est le rapport d'une dimension mesurée sur le plan par la dimension homologue sur le terrain.

#### 4. Méthodes et moyens

Les méthodes et les moyens de levé dépendent de plusieurs facteurs qu'on peut citer parmi eux :

- L'objet du plan : intérieur, parcellaire, alignement...
- La destination du plan : graphique, numérique...
- La nature du terrain : relief, masques, couvert, étendue...
- Le cahier de charge, le prix de revient du marché et des détails impartis.
- La disponibilité de l'appareil dans l'entreprise

On a travaillé notre levé avec la station totale GEOMAX Zoom 50 - AccXess5 - Précision 5"» dont la fiche signalétique est présentée dans l'annexe V.

#### 5. Les erreurs

Les erreurs faites au cours d'une opération d'un levé de détail sont multiples. On distingue:

- Les erreurs dues à un instrument mal réglé,
- Mal positionnement du réflecteur (inclinaison ...)
- Un trépied instable.
- Inertie de la bulle sphérique.

Les erreurs peuvent aussi être engendrées par une réfraction atmosphérique (traversée par la visée des couches atmosphériques de différentes densités) ou une variation de température.

#### 6. Rapport graphique :

L'établissement de plans numériques est un résultat continu des levés topographiques. Le plan numérique est un fichier qui comprend un enregistrement informatisé des coordonnées des éléments de description du terrain. Un plan numérique est un intermédiaire entre le levé de points topographiques et l'établissement du plan. Le plan numérique alors n'est rien d'autre qu'un plan linéaire obtenu en reportant les différents éléments descriptifs de la topographie sur des supports appropriés. Cela impose le choix des détails représentés et les conventions leurs présentations.

- Les traitements des levé topographiques sont réalisés par le logiciel « COVADIS ».

#### 7. Rattachement

Pour notre rattachement de notre travail et en se basant sur les coordonnées de polygonation de base (Voir annexe III), on a achevé cette bases en utilisant la station totale tout en procédant ces différents étapes :

Le stationnement sur le point S2 que l'on a considéré comme un point connu dans notre travail.

On a visé notre point de stationnement que l'on a considéré comme une lecture arrière

On a déplacé notre mise en station au point de stationnement pour afin d'effectué la lecture avant.

Et enfin on a contrôlé par le point connu S3 du polygonale de base.

Point de stationnement : X : 559075.2565m, Y : 388520.4662m, Z : 23.1326m

Comme référence on a pris le point : S2 : X : 558931.254m, Y : 388365.953m, Z : 23.4790m

Point de contrôle : S3 : X : 559186.3810m Y : 388779.7390m, Z : 32.3080m

## **8. Levé et mesure**

Dans notre site d'étude on a effectué trois levés de détails à l'aide de la technique du rayonnement, un premier levé et deux suivies. Dans la suite du paragraphe on cite les différentes mesures effectuées.

- 1<sup>er</sup> mesure :

Levé numéro 1 (07/07/2021)			
Points	X(m)	Y(m)	Z(m)
A	559103.5016	388691.9979	17.2448
B	559103.5129	388691.9636	17.1778
C	559099.8818	388696.6757	17.4513
D	559099.8566	388696.5788	17.4457
E	559098.7316	388684.3149	16.5119
F	559098.6536	388684.2457	16.4778
G	559099.2146	388683.1046	16.4638
H	559099.1338	388682.9667	16.4113
I	559101.1669	388694.1728	17.3548
J	559100.7837	388693.8837	17.2119
K	559099.4716	388681.5628	16.3739
L	559099.3668	388681.6037	16.3509

Tableau 7: Les coordonnées des points réalisés en 07/07/2021

- 2ème mesure

Suivie numéro 1 (14/04/2022)			
Points	X(m)	Y(m)	Z(m)
A	559103.5013	388691.9975	17.2444
B	559103.5123	388691.9635	17.1773
C	559099.8817	388696.6755	17.4519
D	559099.8563	388696.5785	17.4456
E	559098.7312	388684.3141	16.5114
F	559098.653	388684.2457	16.4778
G	559099.2143	388683.1046	16.4638
H	559099.1338	388682.9666	16.411
I	559101.167	388694.1726	17.3547
J	559100.783	388693.8834	17.2119
K	559099.4711	388681.5629	16.3733
L	559099.3679	388681.6031	16.3503

Tableau 8: Les coordonnées des points réalisés en 14/07/2022



Figure 4: Stationnement au date  
14/07/2022

- 3ème mesure

Suivie numéro 2 (25/05/2022)			
Points	X(m)	Y(m)	Z(m)
A	559103.5013	388691.9975	17.2442
B	559103.5122	388691.9637	17.1771
C	559099.882	388696.6758	17.4513
D	559099.856	388696.5782	17.4458
E	559098.7318	388684.315	16.5113
F	559098.6545	388684.2458	16.478
G	559099.2146	388683.1041	16.4639
H	559099.134	388682.9667	16.4117
I	559101.167	388694.1722	17.3541
J	559100.7835	388693.8831	17.2112
K	559099.4717	388681.5623	16.373
L	559099.3665	388681.6031	16.3519

Tableau 9: Les coordonnées des points réalisés en 25/05/2022



Figure 5: Stationnement au date  
25/05/2022

## **VII. Conclusion**

Cette partie de travail présente une méthode de calcul différente pour obtenir une mesure de déplacement de terrain à l'aide d'un seul dispositif (la station totale). En conclusion, nous avons obtenu les points critiques qui caractérisent les fissurations visibles dans notre zone en question. Ces points sont déterminés en coordonnées planimétriques X, Y et altimétriques Z.

Dans le chapitre suivant on analysera les résultats obtenus ensuite on va détailler la relation entre ces analyses et notre problématique de notre projet d'étude.

# Chapitre 4 : Analyse et déduction

## I. Introduction

Suite aux précédentes études réalisées (Cartographique et topographique) nous analyserons en détail, dans ce chapitre, les résultats obtenus ainsi nous présenterons d'autres dispositifs utilisés dans ce travail.

## II. Analyse des mesures topographiques

### A. Introduction

Afin de mieux comprendre les mouvements de terrain dans la région d'Ain Oktor, on analysera dans ce paragraphe les résultats obtenus dans le chapitre précédent. C'est-à-dire d'établir, si possible, une relation entre les différentes mesures effectuées et enfin de faire une déduction selon les données obtenues par rapport au temps des mesures.

### B. Analyse et déduction :

- Différence entre la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> mesure :
  - ❖ Algorithme de calcul :

$$dx = X_i - X_j$$

$$dy = Y_i - Y_j$$

$$dz = Z_i - Z_j$$

$X_i, Y_i, Z_i$  ; Les coordonnées des points du 1<sup>er</sup> levé réalisé en 07/07/2021.

$X_j, Y_j, Z_j$  ; Les coordonnées des points du 2<sup>ème</sup> levé réalisé en 14/04/2022.

Différence levé-suivie1			
Points	DX(m)	DY(m)	DZ(m)
A	-0.0003	-0.0004	-0.0004
B	-0.0006	-0.0001	-0.0005
C	-0.0001	-0.0002	0.0006
D	-0.0003	-0.0003	-0.0001
E	-0.0004	-0.0008	-0.0005
F	-0.0006	0.0000	0.0000
G	-0.0003	0.0000	0.0000
H	0.0000	-0.0001	-0.0003
I	0.0001	-0.0002	-0.0001
J	-0.0007	-0.0003	0.0000
K	-0.0005	0.0001	-0.0006
L	0.0011	-0.0006	-0.0006

Tableau 10: Déplacement suivant X, Y et Z entre le premier et deuxième levé

❖ Interprétation des résultats :

D'après les deux mesures effectuées entre dix mois (07/07/2021 et 14/04/2022) sur douze points caractéristiques du déplacement de sol, on remarque que :

La différence des abscisses X du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Avril 2022 varient entre -0.0007m (Point J) et 0.0011m (Point L).

La différence des ordonnées Y du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Avril 2022 varient entre -0.0008m (Point E) et 0.0001m (Point K).

La différence des altimètres Z du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Avril 2022 varient entre -0.0006m (Point K et L) et 0.0006m (Point C).

Conclusion

Les deux levés réalisés ne montrent presque aucune variation millimétrique et qui ne dépasse pas 0.0011 en valeur absolue.

→ Différence entre la 1<sup>ère</sup> et 3<sup>ème</sup> mesure :

❖ Algorithme de calcul:

$$dx = X_i - X_K$$

$$dy = Y_i - Y_K$$

$$dz = Z_i - Z_K$$

Différence levé-suivie2			
Points	DX(m)	DY(m)	DZ(m)
A	-0.0003	-0.0004	-0.0006
B	-0.0007	0.0001	-0.0007
C	0.0002	0.0001	0.0000
D	-0.0006	-0.0006	0.0001
E	0.0002	0.0001	-0.0006
F	0.0009	0.0001	0.0002
G	0.0000	-0.0005	0.0001
H	0.0002	0.0000	0.0004
I	0.0001	-0.0006	-0.0007
J	-0.0002	-0.0006	-0.0007
K	0.0001	-0.0005	-0.0009
L	-0.0003	-0.0006	0.0010

Tableau 11: Déplacement suivant X, Y et Z entre le premier et le troisième levé

❖ Interprétation des résultats :

D'après les deux mesures effectuées entre onze mois (07/07/2021 et 25/05/2022) sur douze points caractéristiques du déplacement de sol, on remarque que :

La différence des abscisses X du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0007m (point B) et 0.0009m (Point F).

La différence des ordonnées Y du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0006m (point D, I, J et L) et 0.0001m (point B, C, E et F).

La différence des altimètres Z du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0009m (Point K) et 0.0010mm (Point L).

Conclusion

Les deux levés réalisés ne montrent presque aucune variation millimétrique et qui ne dépasse pas 0.0010 m en valeur absolue.

→ Différence entre la 2<sup>ère</sup> et 3<sup>ème</sup> mesure :

- Algorithme de calcul:

$$dx = X_j - X_K$$

$$dy = Y_j - Y_K$$

$$dz = Z_j - Z_K$$

différence Suivie (1-2)			
Points	DX(m)	DY(m)	DZ(m)
A	0.0000	0.0000	-0.0002
B	-0.0001	0.0002	-0.0002
C	0.0003	0.0003	-0.0006
D	-0.0003	-0.0003	0.0002
E	0.0006	0.0009	-0.0001
F	0.0015	0.0001	0.0002
G	0.0003	-0.0005	0.0001
H	0.0002	0.0001	0.0007
I	0.0000	-0.0004	-0.0006
J	0.0005	-0.0003	-0.0007
K	0.0006	-0.0006	-0.0003
L	-0.0014	0.0000	0.0016

Tableau 12: Déplacement suivant X, Y et Z entre le deuxième et troisième levé

- Interprétation des résultats

D'après les deux mesures effectuées entre un mois (14/04/2021 et 25/05/2022) sur douze points caractéristiques du déplacement de sol, on remarque que :

La différence des abscisses X du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0014m (point L) et 0.0015m (Point F).

La différence des ordonnées Y du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0006m (point I) et 0.0009m (point E).

La différence des altimètres Z du levé topographique réalisé en Juillet 2021 en Mai 2022 varient entre -0.0007m (Point J) et 0.0016m (Point L).

Conclusion

Les deux levés réalisés ne montrent presque aucune variation millimétrique et qui ne dépasse pas 0.0016 en valeur absolue.

### III. Autres dispositifs utilisés

#### A. Piézomètre

##### 1. Définition

Un piézomètre est un dispositif qui mesure le niveau d'eau à un point donné de la nappe phréatique.

C'est un dispositif qui mesure la hauteur piézométrique d'un point donné dans un système aquifère et qui donne la pression à ce point afin que le niveau ou la pression de l'eau libre puisse être observé et enregistré. (G. Castany, J. Margat (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie)



Figure 6: Piézomètre

## 2. But

- Détection de l’existence de la nappe d’eau.
- Mesurer la profondeur de la nappe d’eau.
- Mesurer la variation de la nappe d’eau au cours de temps.

## 3. Suivie des sondages piézométrique

PzC.I1-20		PzC.I2-20	
Mois	Lecture	Mois	Lecture
juil-21	11 m	juil-21	12.10 m
août-21	10.5 m	août-21	12 m
sept-21	12 m	sept-21	12.40 m
oct-21	11.80 m	oct-21	11.05 m
nov-21	11.75 m	nov-21	12.32 m
déc-21	11.75 m	déc-21	12.50 m

Tableau 13: Les données piézométriques

- Interprétation des résultats :

L’installation du piézomètre PzC.I1-20 montre une variation de niveau de la nappe phréatique durant les 6 mois (de 10.5m vers 12m de juillet 2021 vers décembre 2021).

Le même pour le piézomètre PzC.I2-20 montre une variation de niveau de la nappe phréatique durant les 6 mois (de 11.05m vers 12.50m de juillet 2021 vers décembre 2021).  
Rq : Vous trouvez dans l’annexe IV plus de détail sur les données piézométrique.

## B. Inclinomètre

### 1. Définition

Un inclinomètre est un dispositif qui mesure l’angle par rapport à la ligne d’horizon. Non seulement que l’horizontalité est assuré par le niveau à bulle du dispositif mais aussi de indiquer l’angle d’inclinaison par rapport à cette horizontale.



Figure 7: Inclinomètre

## 2. But

- Détection d'existence d'une déviation de l'aiguille par rapport au zéro de l'horizontale

→ Interprétation des résultats :

Du mois de juillet 2021 à Mai 2021 l'aiguille de l'inclinomètre n'a montré aucune déviation. Cela montre que l'inclinomètre n'a détecté aucun mouvement de l'horizontale du terrain.

Depuis le début des travaux sur le site d'étude en juillet 2021, les entreprises intéressées par les travaux et les analyses de déplacement de terrain dans le site d'Ain Oktor annoncent que l'installation de l'inclinomètre ne montre aucun déplacement de l'aiguille. De plus, lors de nos visites sur le site en mars, avril et mai 2022, nous n'avons constaté aucune déviation de l'aiguille de l'inclinomètre mais de rester à 0 degré.

## IV. Analyse des résultats entre cadre géologique-mesures effectuées :

### A. Cadre géologique :

#### 1. Interprétation :

D'après le modèle PAP/CAR qui est une approche informatisée basée, en premier lieu, sur des données descriptives du site (topographie, occupation de sol..) et sur des données spatiales issues d'un système d'information géographique (carte thématique), on a constaté, qu'il y a une grande sensibilité à l'érosion dans les zones à forte pente ainsi qu'en pleine.

Ce type d'érosion produit des glissements de terrain. Par conséquent, les glissements de terrain sont des conséquences de manifestations violentes de l'érosion. En effet, ils peuvent prendre la forme de glissements de terrain, de coulées de boueuses, etc. (EauFrance).

## B. Mesures effectuées :

### 1. Interprétation

À partir d'une série de mesures sur une période de 11 mois (juillet 2021 à mai 2022), un glissement de terrain s'est avéré loin d'être mesurable sur une courte période de temps.

Les levés topographiques ne montrent aucune différence en ce qui concerne les coordonnées planimétriques et altimétriques.

Les piézomètres montrent des différences de niveau de la nappe phréatique selon les mois de l'année. Cette différence peut être l'un des principaux facteurs de déplacement du terrain au cours de longues durées de temps.

Les inclinomètres ne montrent aucune différence par rapport à l'horizontale durant les onze mois. Ce résultat confirme très bien les résultats trouvés à l'aide de mesures topographiques.  
Conclusion

La combinaison du travail de terrain (relevé topographique et installation de divers dispositifs) et de l'étude documentaire (méthode PAP/CAR) ne montre pas des résultats contradictoires mais plutôt des résultats complémentaires en ajoutant le facteur temps.

Et c'est pour la simple raison que le terrain ou le sol peut agir de deux manières selon la vitesse du mouvement :

Les mouvements lents, dont les terrains sont à mouvement progressives et pas toujours perceptible par l'humain en termes de ses manières de mesures. En plus, ils peuvent être des facteurs d'un mouvement rapide de terrain.

Les mouvements rapide, dont la propagation de déplacement est de manière rapide et peut être brutale et soudaine.

## V. Conclusion

Les résultats obtenus par cartographie et topographie ne sont pas contradictoires mais plutôt complémentaires. Ainsi, le facteur temps intervient pour expliquer ces résultats.

De plus, ce genre de phénomène en question nécessite, sûrement, d'autres moyens plus précis des dispositifs pour un meilleur suivi plus précis comme mentionné dans le premier chapitre.

# Conclusion générale

---

L'objectif de ce rapport de fin d'étude est tout d'abord de faire une étude générale de ce phénomène, de citer les principales causes probables évoquées par les géosciences dans ses études et articles, afin de bien orienter notre travail et nos efforts.

Dans le cadre de ce rapport, nous avons plus particulièrement étudié la probabilité d'érosion dans notre zone d'étude, Ain-Oktor, pour son effet indéniable sur le mouvement ou l'instabilité du sol. Ainsi, ce phénomène sera reflété à partir d'un modèle (PAP/CAR) qui donne un résultat satisfaisant sur l'effet de cet aléa.

Ensuite, d'après des mesures effectuées pendant onze mois au site d'étude par divers instruments, aucun déplacement horizontal ou vertical du sol n'a été observé. Cela peut s'expliquer de différentes manières liées soit au temps de mesure, soit aux instruments utilisés sur le terrain.

# Références

## Bibliographie

- Attia R, Agerbaoui S, Hamrouni H (2007)** Application des Directives CAR/PAP pour la formulation d'un programme de gestion de contrôle de l'érosion et de la désertification - Cas du bassin versant de Lebna. Split : CAR/PAP. iii + 72pp
- Azimi C., Desvarreux P., 1996.** Quelques aspects de la prévision des mouvements de terrains, Revue française de géotechnique, vol. 76, 63-71pp.
- Bieniawski Z.T., 1993.** Classification of rock masses for engineering; The RMR system and future trends, in J.A. Hudson, Rock testing and site characterization, Pergamon Press, Oxford, UK. pp. 553-573.
- Le Buissonnais Y, Dubreuil N, Daroussin J, Gorce M (2004)** Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale exemple du département de l'Aisne. Étude et Gestion des Sols 11, (3) : 307 – 321pp
- Cherif I (2013)** élaboration d'approche quantitative pour la quantification de l'érosion hydrique. Mémoire de Mastère, Institut national agronomique de Tunis, Tunis :1-92p.
- Cruden, D.M., and Varnes, D.J., 1996.** Landslide types and processes: in Turner, K.A. and Schuster, R.L., editors, Landslide Investigation and Mitigation: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247: 36-75p.
- Duranthon J.-P., 2000.** Application de la méthode GPS de localisation par satellite à la surveillance de sites naturels instables. B.L.P.C., n°228. 47-57p.
- Dussauge-Peisser C., 2002.** Evaluation de l'aléa éboulement rocheux. Développement méthodologiques et approches expérimentales. Application aux falaises calcaires du Y grenoblois. *PhD thesis*, Université Joseph Fourier, France.
- El Haj Hassan H, Touchart L, Faour G (2013)** La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban. M@ppemonde, 109 : 1-16
- Effendiantz L., Rochet L., 2000.** Suivi d'une instabilité rocheuse jusqu'à l'éboulement. Commune de La Perrière (Savoie), Bull. Liaison Laboratoire des Ponts & Chaussées, n°226, 47-56pp.
- Faleh A, Maktite A, (2014)** Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/Car et SIG en amont du barrage Allal el fassi, Moyen Atlas (Maroc). Papeles de geografia, 59-60 : 71-82p
- Flageollet J.-C., 1989.** Les mouvements de terrain et leur prévention, Paris, Ed. Masson, Collection Géographie, 224p.

**Fiandino M. (2007)** cartographie des zones potentiellement érodables dans trois bassins versants méditerranéens (Etang de Berre, Bouches du Rhône, France). Etude de Géographie physique 34 : 15-21p

**Finlayson B, Statham I., 1980.** Hillslope analysis, Heineman, Londres, Grande-Bretagne.

**Hantz D., Vengeon J.M., Dussauge-Peisser C., 2003.** An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock fall hazard assessment. Natural hazards and Earth System Sciences, 3, 693-701.

**Hudson, J.A., 1992.** Rock Engineering Systems: Theory & Practice – High Plains Press (JAH), 185p.

**Jebbari S, Ben Salah (2014)** Protection des terres céralières contre l'érosion hydrique. Journée nationale sur la valorisation des résultats de la recherche dans le domaine de grande culture. [http://www.iresa.agrinet.tn/images/Sihem\\_Jebbari.pdf](http://www.iresa.agrinet.tn/images/Sihem_Jebbari.pdf)

**LCPC, 1994.** Surveillance des pentes instables, Guide technique, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées.

**LCPC, 2001.** Parades contre les instabilités rocheuses, Guide technique, Collection Environnement, Les Risques Naturels, 143p.

**Mesrar H, Sadiki A, Navas A, Faleh A, Quijano L, Chaouaan J (2012)-** Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux, Cas de l'oued Sahla, Rif Central, Maroc. Zeitschrift für Geomorphologie (59) : 495–514 .DOI : 10.1127/zfg/2015/0169

**Osmana H, El Hamidi A, Essahlaoui A, Bekri H, El Ouali A (2017)** Modélisation et cartographie du risque de l'érosion hydrique par l'application des SIG et des directives PAP/CAR. Cas du bassin versant de l'Oued Zgane (Moyen Atlas tabulaire, Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre (39) : 103-119p

**Pierson L.A., Davis S.A. and Van Vickle R., 1990.** Hazard Rating System Implementation Manual, Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OREG-90-01,

**PPR**, Plans de Prévention des Risques naturels, Risques de mouvements de terrain, 1999. Guide méthodologique, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, La documentation française, 71p.

**Rochet L., 1992.** Auscultation; diagnostic; surveillance, Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 45, 43–57.

**Romana M.R., 1993.** A geomechanical classification for slopes : Slope Mass Rating, in J.A. Hudson, Rock testing and site characterization. Pergamon Press,

## Références

---

Oxford, UK. 575-600p.

**Rouiller J.D., Jaboyedoff M., Marro C., Philippoian F. and Mamin M., 1998.**

Pentes instables dans le Pennique valaisan. MATTEROCK: une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels. Final Report PNR31, VDF, Zürich.

**Veyret Y, Wicherek S (1992)** Réflexion sur une cartographie des risques d'érosion des terres agricoles en région de plaines et de plateaux. Bulletin de l'association des géographes français 69 (2) :169-179p

# Annexes

---

## I. Caractéristiques des instabilités gravitaires rocheuses

Dans cette annexe, nous présentons quelques propriétés des roches et décrivons différents mécanismes d'instabilité des roches. Enfin, nous présenterons le fichier de caractérisation (méthode LIRIGM) utilisé pour caractériser l'instabilité étudiée.

## Mécanismes d'instabilités rocheuses

Le mécanisme d'instabilité varie avec la structure du versant rocheux, qui présentera différents types de ruptures possibles. On peut lister les principales configurations potentiellement instables selon trois séries : glissement, fissuration et basculement [Hantz, 2001].

Configurations potentiellement instables	Mécanisme d'instabilité
	Glissement plan
	Glissement dièdre ou plan
	Glissements rotationnel (et fractionné)
	Rupture de surplomb
	Basculement de colonne ou de blocs
	Rupture de colonne en pied
	Rupture de banc (par flambage ou sur fracture)

*Les différents mécanismes d'instabilités rocheuses (d'après Hantz, 2001)*

## Type de discontinuités

Les caractéristiques structurales et géo-mécaniques de la discontinuité jouent un rôle clé dans l'initiation des glissements de terrain (Hoek et Bray, 1981, Goodman et al. Pierre, 1985). Les caractéristiques des différentes discontinuités déterminent le découpage en blocs de la parcelle et jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau et le mécanisme de rupture.

**Plan de schistosité** (plan de clivage) : plan de fines tranches, plus ou moins compactes, présentées par certaines roches, obtenues sous l'influence de contraintes tectoniques, contrairement au délaminage, selon lequel des lames plus ou moins épaisses peuvent être taillées et régulières. La schistosité peut s'accompagner d'un phénomène de dissolution, donc les particules sont concentrées.

**Plan de stratification:** Un plan qui divise différentes formations géologiques.

**Diaclase:** Fragmentation de roche ou de terrain, sans déplacement relatif des parties séparées. Plus spécifiquement pour les fractures perpendiculaires à la couche déposée.

**Faille:** le sol est brisé et la partie de séparation est relativement déplacée. Le terme fait le plus souvent référence à un accident vertical ou à une pente raide qui n'implique pas de chevauchement (voir Chevauchement, Poussée).

**Fracture:** Terme général désignant toute fracture de terrain, de roche ou même de minéraux, avec ou sans rejet.

**Joint** (de retrait): Toute surface discontinue dans une roche ou un terrain qui est en contact non anormal avec un déplacement (failles, etc.). Les articulations tectoniques sont des fractures sans rejet.

**Lithoclaste:** Toute fracture rocheuse avec ou sans déplacement relatif des composants.

**Rejet** (d'une faille ou d'un décrochement): L'amplitude du déplacement causé par la faille.

## Fiche de caractérisation des instabilités rocheuses (grille-LIRIGM)

D'après [Dussauge-Peisser, 2002]. En dessous de la grille LIRIGM, nous présentons l'instabilité rocheuse utilisée pour caractériser l'aléa rocheux. L'intérêt de ce tableau est sa structure, qui rend la collecte des données aussi objective que possible. Le principe de cette

grille est de lister de la manière la plus exhaustive possible les différents paramètres à considérer dans la caractérisation de l'aléa rocheux. Dans un souci d'objectivité, le résultat de cette grille ne présente pas une seule note finale, mais une série de valeurs pour 4 parties:

- Statique(S);
- Actif (A), également appelé Dynamique (D) ;
- Facteur d'évolution stochastique/discontinu (FA) ;
- Et Facteur d'Evolution Continue (FC).

MECANISME	STATIQUE			S /10															
	Découpage principal (/ 5)	Conditions géométriques aggravantes (/ 3)	Conditions géomécaniques aggravantes (/ 2)																
Gp Glissement plan	<b>CONDITION NECESSAIRE :</b> <i>(pendage &lt; pente du versant) ET (Δ azimuth plan / front de falaise &lt; 20°)</i> <b>Continuité de la surface de glissement :</b> Probabilité faible 0 Probabilité moyenne 1 Probabilité forte 3 Continuité avérée 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découpage latéral : surfaces libres ou plans de décollement latéraux               <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>Non</td><td>0</td></tr> <tr><td>D'un côté</td><td>1</td></tr> <tr><td>Des deux côtés</td><td>2</td></tr> </table> </li> <li>• Plan de décollement arrière               <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>0 (non)</td><td>1 (oui)</td></tr> </table> </li> </ul>	Non	0	D'un côté	1	Des deux côtés	2	0 (non)	1 (oui)	Pendage < $\phi_{\text{estimé}} - 10^\circ$ 0 Pendage = $\phi_{\text{estimé}} \pm 10^\circ$ 1 Pendage > $\phi_{\text{estimé}} + 10^\circ$ 2  <u>Proposition d'estimation de <math>\phi</math>:</u> - Joint argileux : $\phi \approx 15^\circ$ (10-20°) - Plan lisse : $\phi \approx 30^\circ$ - Joint rugueux : $\phi \approx 45^\circ$ (40-50°)								
Non	0																		
D'un côté	1																		
Des deux côtés	2																		
0 (non)	1 (oui)																		
Gd Glissement d'un dièdre	<b>CONDITION NECESSAIRE :</b> 2 discontinuités dont l'intersection plonge vers laval avec un plongement inférieur à celui du versant (mesuré dans la direction de l'intersection). <b>Continuité de la surface de glissement (ensemble des 2 plans, voir Jaboyedoff et al. 1996) :</b> Probabilité faible 0 Probabilité moyenne 1 Probabilité forte 3 Continuité avérée 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de décollement arrière               <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>0 (non)</td><td>1 (oui)</td></tr> </table> </li> <li>• Si glissement sur un plan : 2            - Si glissement sur deux plans :               <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>Ouverture du dièdre</td><td><math>\alpha &lt; 90^\circ</math></td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td><math>\alpha &lt; 120^\circ</math></td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td><math>\alpha &gt; 120^\circ</math></td><td>2</td></tr> </table> </li> </ul>	0 (non)	1 (oui)	Ouverture du dièdre	$\alpha < 90^\circ$	0		$\alpha < 120^\circ$	1		$\alpha > 120^\circ$	2	Si glissement sur un seul plan, idem Gp. → 0 1 2 Si glissement sur deux plans : idem Gp en considérant l'inclinaison de l'intersection et l'angle de frottement du plan de pendage le plus faible. On peut être plus rigoureux en utilisant les abaques de Hoek et Bray (1981).					
0 (non)	1 (oui)																		
Ouverture du dièdre	$\alpha < 90^\circ$	0																	
	$\alpha < 120^\circ$	1																	
	$\alpha > 120^\circ$	2																	
Glissement rotationnel	<b>CONDITION NECESSAIRE :</b> roche suffisamment fracturée pour que la taille des éléments soit négligeable devant la taille de la pente. <b>APPROCHE GLOBALE :</b> $S = 10-3F$ (arrondi au nombre entier et positif le plus proche) Facteur de sécurité F calculé avec c et $\phi$ - issus d'une évaluation type RMR ou Q - et la pente du versant (abaques en Annexe 1, d'après Hoek et Bray, 1981)																		
S Rupture de surplomb	<b>CONDITION NECESSAIRE :</b> <i>Existence d'un toit</i> <b>Découpage latéral et supérieur :</b> Probabilité faible 0 Probabilité moyenne 1 Probabilité forte 3 Continuité avérée 5	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td></td> <td>Rapport portée / épaisseur <math>e \leq 6</math></td> <td>Rapport portée / épaisseur <math>6 \leq e \leq 12</math></td> <td>Rapport portée / épaisseur <math>e \geq 12</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pas de fracture arrière</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>• Cohésion du découpage :            Forte cohésion (ex recristallisé) 0            Cohésion faible (remplissage...) 1            Pas de cohésion 2</td> </tr> <tr> <td>Fracture arrière observée</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>• Si pas de fracture arrière :            résistance en traction de la matrice (et microfissures) :            Roche massive et saine 0            Roche fissurée ou altérée 1</td> </tr> </table>		Rapport portée / épaisseur $e \leq 6$	Rapport portée / épaisseur $6 \leq e \leq 12$	Rapport portée / épaisseur $e \geq 12$		Pas de fracture arrière	0	1	1	• Cohésion du découpage : Forte cohésion (ex recristallisé) 0 Cohésion faible (remplissage...) 1 Pas de cohésion 2	Fracture arrière observée	2	2	3	• Si pas de fracture arrière : résistance en traction de la matrice (et microfissures) : Roche massive et saine 0 Roche fissurée ou altérée 1		
	Rapport portée / épaisseur $e \leq 6$	Rapport portée / épaisseur $6 \leq e \leq 12$	Rapport portée / épaisseur $e \geq 12$																
Pas de fracture arrière	0	1	1	• Cohésion du découpage : Forte cohésion (ex recristallisé) 0 Cohésion faible (remplissage...) 1 Pas de cohésion 2															
Fracture arrière observée	2	2	3	• Si pas de fracture arrière : résistance en traction de la matrice (et microfissures) : Roche massive et saine 0 Roche fissurée ou altérée 1															

MECANISME	STATICUE (suite)					S/10
	Découpage principal (/5)			Conditions géométriques aggravantes (/3)	Conditions géomécaniques aggravantes (/2)	
Cb Basculement de colonne	Découpage arrière douteux	Elancement $E < 2$	Elancement $2 < E < 5$	Elancement $E > 5$	Projection du centre de gravité : Rapport Plus grande largeur / largeur de la base $e$	Résistance en traction du pied (matrice + joints) :
	Fracture arrière fermée	0	1	2	$e < 1.5$ (tiers central) 0	- Roche massive et saine 0
	Fract. arrière ouverte	1	2	3	$1.5 < e < 2.5$ (hors 1/3 central) 1-2	- Roche fissurée ou altérée, ou présence d'un joint 2
Cp Rupture en pied de colonne	H = hauteur	$H \leq 15$ m	$15 \leq H \leq 50$ m	$H \geq 50$ m	Présence d'un plan de glissement basal	Résistance en compression simple du pied et du socle
	Découpage arrière couteux	0	1	2	Probabilité faible 0	- Roche saine 0
	Fracture Arrière Fermée	1	2	3	Probabilité moyenne 1	- Roche fracturée 1
	Décollé à l'arrière	3	4	5	Probabilité forte 2 Continuité avérée 3	- Roche tendre ou très altérée 2
Bf Rupture de banc	CONDITION NECESSAIRE : Discontinuité plus ou moins parallèle au versant, non émergente ( $\Delta$ azimuts plan / front de falaise $< 20^\circ$ ) Continuité de la surface de glissement :			<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport longueur / épaisseur du banc (voir équation III.12, p96) : <math>l &lt; l_c : 0 \quad l &gt; l_c : 1</math></li> <li>Fractures transverses : 0 1 (non) (oui)</li> <li>Emergence latérale du plan basal 0 1 ou plans de décollement latéraux</li> </ul>	Fendage $< \phi$ estimé - $10^\circ$ 0 Fendage $= \phi$ estimé $\pm 10^\circ$ 1 Fendage $> \phi$ estimé $+10^\circ$ 2  <b>Proposition :</b> - Joint argileux : $\phi = 15^\circ$ (10-20°) - Plan lisse : $\phi = 30^\circ$ - Joint rugueux : $\phi = 45^\circ$ (40-50°)	Activer Windows

MECANISME	ACTIVITE			A / 10	
	ACTIVITE ACTUELLE AVEREE (/8)		SIGNES D'ACTIVITE PASSEE (/2)		
	Mouvements mesurés ou prouvés, éboulement voisin dans configuration analogue, chutes de blocs au front		Ouverture ou rejet sur fractures en crête (s'ajoute à l'existence, constitutive ou non, d'une fracture en crête)	Fractures ouvertes ou rejet en paroi	
Gp	• Si des mesures existent et montrent un mouvement :	0      1		0      1 Sur le plan de glissement	
Gd	- Mouvements mesurés : 0 à 5 - Eboulements voisins dans une configuration analogue : 0 à 2	0      1		0      1 Sur les plans de glissement	
Gr		0      1		0      1 sur la surface de rupture (front souvent très fracturé, ouverture difficilement observable)	
S	• Si absence de mesures significatives :	0 ou 1 si configuration verticale Sans objet si configuration horizontale		0      1 si configuration horizontale Sans objet si configuration verticale	
Cb	- Chutes de blocs au front : 0 à 3 - Ouverture récente de fissure 0 à 2 (moins de quelques années, par ex. racine tendue)	0      1 (souvent constitutif)		0      1 à la base Constitutif pour le plan de décollement	
Cp	- Eboulements voisins dans une configuration analogue : 0 à 2	0      1 (souvent constitutif)		0      1 sur plan basal éventuel Constitutif pour le plan de décollement	
Bf		0      1		0      1	

MECANISME	FACTEURS D'EVOLUTION ALEATOIRES / DISCONTINUS				FD / 10
	Pressions interstitielles (/ 5)	Sismicité de base (période de retour 1 an) (/ 1)	Sismicité exceptionnelle récurrente (période de retour 475 ans) (/ 2)	Lien avec autres aléas (glissement de versant, érosion par torrent/crues torrentielles en pied ou latéralement ...) (/ 2)	
Gp	La note attribuée doit tenir compte de la complexité des circulations d'eau qui peuvent aboutir à des mises en pression, en se basant entre autres sur les points suivants :	(*)	(*) L'influence d'un séisme sur un aléa est quantifié par l'accélération horizontale produite, qui dépend de la magnitude et de la distance de l'événement	0 1 2	Poussée active en tête, diminution de butée...
Gd	• Les entrées d'eau dans le massif : - La pluviosité de la région concernée ; - L'étendue du bassin versant : influence la quantité d'eau qui peut arriver sur le massif ; - L'ouverture des fractures en tête : favorise les infiltrations ; - L'orientation du versant : en cas d'enneigement, en versant sud les pics de fonte seront plus forts et plus répétitifs qu'en versant Nord (+ cycles gel / dégel plus fréquents) ;	a < 0.001 g 0 a ≥ 0.001 g 1	a < 0.1 g 0 a < 0.3 g 1 a ≥ 0.3 g 2	0 1 (peu d'influence)	
Gr					
S	• Les sorties d'eau dans le massif : - Les observations de sortie d'eau : écoulement, suintement, signes (mousses, tufs...) ; - Le niveau de ces sorties d'eau dans le massif : plutôt plus défavorable en partie basse qu'en partie haute (indice sur la continuité des discontinuités) ;		Plus d'influence (effet de site, résonnance). Non quantifié en l'état.	0 1 2	
Cb	- Le temps passé depuis les dernières précipitations : des arrivées d'eau persistant plusieurs jours après les dernières pluies sont indicateurs d'écoulements lents (mises en pressions possibles en cas de précipitations prolongées ou intenses) ;				
Cp	- Les exutoires : des exutoires masqués ou bouchés, de façon permanente (plaquage de calcite...) ou temporaire (bouchons de gel...) favorisent les mises en pression.	a < 0.001 g 0 a ≥ 0.001 g 1	a < 0.1 g 0 a < 0.3 g 1 a ≥ 0.3 g 2	0 1	
Bf	La qualité de la note est directement influencée par l'ensemble de ces critères : une visite de site un lendemain de pluie n'apportera pas les mêmes renseignements qu'après une période sèche.				

MECANISME	FACTEURS D'EVOLUTION CONTINUS					FC / 10
	Altération / Dissolution Si matériau altérable ou soluble et écoulement lent ( / 2 )	Gel – dégel ( / 2 )	Modifications de géométrie (-3 / +3)	Permafrost (-5 / +5)	Facteurs anthropiques (-3 / +5)	
Gp	Effet chimique de l'eau, à différencier de l'effet des pressions interstitielles	Effet de surface (quelques 10cm) → distinguer l'influence sur des aléas de petit volume (facteur déclenchant) ou de volume plus important (rôle d'érosion)	- Perte de masse en pied (érosion) : 0 à +2	Pour les zones de haute altitude, le gel permanent ajoute un terme de cohésion à la résistance des discontinuités.	Vibrations – explosions (mines, carrières, chantiers), déprise agricole (élimination du drainage) ...	
Gd	0 – 2 Affecte la résistance des plans de discontinuité, évacue ou dépose du remplissage	Prendre en compte le nombre de cycles gel - dégel par an, N, fonction de l'altitude, de l'orientation du site	- Accumulation en pied (dépôts, déplacements) : -2 à 0			
Gr						
S	0 – 2 Active la mise en surplomb par érosion du niveau inférieur	N ≤ 80      0 80 ≤ N ≤ 120      1 N ≥ 120      2	- Dépôts / accumulations en tête : 0 à +1 - Perte de masse en tête : -1 à 0	- Fonte du permafrost : 0 à +5 - Permafrost : -5 à 0	Drainage du bassin Versant, mesures de stabilisation (ancrages, filets) ...	0 à +5
Cb	0 – 2 Si affecte le pied	On considère ici uniquement la fatigue du massif liés aux cycles ; l'aspect des exutoires bouchés par le gel rentre dans le cadre des pressions interstitielles.				-3 à 0
Cp						
Bf	0 – 2 Perte de résistance sous le banc					

## II. Techniques instrumentales

Le tableau récapitulatif suivant regroupe différentes techniques instrumentales utilisées pour surveiller l'instabilité gravitationnelle. Le tableau décrit différents paramètres permettant de différencier les techniques en fonction des phénomènes observés. Les paramètres de l'étude sont les suivants :

- Le mesurande correspond à la grandeur physique mesurée.
- Principe de mesure, précisant la technique de mesure utilisée.
- Le nombre de sorties pouvant justifier le type de poste de mesure et de traitement requis.
- Domaine d'application et type d'aléa, renseignant sur les phénomènes pouvant être suivis par cette technique.

- Résolution, qui indique la plus petite quantité mesurable pouvant être obtenue en utilisant la technique.
- Fournir des données, correspondant au temps de réponse de l'instrument Ajouter le temps de traitement nécessaire jusqu'à l'obtention d'une valeur interprétable. Les données peuvent être représentées sur des échelles de temps par les intensités suivantes :
  - instantané (millisecondes),
  - très rapide (<<1 seconde),
  - rapide (~secondes),
  - moyen (plusieurs secondes),
  - longue (~min),
  - très long (~heures).

Les avantages, les inconvénients et les limites d'utilisation fournissent des informations supplémentaires pour chaque technique.

	MESURANDE	PRINCIPE DE MESURE	GRANDEUR DE SORTIE	DOMAINE D'APPLICATION	TYPE D'ALEA A SURVEILLER	RESOLUTION	MISE A DISPOSITION DES DONNEES	AVANTAGES	LIMITE D'UTILISATION / INCONVENIENTS
DETECTEUR LOGIQUE	Contact	Contact électrique / lumineux	Analogique	Détection ponctuelle	Eboulement ( <i>Rupture</i> )	Dépend de la nature du contact	Instantané	Simple, pas de traitement	Non réarmable automatiquement, pas d'information sur l'évolution
EXTENSOMETRE / FISSUROMETRE	Déplacement	Résistif / Inductif / Corde vibrante	Analogique / Codeur	Déformation superficielle ponctuelle	Eboulement ( <i>Rupture</i> )	0,01%EM	Rapide	Appareil classique et bon marché	
EXTENSOMETRE DE FORAGE	Déplacement	Résistif / Inductif / Corde vibrante	Analogique / Codeur	Déformation profonde ponctuelle	Glissement de terrain	0,01%EM	Rapide		Nécessite génie civil pour forage
EXTENSOMETRE A FIBRE OPTIQUE	Déformation	Mesure optique	Analogique	Déformation superficielle ou profonde linéaire	Glissement de terrain	-	Rapide	Pas de perturbation e.m. sur la mesure	Technique plutôt adaptée à la surveillance d'ouvrage, requiert personnel spécialisé, nécessite génie civil pour forage
TDR	Déformation	Mesure d'une impulsion e.m.	Analogique	Déformation superficielle ou profonde linéaire	Glissement de terrain	2mm	Rapide	EM [0 2000m]	Nécessite génie civil pour forage, pas d'info sur direction de la déformation
INCLINOMETRE	Inclinaison (angle)	Magnéto-résistif, servo-acceléromètre	Analogique	Déformation superficielle et profonde ponctuelle	Glissement de terrain	0,02%EM	rapide		Nécessite génie civil pour forage
GPS	Coordonnées géoréférencées	Calcul pseudo-range et phase d'une onde e.m.	Numérique	Déformation superficielle ponctuelle ou linéaire	Glissement de terrain	3 à 5 mm ( <i>post-traitement</i> ou en mode RTK)	Très long ( <i>post-traitement</i> ), rapide (RTK)	Mise en œuvre facile, mesure 3D, grande ligne de base	Mauvaise résolution en Z, nécessite espace ouvert, coût élevé

	MESURANDE	PRINCIPE DE MESURE	GRANDEUR DE SORTIE	DOMAINE D'APPLICATION	TYPE D'ALEA A SURVEILLER	RESOLUTION	MISE A DISPOSITION DES DONNEES	AVANTAGES	LIMITE D'UTILISATION / INCONVENIENTS
TACHEOMETRE / STATION TOTALE	Distance, Angle	Mesure de phase sur laser de 780nm	Numérique	Déformation superficielle ponctuelle	Glissement de terrain	2 mm + 2 ppm	Moyen	Mesure à distance	Difficulté de mesure par pluie ou brouillard épais ou atm trop diffusant (par ex. ensoleillé avec forts courants de chaleur), nécessite référence stable à vue des points de mesure
	Distance	Mesure de phase sur laser	Numérique	Déformation superficielle linéaire (profil)	Glissement de terrain	Qq cm	Moyen	Mesure à distance, sans cible	Difficulté de mesure par pluie, brouillard épais ou atm trop diffusant, technique non validée pour la surveillance car non automatisée
LASER PULSE	Distance	Mesure de phase sur laser	Numérique	Déformation superficielle surfacique	Glissement de terrain	2 cm à 600m	Long	Mesure 3D à distance, sans cible	Difficulté de mesure par pluie, brouillard épais ou atm trop diffusant Technique non validée pour la surveillance car non automatisée
	Distance	Mesure de phase sur laser	Numérique	Déformation superficielle ponctuelle	Éboulement, avalanche (propagation)	Dépend de la portée et de la fréquence	Rapide	Mesure à distance	Difficulté de mesure par grand vent, brouillard givrant, masque de la végétation, animaux, vent dans les arbres, boursaques de neige. Portée 50-300m selon type
SCANNER LASER	Vitesse	Rayonnement e.m. Doppler	Contact électrique	Détection de mouvements ponctuelle	Éboulement, avalanche (propagation)	Dépend de la portée et de la fréquence	Moyen	Mesure à distance fonctionnel par conditions	Difficulté de mesure par grand vent (dû à vibration antenne) mais corrigable Technique non utilisée actuellement pour la surveillance
	Vitesse	Fonctionnement sur le principe de l'effet Doppler avec la particularité de parcourir une zone angulaire fixée	Onde e.m. (Spectre de vitesse)	Détection de mouvements surfacique	Éboulement, avalanche (propagation)	Dépend de la portée et de la fréquence	Moyen	Mesure à distance	Nécessite image satellite Traitement complexe, ambiguïté des mesures, coût élevé, nécessite personnel spécialisé, traitement complexe
RADAR DOPPLER PULSE	Flux de rayonnement optique	Interférométrie sur image satellite	Numérique	Déformation superficielle surfacique	Glissement de terrain	Qq cm	Très long	Mesure à distance	Végétation, givrage sur les marqueurs, correction des effets atmosphériques, nécessite personnel spécialisé technique non opérationnelle, traitement complexe
	Distance	Rayonnement e.m. (GHz)	Numérique	Déformation superficielle surfacique	Glissement de terrain	0,2 mm post-traitement	Très long	Mesure à distance et par tout temps	
RADAR INTERFEROMETRIQUE									
RADAR SOL (GROUND BASED SAR)									

## Annexes

	MESURANDE	PRINCIPE DE MESURE	GRANDEUR DE SORTIE	DOMAINE D'APPLICATION	TYPE D'ALEA A SURVEILLER	RESOLUTION	MISE A DISPOSITION DES DONNEES	AVANTAGES	LIMITE D'UTILISATION / INCONVENIENTS
RADAR SOL ULB (ULTRA-LARGE-BANDE)	Distance, Vitesse	Rayonnement e.m. (18-26GHz) Doppler	Numérique	Déformation superficielle surfacique	Glissement de terrain, éboulement (propagation)	0,2mm, 250kg à 1200m	Long (1pt/heure)	Mesure à distance et par tout temps	Nécessite personnel spécialisé, méthode développée spécifiquement pour le site de Séchilienne, traitement complexe qui nécessite un calculateur
VIDEOMETRIE	Flux de rayonnement optique	Analyse d'images	Numérique	Déformation superficielle surfacique ( <i>détection blocs en mouvements par comparaison d'image</i> )	Glissement de terrain, éboulement (propagation), avalanche	1cm a 300m et qqm a 1000m	Moyen (dépend de la puissance du PC)	Mesure à distance, sans cible	Conditions de visibilité favorables, Pas de mesure la nuit, difficulté de mesure par brouillard, pluie (agitation thermique des couches d'air), appareil très sensible aux vibrations, animaux, vent dans les arbres,, traitement complexe qui nécessite un calculateur Technique non validée pour la surveillance
SISMIQUE	Vibration	Résistif / Inductif	Analogique / Charge	Déformation interne volumétrique	Séisme, éboulement (propagation), avalanche	20s <freq< 100Hz	Très rapide	Non perturbé par météo, localisation spatiale des sources	Environnement bruyant, perturbation e.m
MICRO-SISMIQUE	Vibration	Résistif / Inductif	Analogique / Charge	Déformation interne volumétrique	Eboulement (rupture)	1Hz <freq< 1kHz	Très rapide	Non perturbé par météo, localisation spatiale des sources	Environnement bruyant, perturbation e.m
ACOUSTIQUE	Onde sonore	Résistif / Inductif	Analogique	Déformation externe volumétrique	Eboulement (propagation), avalanche	Fréq>100Hz	Très rapide	Non perturbé par météo, localisation spatiale des sources	Environnement bruyant, perturbation e.m
VITESSE ET DIRECTION DU VENT	Vitesse, Azimuth	Résistif / Inductif / Optique	Analogique / Codeur	Météorologie	Avalanches	0,3m/s 3°	Rapide		Montage sur mât

	MESURANDE	PRINCIPE DE MESURE	GRANDEUR DE SORTIE	DOMAINE D'APPLICATION	TYPE D'ALEA A SURVEILLER	RESOLUTION	MISE A DISPOSITION DES DONNEES	AVANTAGES	LIMITE D'UTILISATION / INCONVENIENTS
TEMPERATURE	Température	Thermorésistif	Analogique	Météorologie	Tout type d'alea	0,5°C	Rapide		Nécessite un abri météorologique pour la mesure de la température de l'air (équilibre thermique entre détecteur et milieu)
PLUVIOMETRIE	Volume / Hauteur d'eau	Contact électrique	Contact sec	Météorologie	Glissement de terrain, éboulement	0,2mm de pluie	Moyen		Masque par végétation, nécessite endroit dégagé sans obstacle
NIVOMETRE	Hauteur	Mesure Temps de propagation d'une onde acoustique (ultrason)	Analogique / Numérique	Nivologie	Avalanches	cm	Moyen		Montage sur mât
PIEZOMETRE	Pression / Hauteur d'eau	Mesure de pression	Analogique	Piézométrie	Glissement de terrain,	0,2% EM	Rapide		Nécessite un forage

Légende : EM = Etendue de mesure / e.m. = électromagnétique

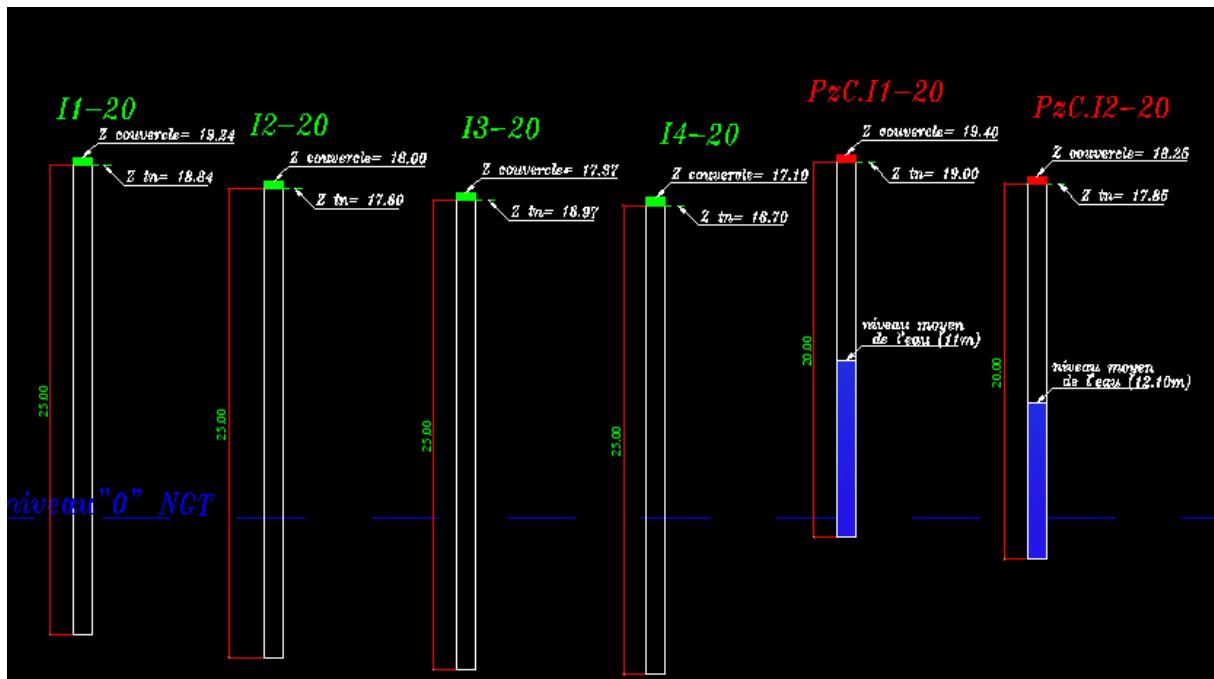
### III. Points des polygonales de bases

Bornes	Photos	Coordonnées WGS84	Coordonnées XYZ Lambert Nord Tunisie IGN
S1		<b>Long = 36°47'40".2057N</b> <b>Lat = 10° 33'47".5249E</b> <b>H-Ellipsoid = 77,841</b>	<b>X= 559 115,762</b> <b>Y= 388 168,560</b> <b>Z= 37,709</b>
S2		<b>Long = 36°47'46.7416N</b> <b>Lat = 10°33'40.1348E</b> <b>H- Ellipsoid = 63,597</b>	<b>X= 558 931,254</b> <b>Y= 388 365,953</b> <b>Z= 23,479</b>
S3		<b>Long = 36°48'00.1121N</b> <b>Lat = 10°33'50.5425E</b> <b>H- Ellipsoid = 72,470</b>	<b>X= 559 186,381</b> <b>Y= 388 779,739</b> <b>Z= 32,308</b>
S4		<b>Long = 36°48'11.2672N</b> <b>Lat = 10°33'52".3112E</b> <b>H- Ellipsoid = 79,959</b>	<b>X= 559 227,866</b> <b>Y= 389 123,801</b> <b>Z= 39,814</b>
S5		<b>Long = 36°48'15.4874N</b> <b>Lat = 10°33'52".6295E</b> <b>H- Ellipsoid = 83,380</b>	<b>X= 559 234,854</b> <b>Y= 389 253,913</b> <b>Z= 43,252</b>

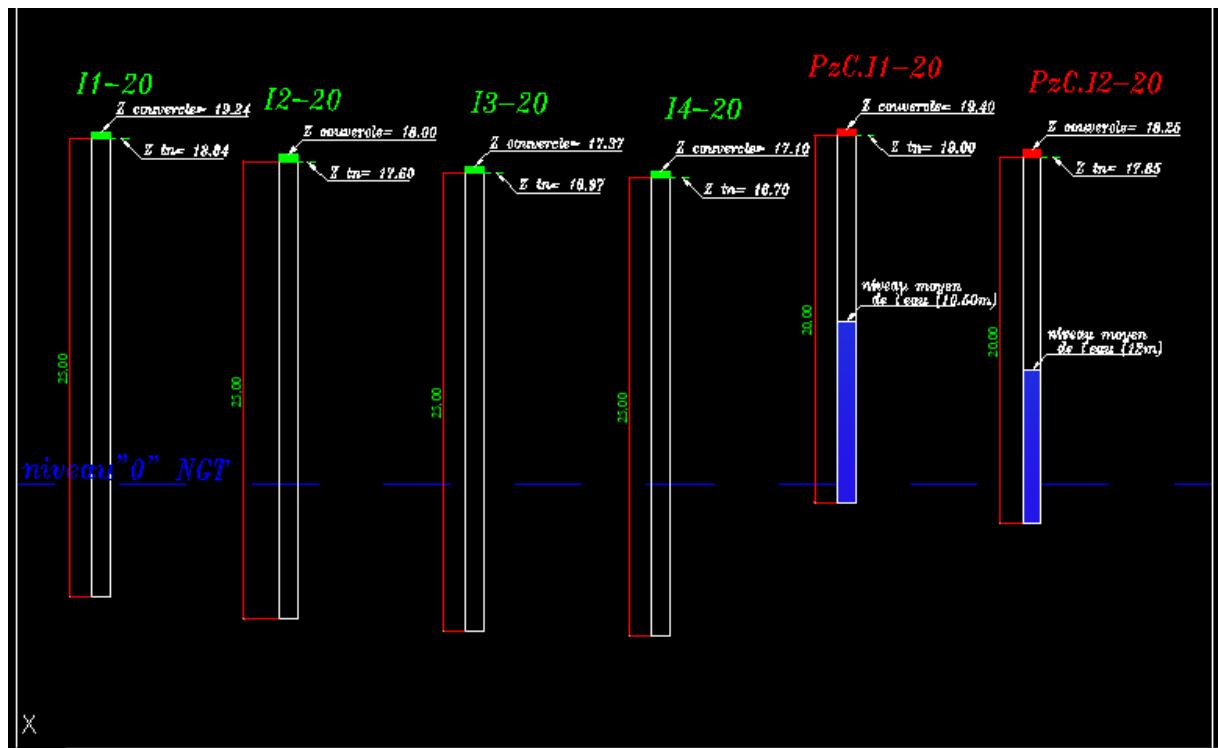
Bornes	Photos	Coordonnées WGS80	Coordonnées XYZ
S6		36°48'27.9035N 10°33'53.2317E H-elipsoide = 86,500	X= 559 247,177 Y= 389 636,634 Z= 46,334
S7		36°48'50.1559N 10°33'57.0650E H- =67,590	X= 559 337,454 Y= 390 323,036 Z= 27,496
S8		36°48'55.7806N 10°34'03.5875E H- Ellipsoid = 81,940	X= 559 497,903 Y= 390 497,470 Z= 41,851
S9		36°49'04.3065N 10°34'01.5126E H- Ellipsoid = 53,600	X= 559 444,681 Y= 390 759,855 Z= 13,512
S10		36°49'26.9507N 10°33'57.6520E H- Ellipsoid = 57,681	X= 559 344,256 Y= 391 457,009 Z= 17,609

## IV. Les données piézométriques

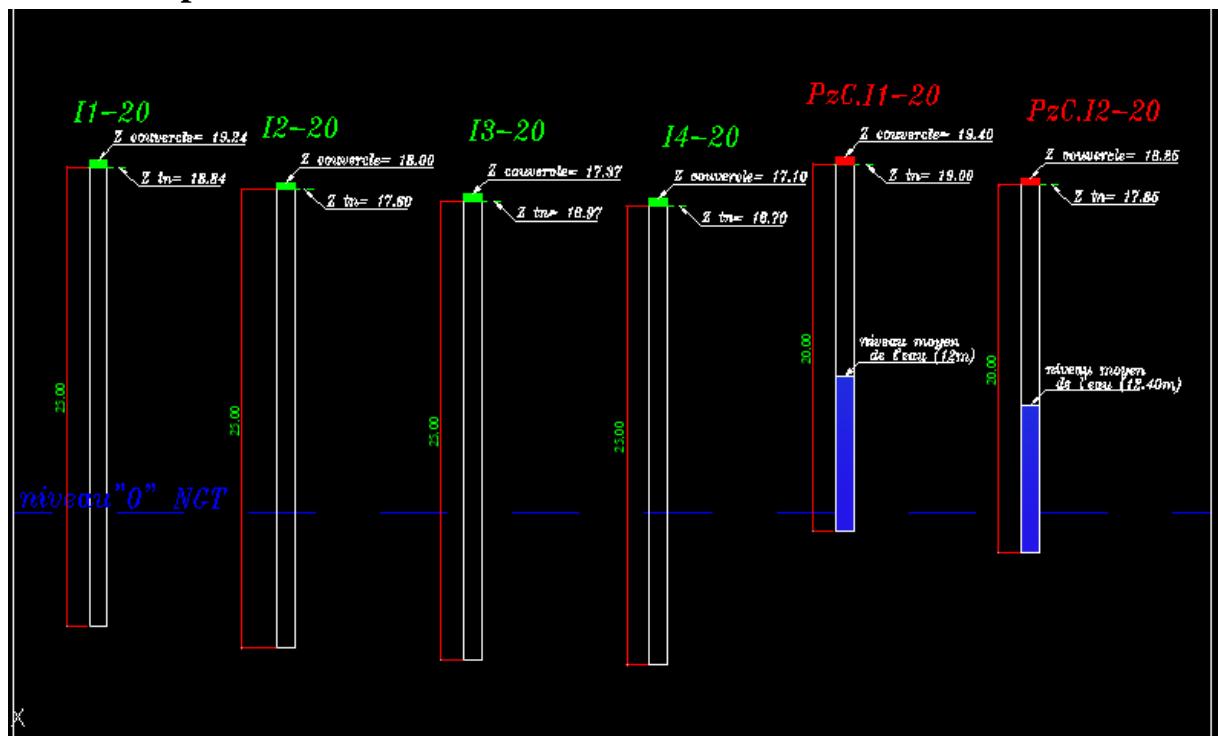
- Mois de juillet 2021



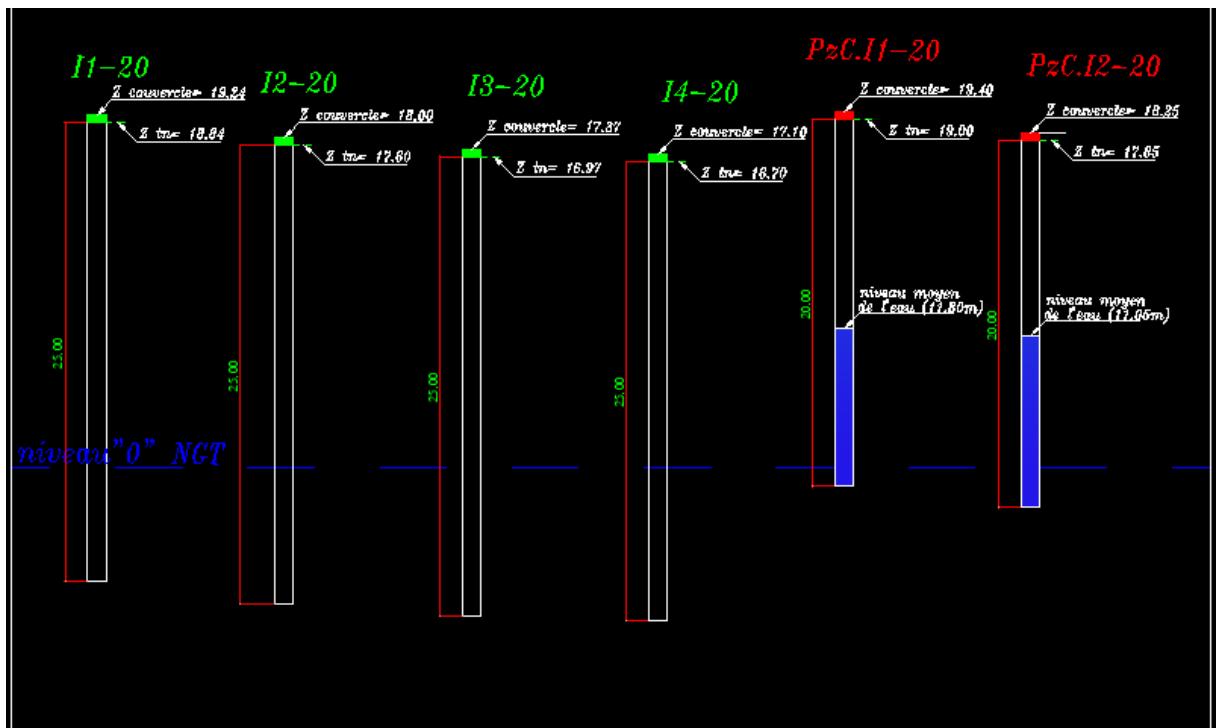
- Moi d'Aout 2021



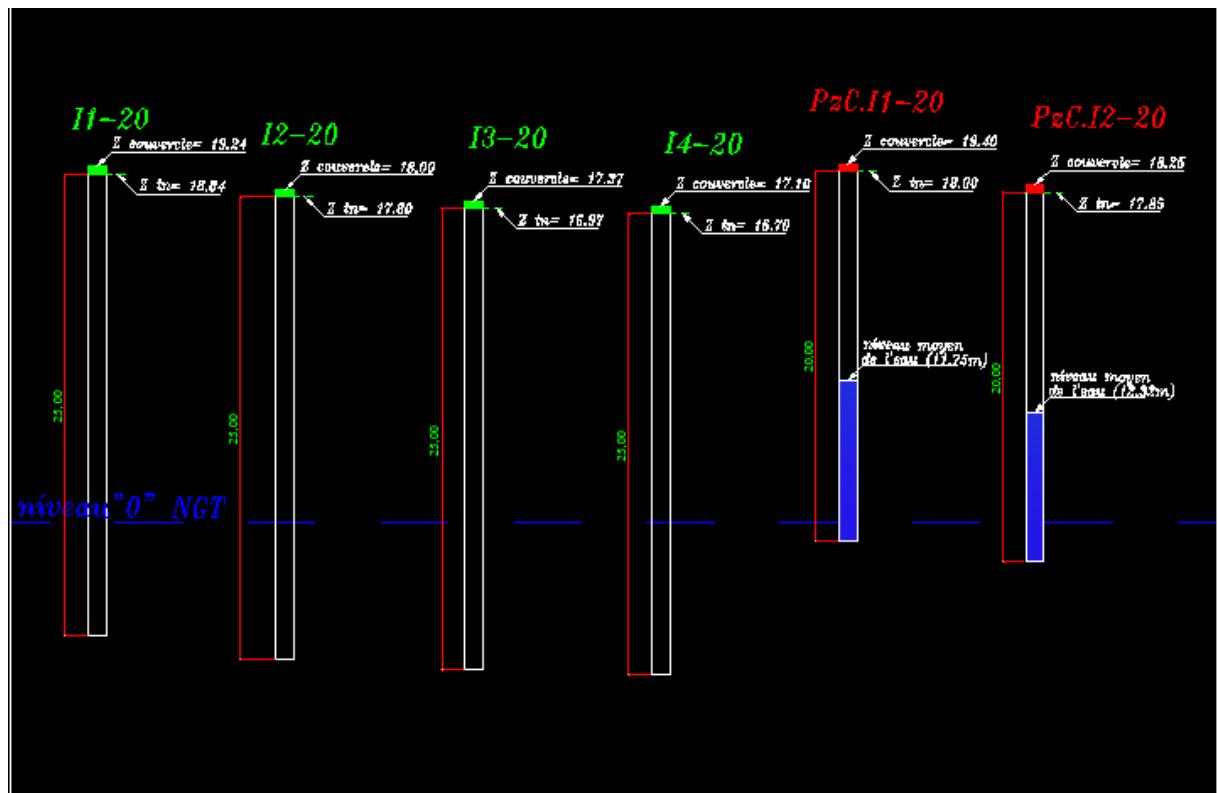
- Mois de Septembre 2021



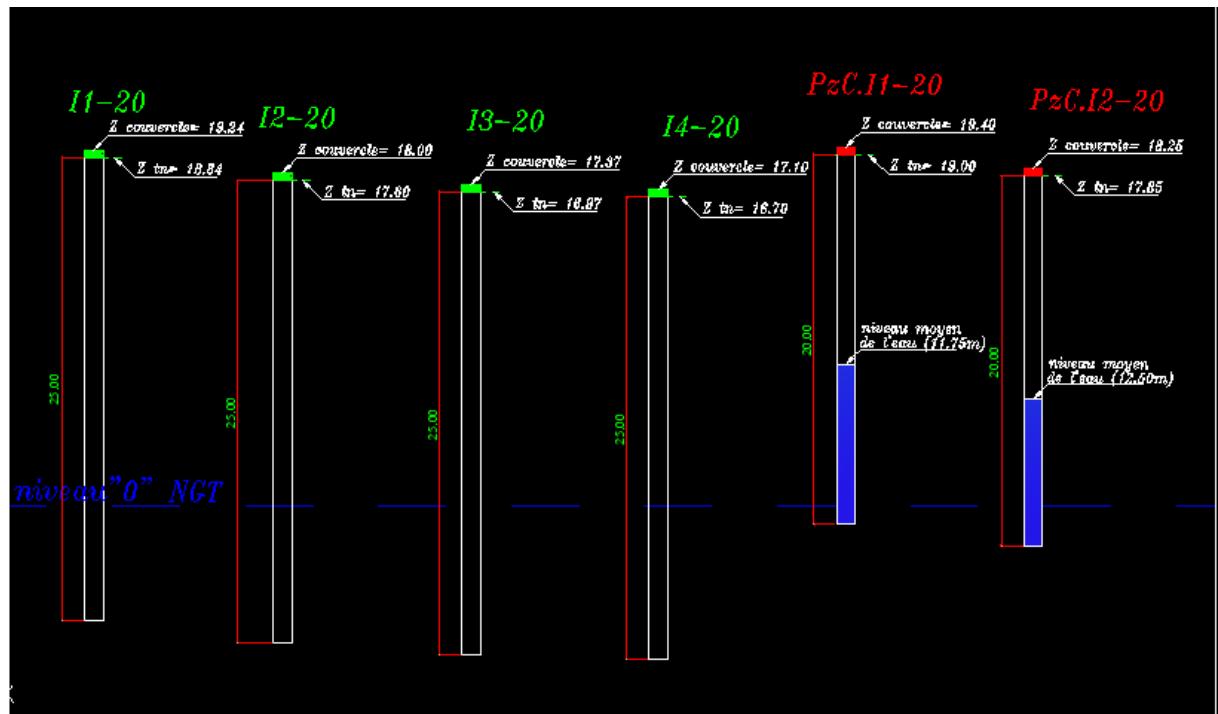
- Mois Octobre 2021



- Mois Novembre 2021



- Mois de décembre 2021



## V. Fiche signalétique de la station totale :

### Série GeoMax Zoom50

Les plus hautes performances à tous les niveaux.



#### EDM ACCXESS DE POINTE

Intégrant la technologie accXess, la station GeoMax Zoom50 présente une fonction de mesure de distance intelligente conçue pour une utilisation rapide avec le plus haut niveau de précision sur des distances extrêmement longues. Vous obtenez ainsi une plus grande couverture opérationnelle tout en réduisant la perte de temps due aux changements de station.

#### CONNEXION SIMPLE

La station totale manuelle Zoom50 comprend un port USB, un port Bluetooth® interne et un port de connexion par câble. Vous pouvez ainsi opérer un transfert de données rapide, simple et fiable entre l'instrument et votre PC ou votre contrôleur portable à l'aide de la technologie Plug and Play facile à connecter.

#### ÉCRAN TACTILE COULEUR

L'écran tactile couleur 3,5 pouces de grandes dimensions doté d'un affichage Q-VGA permet une lecture facile même dans un environnement extrêmement lumineux. Avec un affichage de haute résolution extra large, l'interface graphique, facile d'utilisation rend les tâches standard telles que les implantations encore plus simples et rentables.

#### DONNÉES TECHNIQUES

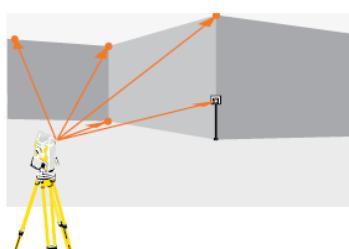
Écart type Hz, V (ISO 17123-3)	1 po, 2 po, 5 po
Système de compensateur	Compensation 4 axes
Portée sur prismes	10 000 m
Précision sur réflecteur (Fine/Tracking)	2mm + 2 ppm/3 mm + 2 ppm
Mesures sans réflecteur accXess5	> 500 m
Mesures sans réflecteur accXess10	> 1 000 m
Précision sans réflecteur	2 mm + 2 ppm (> 500 m 4 mm + 2 ppm)
Communication	USB, Bluetooth®, hôte USB, RS232

#### GeoMax Zoom50 accXess5

Mesure de distance sur réflecteur et mesure sans réflecteur jusqu'à 500 m.

#### GeoMax Zoom50 accXess10

Mesure de distance sur réflecteur et mesure sans réflecteur jusqu'à 1 000 m.



#### APPLICATIONS

Votre station totale Zoom50 est dotée d'un éventail complet d'applications performantes :

- Levé et codage
- Mise en station avec résection
- Implantation
- Surface et volume 3D
- Altitude inaccessible
- Construction
- Ligne de référence
- Arc de référence
- Implantation de grille
- Décalage de colonne
- Fonctions CoGo
- Distance entre points
- Décalages de deux prismes
- Route 2D
- Route 3D
- Cheminement avec réglage à bord