



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et la Recherche Scientifique
Université de L'arbi Tébessi-Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des sciences de la Nature et de la Vie
Département : Science de la Terre et l'Univers



MEMOIRE DE MASTER
Domaine : Science de la Terre et l'Univers
Filière : Géoscience
Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème :

Etude géotechnique de stabilité d'un talus en déblais, entre le profil 241 et le profil 255 : Projet de raccordement de la RN03 - Autoroute Est-Ouest, Didouche Mourad (W. de Constantine).

Présenté par :

Mezdaouet Laila

Devant le jury :

Boumazbeur Abderrahmane	Professeur	Université de Tébessa	Président
Fehdi Chemss eddine	Professeur	Université de Tébessa	Rapporteur
Defafliya Nabil	M.C.B	Université de Tébessa	Examineur

Date de soutenance : 17-06-2021

Note :

Mention :

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A la mémoire de mon père disparu trop tôt. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère.

A mes chères sœurs et cher frères, qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment

Remerciement

Nous tenons à exprimer nos plus sincères reconnaissances et toute nos sympathies à notre promoteur, Monsieur FEHDI.CH, qui a dirigé ce travail. Il a su nous guider habilement dans un sujet riche tout en accordant sa confiance. Nous lui témoignons toute notre gratitude pour l'éclairage extérieur et plein d'intérêt, qu'il à apporter lors de nos discussions. Ses conseils avisés et la pertinence de ses analyses ont permis de faire avancer ce travail avec une grande efficacité ; son approche des questions scientifiques restera pour nous un exemple ; ses compétences et son enthousiasme scientifique ont été des sources permanentes de soutien et de motivation.

Et nous remercions Mr FEHDI.CH une autre fois pour tout ce qu'il nous a apporté lors de l'élaboration de notre mémoire. Son goût profond pour une science claire et rigoureuse et son dynamisme nous ont beaucoup marqué.

Nous présentons nos profonds remerciements aux membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner et de juger notre travail de recherche.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants et le personnel du département , ainsi que pour ceux qui nous ont aidé à la réalisation de ce mémoire.

RESUME

Le phénomène de glissement de terrain est considéré comme dangers naturel permanents rencontrés dans tous les pays du monde car l'importance des effets de glissement pouvant engendrer des dégâts humains et matériels pouvant se chiffrer en plusieurs millions de Dollars dont les gouvernements doivent prêter beaucoup d'attention. Pour cela, il faut compte tenu de ces phénomènes et de leurs dangers, et de prendre les précautions convenable pour détecter les zones instables afin de trouver les meilleurs solutions de protections ou de traitements. Au Nord-est de l'Algérie, les glissements de terrain comptent parmi les risques naturels les plus fréquents favorisés par la nature sensible de la couche pédologique et les travaux de construction de route modifiant le réseau de ruissellement et d'infiltration. Plus grave, il a été constaté un phénomène récurrent et dérangeant en matière de circulation sur les routes existantes en période hivernale particulièrement dans la wilaya de Constantine. Des routes traversent des versants des formations géologiques réputées pour leurs versants fréquemment instables. Il s'agit de mouvement de terrains causant des glissements, des éboulements ou stabilité précaire. Le présent sujet, après identification et classification des glissements inventoriés vise d'une part à identifier les facteurs favorisant les mouvements de terrain et d'autre part le choix des approches adéquates de vérification de la stabilité.

Mot clé :

Mouvement de terrains, glissement , formations géologiques , vérification de la stabilité

ABSTRACT

Landslides phenomenon is considered as a permanent natural hazards encountered in every country of the world because significant slip can cause human and material damages may cost millions of dollars so, that governments must pay attention to them. Much can be given to these phenomena and their dangers; the reformat needs to take suitable precautions to detect unstable areas to find out the best solutions for protection or treatment. In north-east of Algeria, landslides are among the most frequent natural hazards caused by the sensitive nature of the soil and the construction of road network amending runoff and infiltration rate. More importantly, it is found that there is a recurring and disturbing phenomenon concerning the traffic on existing roads in winter especially in the province of Constantine. Roads across the slopes of the geological formations show unstable slopes. These slopes land movement causing landslides, or dangerous instability. This subject, after identification and classification of existing landslides, aims firstly to identify predisposing factors of landslides occurring and secondly the choice of appropriate approaches for checking stability.

Key words: Landslides phenomenon, instability, checking stability.

ملخص

تعتبر ظاهرة انزلاق التربة خطر طبيعي دائم و الذي نصادفها في جميع بلدان العالم و هذا نظرا للنتائج المتسبب فيها من خسائر بشرية و مادية تقدر بملايين الدولارات لذا يجب على الحكومات اخذ الحيطة و الحذر.

كما يجب الاخذ بعين الاعتبار هذه لظاهرة و مخاطرها و اخذ بالاحتياطات الازمة و التنقيب على المناطق المعرضة للانزلاق من اجل ايجاد احسن الحلول للحماية و العلاج.

في شمال شرق الجزائر يعد انزلاق التربة من بين الاخطار الطبيعية الاكثر انتشارا و هذا نظرا للطبيعة الحساسة لطبقة التربة و اعمال البناء و الطرقات التي تغير مجرى الجريان و الخطر من ذلك لوحظ ظاهرة تضايق متكررة في الطرقات و خاصة في الفترة الشتوية و خصوصا في ولاية قسنطينة و التي تعتبر كمحدرات غير مستقرة تدل على حركة ارضية تسببت فيها انزلاق التربة بعد تحديد و تصنيف الانزلاق تمكنا من جهة التعرف على عوامل حركة التربة و من جهة اخرى اختيار الطريقة الملائمة لتحقيق الاستقرار.

الكلمات المفتاحية :

انزلاق التربة, منحدرات غير مستقرة. حركة التربة.

Table Des Matières

INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I	
SITUATION GEOGRAPHIQUE ET MILIEU PHYSIQUE	
1.1 Géographique physique.....	03
1.1.1 Situation géographique de la région	03
1.1.2 La topographie	04
1.1.3 Les éléments du relief.....	05
1.1.3.1 Le rocher.....	05
1.1.3.2 Les plateaux.....	06
1.1.3.2.1 Les plateaux du Mansourah.....	06
1.1.3.2.2 Le plateau de Sidi M'cid.....	06
1.1.3.2.3 Le plateau du Coudiat.....	06
1.1.3.2.4 Le plateau d'Ain el Bey.....	06
1.1.3.3 Les collines.....	06
1.1.3.4 Les vallées.....	06
1.1.4 Le milieu physique.....	07
1.1.4.1 Géomorphologie.....	07
1.1.4.2 Le Climat.....	08
1.1.4.3 Le réseau hydrographique.....	09
1.1.4.3.1 Principaux oueds.....	09
1.1.4.4 Hydrologie.....	10
1.1.4.5 Pluviométrie.....	10
1.1.4.6 Evapotranspiration.....	11
1.1.4.7 Agriculture.....	13
1.1.4.8 Population.....	13
1.1.4.9 Industrie.....	13
1.2 Conclusion.....	13
CHAPITRE II	
GEOLOGIE REGIONALE ET TECTONIQUE	
2.1 Géologie De La Région.....	14
2.1.1 Cadre Géologique régional	14
2.1.1.1 Contexte Géologique et Géomorphologique de la région de Constantine.....	14
2.1.1.2 Aperçu sur la chaîne des Maghrébides.....	14
2.1.1.2.1 Le domaine interne	16
2.1.1.2.1.1 Le socle kabyle	16
2.1.1.2.1.2 La dorsale Kabyle ou chaîne calcaire.....	17
2.1.1.2.2 Le domaine médian : « domaine des flysch »	17
2.1.1.2.3 Le domaine externe (tellien) et de l'avant pays.....	17
2.1.1.2.3.1 Les séries telliennes.....	17
2.1.1.2.3.2 Les séries de l'avant pays allochtone.....	18
2.1.1.2.3.3 La série écaillée des Sellaouas.....	18
2.1.1.2.3.3.1 Les séries de l'avant pays autochtone.....	18
2.2 Tectonique de la région de Constantine.....	19
2.2.2.1 Les phases tectoniques.....	19
2.2.2.1.1 La phase Antée-tertiaire.....	19

2.2.2.1.2	Les phases tertiaires.....	19
2.2.2.1.2.1	La phase fini- lutétienne.....	19
2.2.2.1.3	La phase miocène.....	20
2.2.2.1.3.1	La phase récente (post-miocène)	20
2.2.3	Géologie Locale.....	20
2.2.3.1	La Litho stratigraphique de Constantine et ses environs.....	20
2.2.3.1.1	Le Trias.....	20
2.2.3.1.2	Le Jurassique.....	21
2.2.3.1.3	Le Crétacé inférieur.....	21
2.2.3.1.3.1	Le Néocomien.....	21
2.2.3.1.3.2	Le Barrémien.....	21
2.2.3.1.3.3	L'Aptien.....	21
2.2.3.1.3.4	L'albien.....	22
2.2.3.1.3.5	Le Cénomanién.....	22
2.2.3.1.4	Crétacé supérieur.....	22
2.2.3.1.4.1	Le Turonien.....	22
2.2.3.1.4.2	Le Sénonien.....	22
2.2.3.1.5	Le Paléogène.....	22
2.2.3.1.6	Le Néogène.....	22
2.2.3.1.7	Le Quaternaire.....	23
2.3	Conclusion.....	24

CHAPITRE III

CLIMAT, HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

3.1	Introduction.....	25
3.2	Le changement climatique.....	25
3.2.1	Evolution historique des facteurs du climat en Algérie.....	25
3.2.2	Evolution future du climat en Algérie.....	25
3.3	Caractérisation des paramètres météorologiques de la région de Constantinoise (Est Algérien)	26
3.3.1	Précipitations.....	26
3.3.1.1	Distribution mensuelle et saisonnière des précipitations de la région de Constantine (station d'Ain El Bey)	26
3.3.1.1.1	Distribution mensuelle.....	26
3.3.1.1.2	Distribution saisonnière.....	27
3.3.1.1.3	Distribution annuelle des précipitations.....	29
3.3.1.1.4	La région de Constantine (station d'Ain El Bey)	30
3.3.2	Températures.....	31
3.3.2.1	Températures moyennes mensuelles de la région de Constantine.....	31
3.3.2.2	Distribution saisonnière.....	32
3.3.2.2.1	Les températures saisonnières de Constantine.....	34
3.3.2.3	Températures annuelles de la région de Constantine (station d'Ain El Bey).....	34
3.4	Relation précipitation-température mensuelle.....	35
3.4.1	La région de Constantine (Station d'Ain El Bey).....	35
3.5	Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....	36
3.5.1	Calcul de l'évapotranspiration.....	37
3.5.2	Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	37
3.5.3	Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	38

3.5.4	Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	39
3.5.5	Calcul de l'infiltration.....	40
3.6	Conclusion.....	41

CHAPITRE IV GENERALITES SUR LES GLISSEMENTS DE TERRAINS

4.1	Introduction.....	42
4.2	Phénomènes de glissements de terrain en Algérie.....	42
4.2.1	Mouvements De Terrain.....	42
4.2.1.1	Définition du mouvement de terrain.....	42
4.2.2	Les glissements de terrains.....	43
4.2.2.1	Définition.....	43
4.3	Cause des glissements de terrain.....	44
4.3.1	Les principaux facteurs du glissement de terrain.....	44
4.3.1.1	Les facteurs permanents.....	44
4.3.1.2	Les facteurs dynamiques et déclenchant.....	45
4.3.1.3	Les facteurs permanents.....	45
4.3.1.4	Les facteurs dynamiques et de déclenchement.....	45
4.3.2	L'eau et les risques de glissements de terrain.....	46
4.3.2.1	La présence des fractions fines.....	46
4.4	Les indices d'instabilité du glissement de terrain du versant.....	47
4.4.1	Les indices géomorphologiques.....	47
4.4.2	Les indices de la végétation.....	47
4.4.2.1	Glissements de terrains actifs.....	47
4.4.2.2	Glissements de terrains inactifs.....	47
4.4.2.3	Glissements de terrains réactivés.....	48
4.4.3	Classification des glissements.....	48
4.4.4	L'agent déplaçant.....	49
4.5	Type de glissement.....	49
4.5.1	Glissement rotationnel.....	49
4.5.2	Glissements plans.....	49
4.5.3	Glissement terrains composite.....	50
4.6	Méthode de calcul des glissements de terrain.....	51
4.6.1	Méthodologie d'étude de glissement de terrain.....	51
4.6.1.1	Etudes géologiques et géomorphologiques du site.....	51
4.6.1.2	Etude hydrologique et hydrogéologique.....	51
4.6.1.3	Etude géotechnique.....	51
4.6.1.4	Campagne de reconnaissance géotechnique.....	52
4.6.1.5	Sondage et prélèvement d'échantillon.....	52
4.6.1.6	Essais in-situ.....	53
4.6.1.7	Essais au laboratoire.....	53
4.6.1.8	Analyse par télédétection.....	53
4.7	Conclusion.....	54

CHAPITRE V METHODOLOGIE GENERALE ET ETAPES DE LA PHOTO- INTERPRETATION

5	Contexte, état de l'art, objectifs de travail et site d'étude.....	55
---	--	----

5.1	Téledétection et cartographie géologique.....	55
5.2	Techniques de télédétection pour l'étude des mouvements gravitaires.....	55
5.2.1	Paramètres de contrôle.....	55
5.2.2	Intérêts génériques des données de télédétection.....	55
5.2.3	Interférométrie Radar.....	56
5.2.4	Capteurs optiques et corrélation optique.....	62
5.2.4.1	Principe de corrélation d'images.....	62
5.3	les methodes de la télédétection.....	71
5.3.1	Hypothèses de départ et méthodologie générale.....	71
5.3.1.1	Méthodologie détaillée de l'étape de photo-interprétation (étape 1).....	74
5.3.1.1.1	Résultats de l'étape de photo-interprétation.....	74
5.3.1.1.2	Indices de glissements de terrain retenus et grilles de photo-interprétation.....	74
5.3.1.1.2.1	des indices quantitatifs.....	74
5.3.1.1.2.2	Les indices qualitatifs.....	74
5.3.1.1.3	Typologies photo-interprétation et sélection des 4 glissements représentatifs (échelle local).....	76
5.3.1.2	Etape de calcul des paramètres quantitatifs (étape 2).....	78
5.3.1.2.1	Traduction quantitative des indices qualitatifs.....	78
5.3.1.2.2	Calcul des paramètres 'Photo Scan'.....	79
5.4	Conclusion.....	80

CHAPITRE VI

RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE ET ANALYSE DE LA STABILITE

6.1	Introduction.....	81
6.2	Reconnaissance du site.....	81
6.2.1	Situation topographique.....	81
6.2.2	Contexte géologique et hydrologique.....	82
6.2.2.1	Géologie locale.....	82
6.2.2.2	Hydrologie locale.....	83
6.3	Reconnaissance visuelle des lieux.....	83
6.3.1	Historique du site.....	83
6.4	Aperçu global de la zone en mouvement Google Earth.....	85
6.4.1	Constat visuel du site.....	85
6.4.2	Reconnaissance géotechnique du site.....	89
6.4.2.1	Organisation de la reconnaissance géotechnique.....	89
6.4.2.1.1	In situ.....	89
6.4.2.1.1.1	Les essais pressiométriques ont été effectués chaque 1m.....	89
6.4.2.1.2	En laboratoire.....	90
6.4.2.2	Résultats de la reconnaissance géotechnique.....	91
6.4.2.2.1	In situ.....	91
6.4.2.2.1.2	Mesures piézométriques.....	93
6.4.2.2.2	Profil géologique.....	93
6.4.2.2.3	Sondages pressiométriques.....	94
6.4.2.2.3.1	En laboratoire.....	96
6.4.2.2.3.2	Essais physiques.....	96
6.4.2.2.3.3	Essais mécaniques.....	99
6.4.2.2.3.3.1	Essais de cisaillement rectiligne de type UU.....	99
6.4.2.2.3.3.2	Essais de résistance au cisaillement type CD.....	100
6.4.2.2.3.3.3	Essais de compressibilité à l'oedomètre.....	101
6.4.2.2.3.3.4	Essais de gonflement libre à l'oedomètre.....	101

3.7	Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain El Bey (1979- 2011).....	31
3.8	Températures moyennes mensuelles entre les deux periods (1979-2011) et (2011-2020).....	32
3.9	Températures saisonnières (C°) 1979-2011.....	33
3.10	Températures saisonnières (C°) 2011-2020.....	33
3.11	Les températures saisonnières de Constantine (1913-1938, 1971-2011).....	34
3.12	Evolution de la température moyenne annuelle (1971-2011).....	35
3.13	Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine, SELTZER, (2011-2020).....	36
3.14	Tableau et Graphe du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	39
3.15	Tableau et graphe de RFU,Exedent, déficit en mm.....	40
4.1	Processus de glissement de terrain.....	44
4.2	Glissement terrain sur la route du lac Cecil ; River, (Cliché ; couture).....	44
4.3	Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain (Aissa, M.2011).....	48
4.4	Les détails et unités d'un glissement terrain rotationnel (A) transactionnel (B) (modifiée d'après Varnes ,1987).....	50
4.5	Glissement rotationnel complexe (Gilles,S. Pierre, P.1998).....	50
4.6	Quelques machines du sondage.....	52
5.1	Les techniques existent en télédétection.....	56
5.2	Contraintes géométriques d'application de l'INSAR (ERS) dans les Alpes Françaises.....	57
5.3	Changement d'état de surface.....	58
5.4	Glissement rotationnel de la Valette en 1982 dans les schistes au niveau du contact tectonique.....	58
5.5	Vitesse moyenne de déplacement du glissement de la Valette entre 1988 et 1998.....	59
5.6	Caractérisation des déplacements pour des intervalles de temps court (1 jour)....	60
5.7	Variation saisonnière du champ de déplacement	60
5.8	Variation Pluri annuelle du champ de déplacement	61
5.9	Détection de nouveaux glissements (exemple de « Poches »).....	61
5.10	Le glissement de la Clapière (Alpes Maritimes, PACA).....	62
5.11	Photo aériennes	63
5.12	Principe de corrélation d'images	63
5.13	Carte d'amplitude	64
5.14	Carte de direction	64
5.15	Cartes et profils d'amplitude des déplacements selon 3 profils transversaux au glissement de la Clapière... ;;;;	65
5.16	Carte des directions de déplacement	66
5.17	Carte des directions de déplacement + vitesse et amplitude	66
5.18	Carte de déplacements.....	67
5.19	Carte de différences d'altitudes	67
5.20	Image aérienne Juillet 1999.....	67

5.21	Image QuickBird Sept 2003.....	67
5.22	IGN-99 / IGN-95.....	68
5.23	QuickBird 2003/ IGN-99.....	68
5.24	Surface couverte par les images SPOT et glissements identifiés.....	68
5.25	Scanner LIDAR Photogrammétrique	69
5.26	Corrélation de Photographies numériques in Situ	69
5.27	Deux acquisitions prises en mai et en octobre de la même année sur le glissement de la Clapière.....	70
5.28	Déplacements mesurés entre deux acquisitions au scanner LIDAR photogrammétrique.....	70
5.29	les photos satellites digitalisé avec PhotoScan pro.....	72
5.30	Schéma de présentation de la méthodologie.....	73
6.1	Localisation approximative du tracé sur une Photos Google Earth.....	81
6.2	Carte géologique de Zigoud Youcef au 1/50 000	82
6.3	Projection du raccordement sur la carte topographique de Constantine Échelle : 1/50 000.....	83
6.4	Photo Google Earth prise en mois d'Avril 2018.....	84
6.5	Photo Google Earth –November 2018.....	84
6.6	Photo Google Earth – Février 2019.....	84
6.7	Photo Google Earth – Mai 2021.....	85
6.8	Photo détaillé 01.....	86
6.9	Photo détaillé 02.....	86
6.10	la niche d'arrachement (tête de talus).....	87
6.11	la dépression (tête de talus).....	87
6.12	Le surcreusement.....	87
6.13	Photo détaillé 03.....	88
6.14	Aperçu sur la tête de talus.....	88
6.15	Vu de près de la Ligne de rupture- 1- et -2-.....	88
6.14	Vu de près de la ligne de rupture-3-.....	89
6.15	Plan d'implantation de l'investigation géotechnique In situ.....	90
6.16	Identification du profil géologique.....	93
6.17	Profil géologique N°250.....	94
6.18	SC2 (18.20 – 18.80) m.....	99
6.19	SC2 (26.40 – 26.80) m.....	99
6.20	Profil géotechnique N°250.....	102
6.21	Etat actuel du terrain.....	104
6.22	Après renforcement par un rideau de pieux.....	105
6.23	Après renforcement par mur de soutènement sur pieux.....	106
6.24	Etat actuel du terrain en appliquant la condition de passage et le séisme.....	107
6.25	Après renforcement par un rideau de pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.....	108

Liste des Tableaux

3.1	Résultats générés par le modelé MAGICC pour la projection climatique en Algérie à l'horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.....	25
-----	---	----

3.2	L'écart des précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020).....	26
3.3	Précipitation saisonnière (1979-2011).....	27
3.4	Précipitation saisonnière (2011-2020).....	28
3.5	Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020).....	31
3.6	Température (c°) saisonnière (1979-2011).....	32
3.7	Températures saisonnières (C°) 2011-2020.....	33
3.8	Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d'Ain El Bey (2011-2020).....	36
3.9	Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentiell	38
4.1	Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme.....	48
4.2	Classification selon la profondeur de la surface de glissement D'après DETEK...	49
5.1	Données Sources Utilisées.....	71
5.2	Extrait de la grille de photo-interprétation des deux glissements.....	75
5.3	Extrait de la grille de photo-interprétation les glissements' (surface > 100000m²)..	76
5.4	Typologie des glissements de terrain par photo-interprétation réalisée à partir de l'observation des 04 glissements.....	77
5.5	Mise en correspondance des indices qualitatifs des grilles de photo-interprétation et des indicateurs quantitatifs utilisables en traitement d'image.....	78
5.6	Model de glissement avec Photo Scan pro.....	79
5.7	Mesure de la surface et le volume d'effondrement étudiés.....	80
6.1	Tableau récapitulatif.....	90
6.2	Description lithologique des sondages carottés.....	92
6.3	Mesures piézométriques.....	93
6.4	Sondages pressiométriques.....	95
6.5	Tableau récapitulatif.....	97
6.6	Tableau récapitulatif.....	98
6.7	Essais de cisaillement à la boite de casa grande de type non consolidé non drainé (UU).....	99
6.8	Tableau détaillé.....	100
6.9	Essais de résistance au cisaillement type CD.....	100
6.10	Essais de compressibilité à l'oedomètre.....	101
6.11	La pression de gonflement varie entre 0.50bars et 1.75bars.....	101
6.12	La répartition des couches.....	103
6.13	les caractéristiques physiques et mécaniques considérées les calculs.....	104
6.14	Niveau d'eau.....	104

Introduction générale

Les mouvements de versant résultent du déplacement d'une masse rocheuse, de débris ou de sol sur une pente sous l'effet de la gravité.

Ils recouvrent une large gamme de phénomènes naturels allant de la coulée boueuse aux écroulements rocheux. Ces phénomènes sont liés à différents facteurs de prédisposition comme la pente, la lithologie ou l'occupation du sol ; et à des facteurs de déclenchement, tels que les précipitations intenses ou prolongées, la fonte des neiges, les séismes ou les actions anthropiques diverses.

Ils peuvent être actifs, inactifs ou dormants et peuvent affecter une surface réduite ou bien des versants entiers sur des profondeurs variables. Toutes ces caractéristiques en font un phénomène complexe de la géomorphologie (Terzaghi, 1960).

Lorsqu'ils interfèrent avec les activités humaines, ces phénomènes deviennent de véritables risques naturels majeurs responsables de dommages conséquents en termes financiers et/ou de vies humaines. Les statistiques mondiales (Gares et al. 1994 ; Alcántara-Ayala, 2002 ; Neumayer & Barthel, 2011) montrent que les mouvements de versant ne sont responsables que d'une proportion limitée des dommages et pertes humaines engendrés par les phénomènes naturels. Schuster (1996) souligne cependant que les conséquences socio-économiques des mouvements de versant restent largement sous-estimées dans la mesure où les dégâts générés sont souvent associés à leur(s) facteur(s) de déclenchement (inondations, tempêtes, séismes etc.).

Ce constat met donc en évidence l'importance et l'enjeu scientifique résidant dans la nécessité de prédire l'occurrence spatiale et temporelle de ces événements (déclenchement et/ou réactivation). Outre les méthodes dites "curatives" ou "actives" visant à "réparer" les dégâts causés par les aléas naturels ou à mettre en œuvre des moyens techniques importants pour stabiliser les terrains (drainage, confortement etc.), les méthodes préventives sont d'une réelle utilité puisqu'elles visent à identifier les zones les plus instables potentiellement, permettant ainsi d'éviter des erreurs d'aménagement.

La région de Constantine possède un relief très accidenté avec des pentes de talus accentués sur un environnement géomorphologique complexe et sur le plus important axe sismique. Par ailleurs, cette ville a connu une extension urbanistique rapide après l'indépendance (croissance démographique importante) ; ceci a provoqué une surcharge des terrains constructibles et a engendré par la suite la surconsommation des terrains fragiles souvent instables. Aujourd'hui Constantine est confrontée à un problème très spécifique de glissement de terrain entraînant l'effondrement d'un certain nombre d'habitation et la menace de destruction de beaucoup d'autres. Cette situation mérite une attention particulière en raison de l'ampleur du phénomène observé, au plan économique et social et ce à travers son impact sur les populations et ses effets sur le tissu urbain.

L'objectif de ce travail de recherche présenté dans ce mémoire est de contribuer à la compréhension du mode de fonctionnement d'un massif de sol soumis à un glissement de terrain

Pour bien présenter les informations sur la stabilité des talus et éclairer les axes de notre étude, la mémoire a été articulée sur les chapitres suivants:

Le premier chapitre, présente le cadre général de la ville où l'on a abordé la situation géographique et le milieu physique

Le deuxième chapitre, présente la géologie régionale de la wilaya de Constantine et la tectonique

Le troisième chapitre concernant l'étude climatologique faite à partir des données des stations pluviométriques de Constantine, ainsi qu'un aperçu hydrogéologique fait à partir de l'analyse des relevés piézométriques en se référant aux études précédentes.

Le quatrième chapitre: présente une introduction générale sur le glissement de terrain: dans ce chapitre, on a essayé de donner une idée sur le phénomène de glissement de terrain, ses types et ses causes, Quelques cas pathologiques observés et la reconnaissance des sols

Le cinquième chapitre est consacré à la méthodologie générale et les étapes de la photo interprétation en utilisant le logiciel photo-scan.

Le sixième chapitre présente la reconnaissance géotechnique et l'analyse de la stabilité de terrain et vers la fin, une conclusion et des recommandations.

1.1-Géographique physique

1.1.1-Situation géographique de la région d'étude

Constantine est l'un des états d'Algérie et le troisième plus grand après l'Algérie et Oran, car il est situé au nord-est de l'état d'Algérie, et s'étend sur un rayon de quinze kilomètres sous la forme d'une agglomération qui comprend la ville mère (Fig.1-1). Géographiquement, il est situé sur la côte nord-est de l'Algérie, et est situé astronomiquement à 6,616667 degrés Est ligne à une latitude de 36,283333 degrés au nord de l'équateur.

Latitude et longitude au nord 6 ° 33 '56' 68 'et 6 ° 40' 22,48 " à l'est, bordées à l'est par l'état de Guelma, à l'ouest par l'état de Mila, au nord par le État de Skikda et au sud par l'État d'Oum El Bouaghi (Fig.1-2).

Dans le centre est de l'Algérie, à environ 400 kilomètres d'Alger. Et couvrir D'une superficie de 2 197,2 km², elle a été nommée ancienne cité rocheuse en raison des rochers qui y sont construits, ce qui lui a donné cette vue unique.

L'état de Constantine, en raison de son potentiel économique et social, est considéré comme l'un des états les plus importants du pays, avec une population estimée à 938.475 personnes (RGPH 2008), soit une densité de 400 personnes au kilomètre carré.

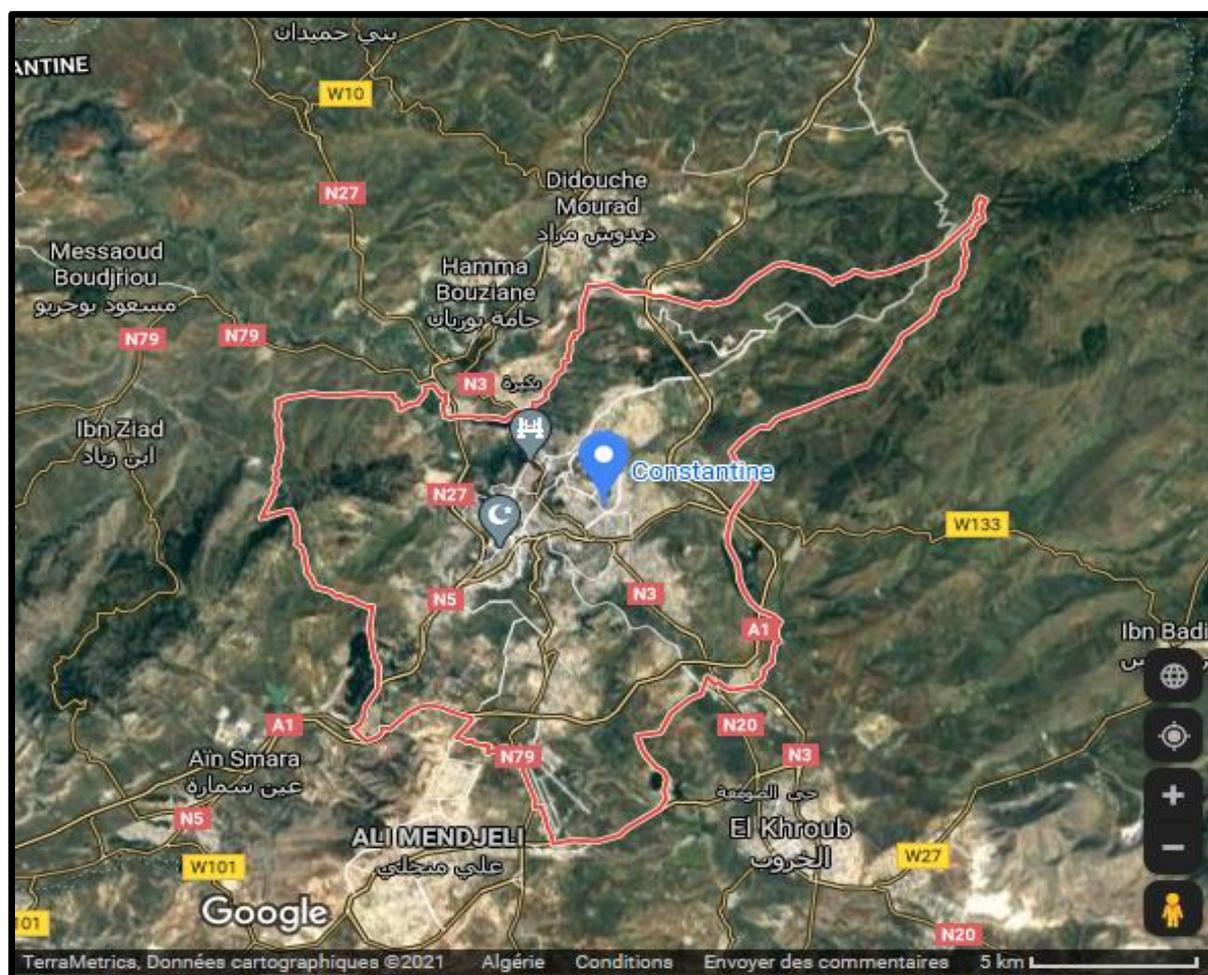


Fig.1.1 : Localisation de la région d'étude.

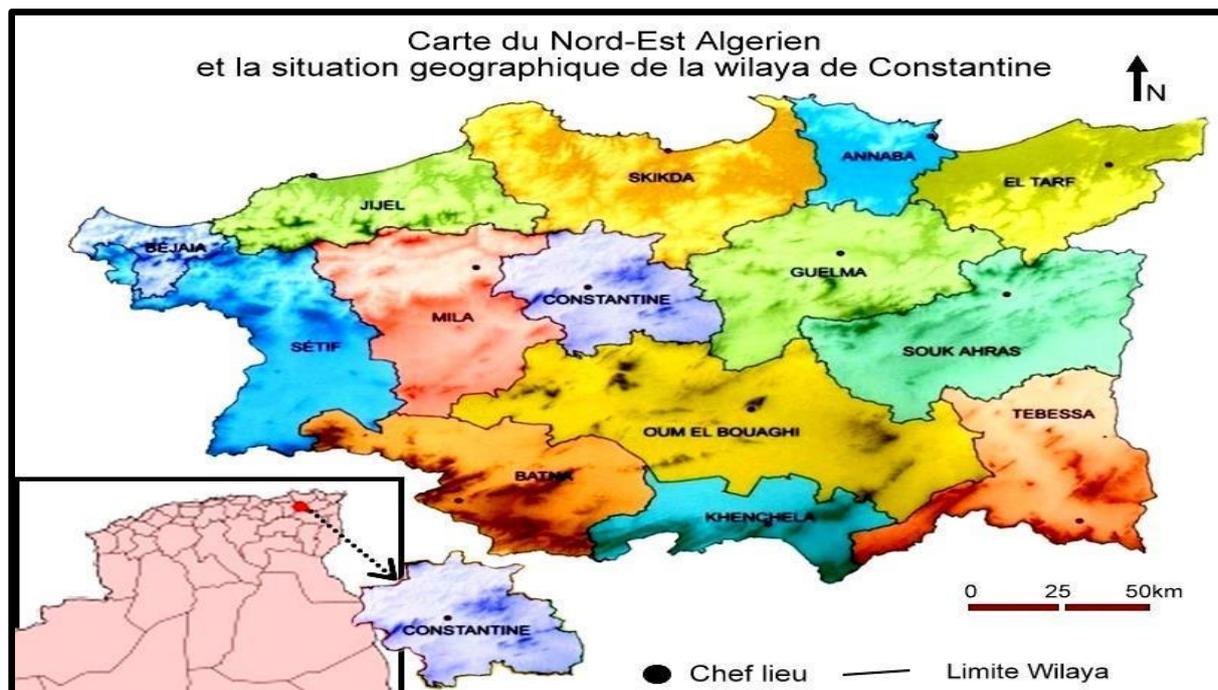


Fig.1.2 : Localisation de la région d'étude.

1.1.2. La topographie

La partie Ouest de la ville de Constantine se caractérise par la présence de nombreuses pentes, nous présentons les catégories utilisées par la DUC de la wilaya de Constantine qui sont comme suit :

La catégorie (0 - 5)%

Ce Sont des terrains plats localisés à l'Est et au Sud-Est de la partie Ouest de la ville. Ils sont les plus exposés au risque d'inondations. Cette catégorie présente 16.83% de la superficie totale de la partie Ouest de la ville.

La catégorie (6 - 10)%

Localisée au Nord-Ouest et au Sud de la ville, ce sont des terrains de faible pente. Cette catégorie présente 1.87% de la superficie totale de la partie Ouest de la ville.

La catégorie (11 - 20)%

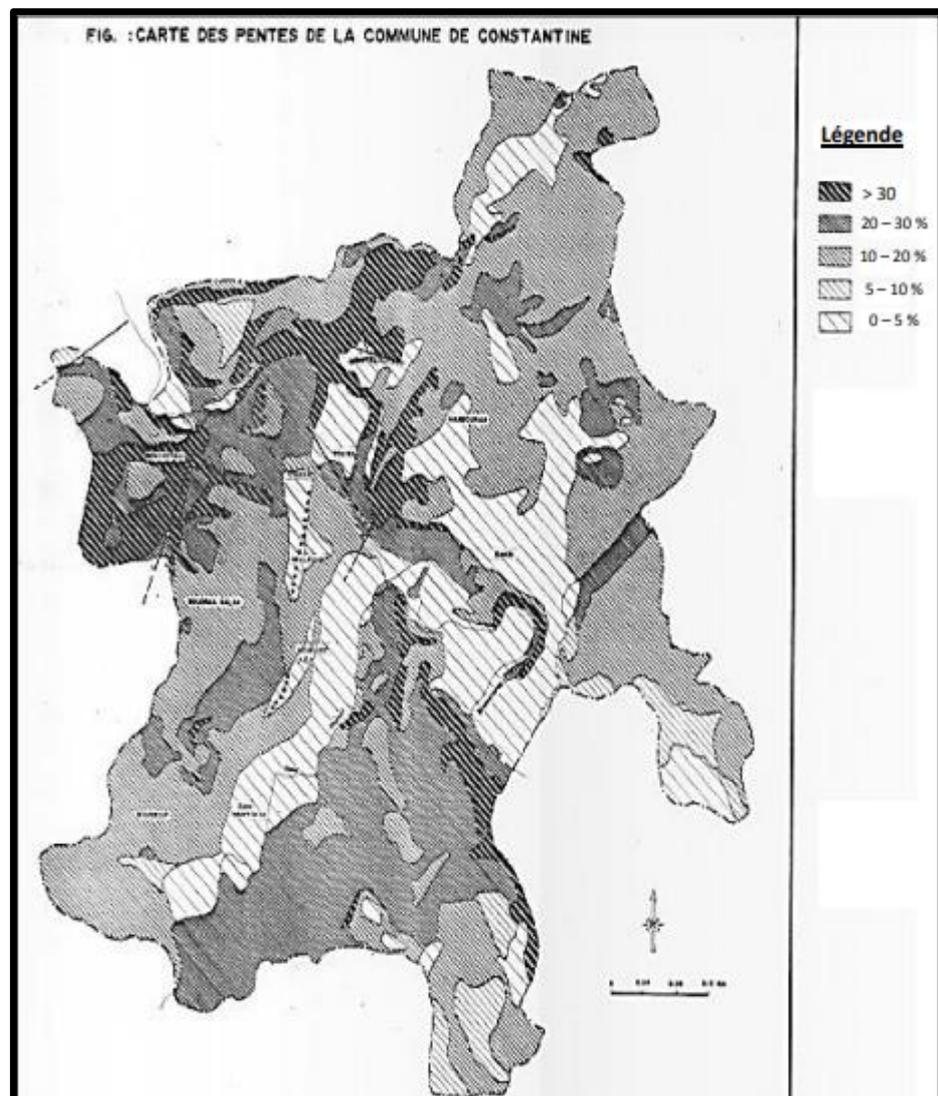
Elle représente 52.59% de la superficie totale de la partie Ouest de la ville. Cette catégorie est largement prédominante.

La catégorie (21 - 30)%

Elle occupe 18.58% de la superficie totale de la partie Ouest de la ville, cette catégorie est localisée au Nord-est de la partie Ouest de la ville.

La catégorie plus de 30%

Cette catégorie localisée à l'Ouest de la partie Ouest de la ville, représente 10.04% de la superficie totale de la partie Ouest de la ville.



Source : DUC.

Fig. 1.3 : Carte des pentes de la commune de Constantine

1.1.3 Les éléments du relief

1.1.3.1 Le rocher

Site exceptionnel par sa forme et sa position. Il constitue le premier noyau de la ville et celui de son environnement, il se trouve séparé des sites voisins au Sud-Est et au Nord-est par des gorges qui s'évasent du Sud au Nord.

1.1.3.2 Les plateaux

1.1.3.2.1 Les plateaux du Mansourah

Ce site a été urbanisé pendant l'époque coloniale, il est occupé surtout par l'emprise militaire. Il est limité par un réseau de cours d'eau à l'Ouest par OUED RHUMEL et le Sud-Ouest ; Sud-est et l'est par OUED BOUMERZOUG

1.1.3.2.2 Le plateau de Sidi M'cid

Situé au Sud-Ouest du rocher, séparé par les gorges de l'OUED RHUMEL

1.1.3.2.3 Le plateau du Coudiat

Situé au Sud-Ouest du rocher, fut urbanisé pendant la période coloniale.

1.1.3.2.4 Le plateau d'Ain el Bey

Situé au Sud de la ville, il est en cours d'urbanisation, il est caractérisé par la stabilité de son terrain.

1.1.3.3 Les collines

Comme BELLE VUE, SIDI MABROUK et BOUFRIKA, les deux collines sont caractérisées par l'instabilité liée au glissement de terrain

1.1.3.4 Les vallées

Les vallées du RHUMEL et de BOUMERZOUG ayant des formations d'âge quaternaire, généralement se sont des terrains inondables.

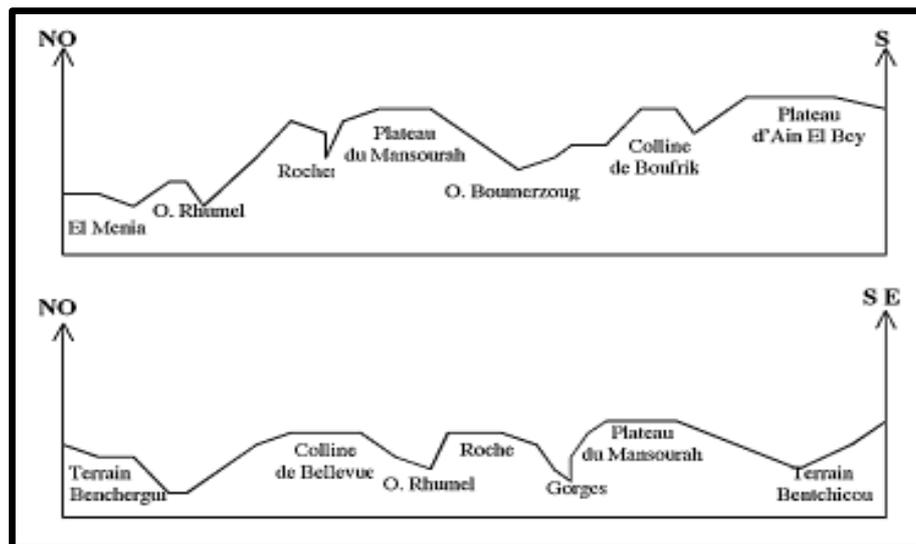


Fig. 1.3 : Les éléments du relief de la wilaya de Constantine

1.1.4.2- Le Climat

La région de Constantine fait partie des régions soumises à un double régime climatique:

- Au Nord: c'est un régime subhumide avec des précipitations moyennes annuelles dépassant le plus souvent les 600 mm,
- Au Sud: c'est un régime semi-aride qui l'emporte avec une pluviométrie moyenne annuelle le plus souvent en dessous des 600 mm.

Les domaines bioclimatiques sont déterminés à travers La combinaison des précipitations et des températures. C'est grâce à un tracé sur un climagramme combinant Q (quotient pluviothermique d'Emberger) en ordonnée et m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) en abscisse, on trouve que Le climat de la région d'étude est du type semi-aride (300-350 < P < 550-600 mm) .Ce climat est caractérisé par une alternance de saisons sèches (juin à septembre) et de saisons humides (octobre à avril), avec une chaleur de 25-45° en été et un froid de 0-12° en hiver (fig.1.4) .

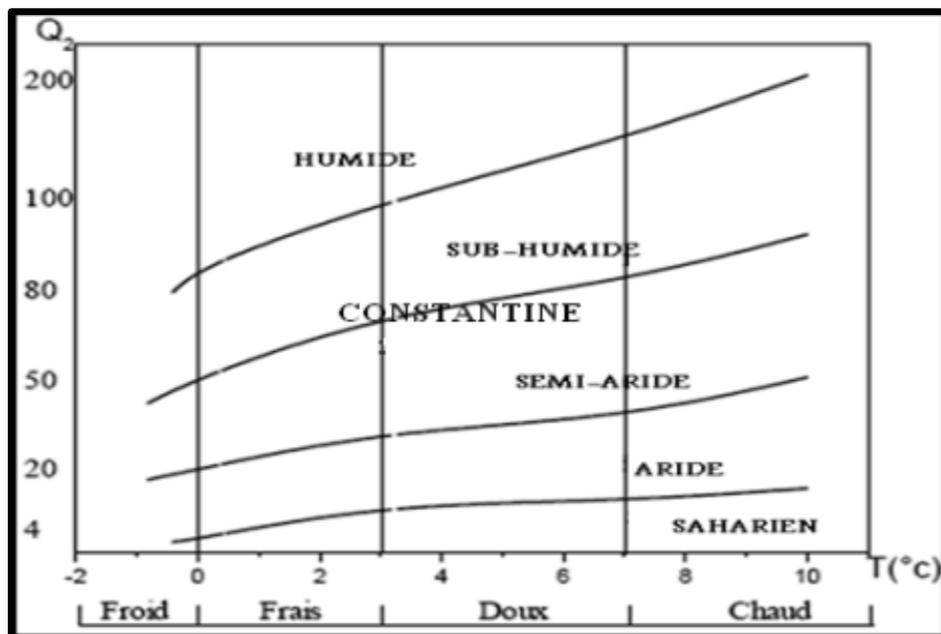


Fig1.5 : Climagramme d'Emberger de la région de Constantine

La variable m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) peut être utilisée une seconde fois pour préciser les sous-étages bioclimatiques à hiver froid, frais, doux et chaud. La carte au 1/ 1000 000 réalisée par Côte. M. (1998a) montre que le climat de la région d'étude est semi-aride (Fig. 1.5).

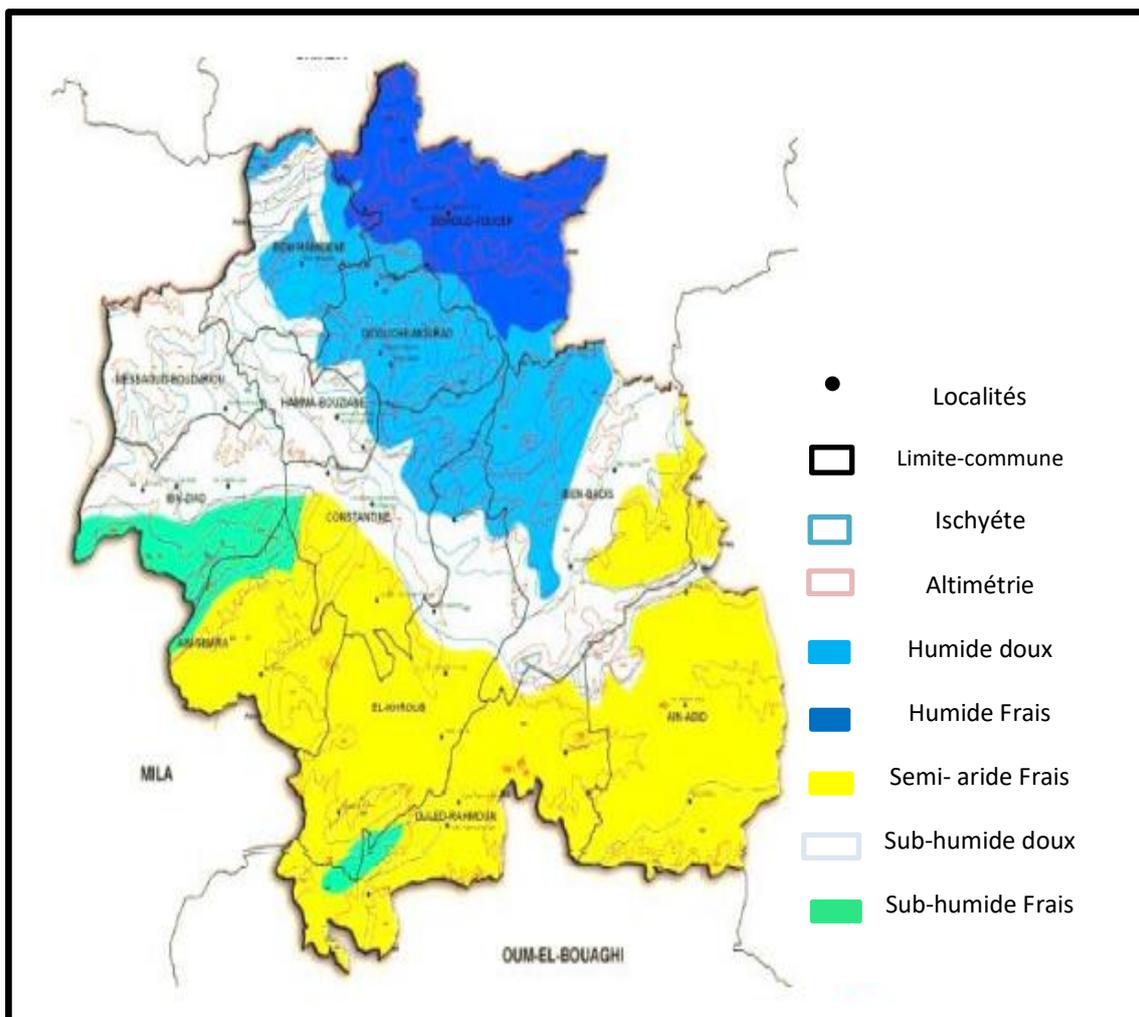


Fig.1.6 : Carte climatique de la wilaya de Constantine

1.1.4.3 Le réseau hydrographique

La région de Constantine est distinguée par un réseau hydrographique dense, car il se compose d'un groupe d'affluents d'eau qui convergent vers un collecteur principal appelé Oued Rahmul, traversant les plaines de Tagnant le long, Oued-Athmania en amont et celle d'

1.1.4.3.1 Principaux oueds

Oued Rhumet D'un itinéraire de plus de 23 km, c'est l'oued le plus important du bassin. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes (région de Bellaa- Wilaya de Sétif), entaille la gorge de Constantine jusqu'à la confluence de l'oued Endja, ensuite il prend le nom d'Oued El Kébir Oued Endja D'un itinéraire de 15 km. il prend naissance dans la confluence de l'oued El Kébir et de l'oued Redjas. Son lit est très intéressant]du point de vue hydrogéologique.

Oued El Kébir

Il naît de la confluence des deux oueds. Rhumel et Endja, à près de 56 km de long et se déverse dans la mer méditerranée.

1.1.4.4 Hydrologie

Les sous-bassins du Rhumel amont, du Rhumel-Seguin et du Boumerzoug se caractérisent par de faibles apports hydrologiques de l'ordre de 1 m³/s, en année moyenne.

Le sous-bassin du Rhumel Smendou se caractérise par des apports annuels de l'ordre de 4,2 m³/s. Pour les sous bassins des oueds Dehamcha-El Kébir Amont et El Kébir amont-Endja les apports évoluent de 4,2 m³/s à l'amont jusqu'à 8,5 m³/s à l'aval (ABH-CSM, 2004).

Le sous bassin du Kébir maritime recèle d'importantes ressources (12 m³/s) en raison de l'importance des précipitations et des eaux régulatrices de la nappe alluviale du Bas Kébir (ABH-CSM, 2004).

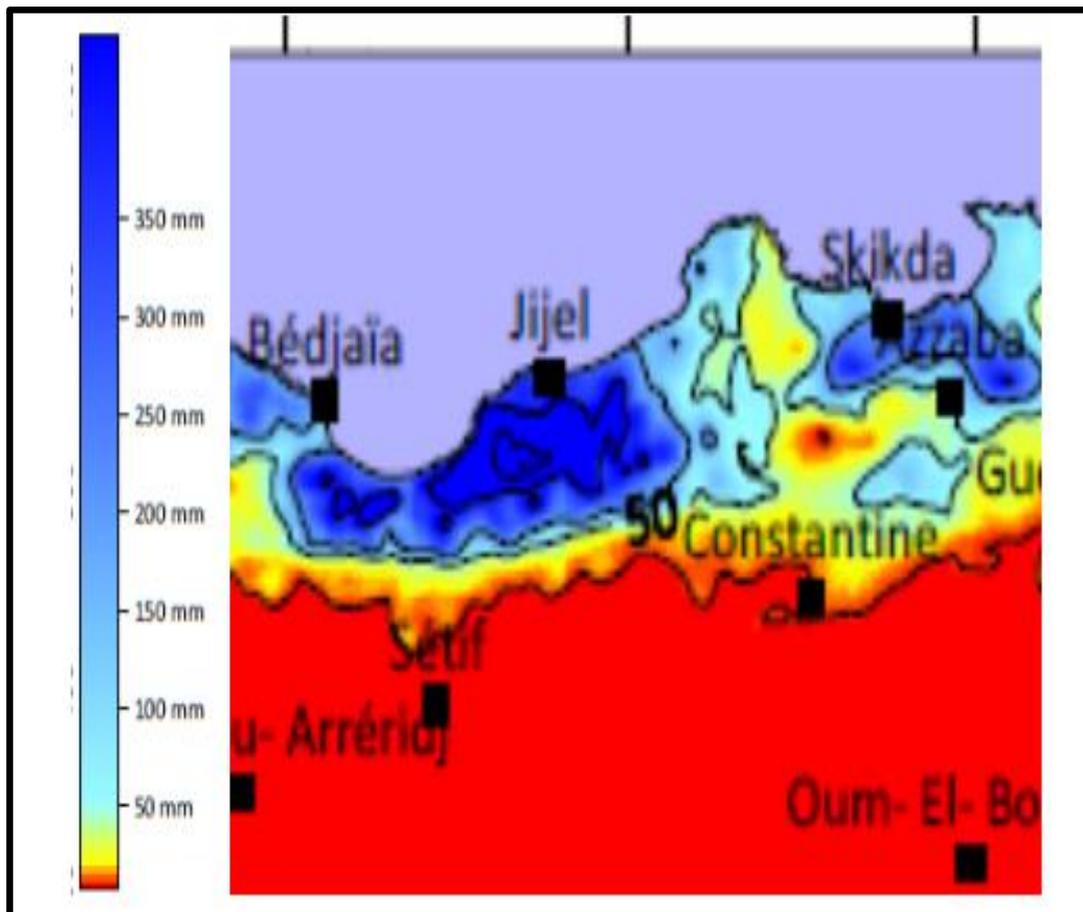


Fig.1.7 : Extrait de la carte des écoulements du mois

De décembre 2007 (MRE, 2010)

1.1.4.5 Pluviométrie

La pluviométrie est faible et irrégulière durant l'année, elle est de l'ordre de 213 mm/an, pour la station de Koudiat Tendart. Sur le bassin, la pluviométrie croît du Sud au Nord, les pluies varient en moyenne de 318 mm au Sud du bassin à 1000 mm au Nord (ABH-CSM, 2004).

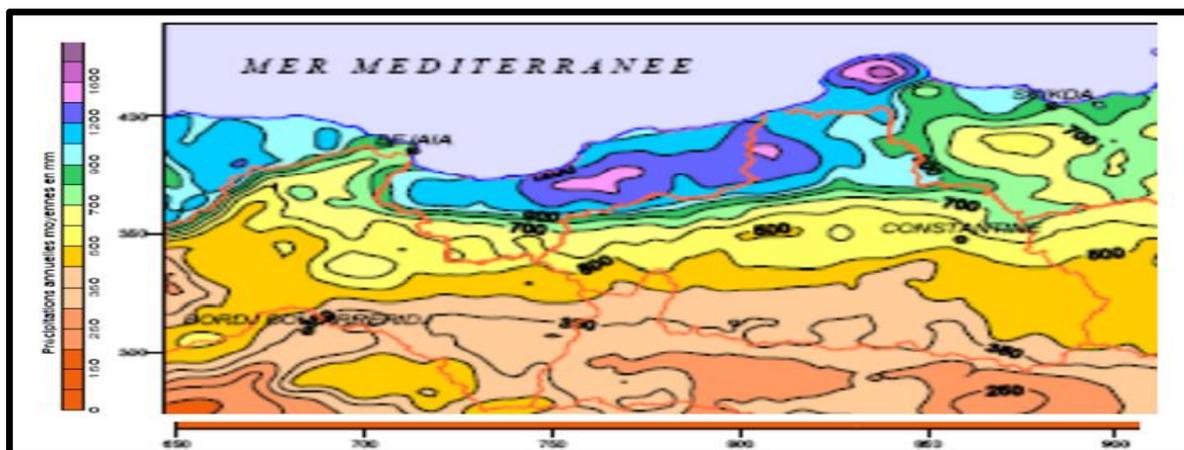


Fig.1.8 : Extrait de la carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (Établie d'après A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989)

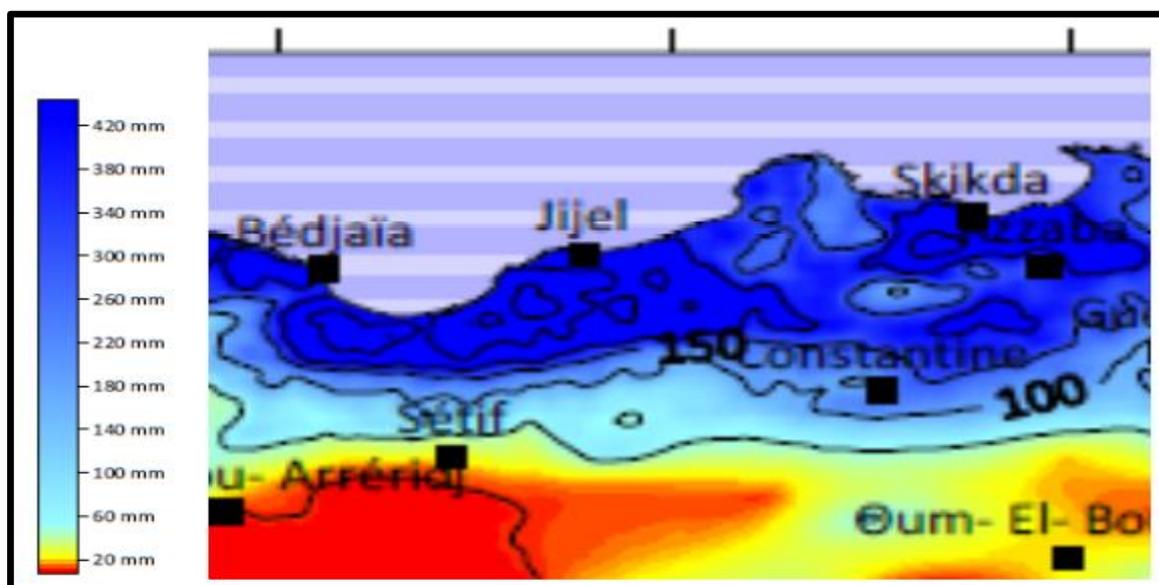


Fig.1.9 : Extrait de la carte de précipitations du mois

De décembre 2007 (MRE, 2010).

1.1.4.6 Evapotranspiration

La moyenne annuelle sur la période 1962-1990 est de 1370 mm à Constantine (Selon Thornthwaite). A titre indicatif, elle est de 1470 mm à Sétif et de 2542 mm à Batna (ABH CSM, 2004).

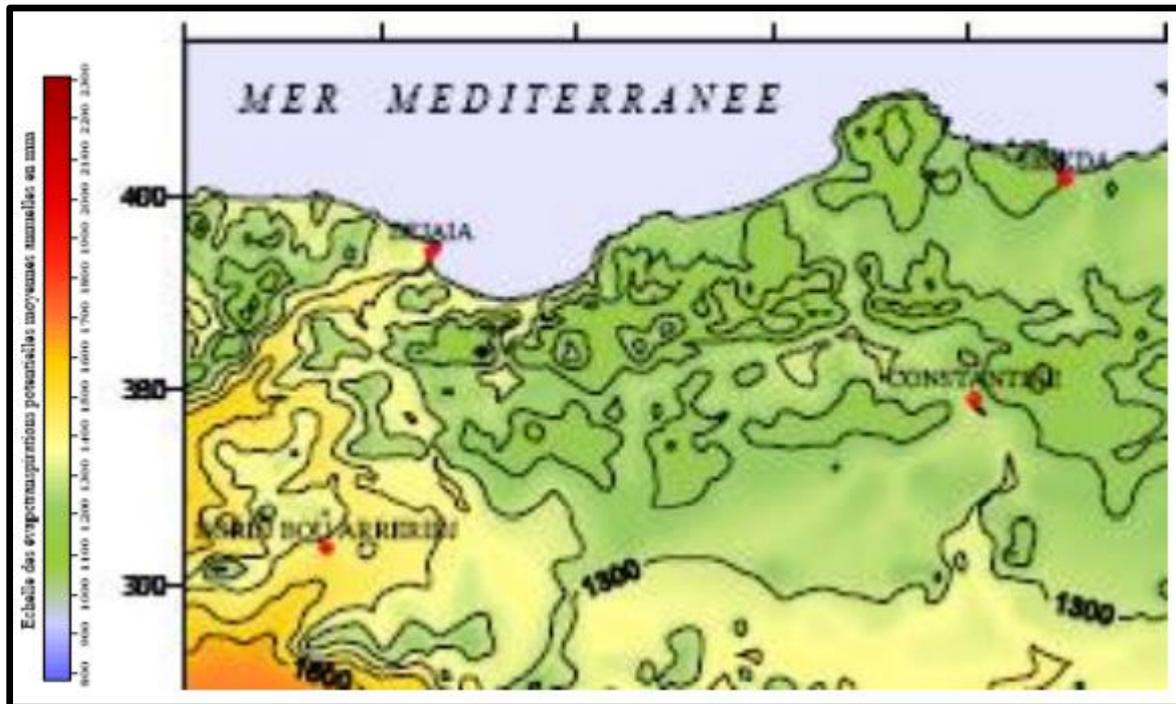


Fig.1.10 : Extrait de la carte des zones d'évapotranspiration annuelles
Moyennes de l'Est algérien(ANRH)

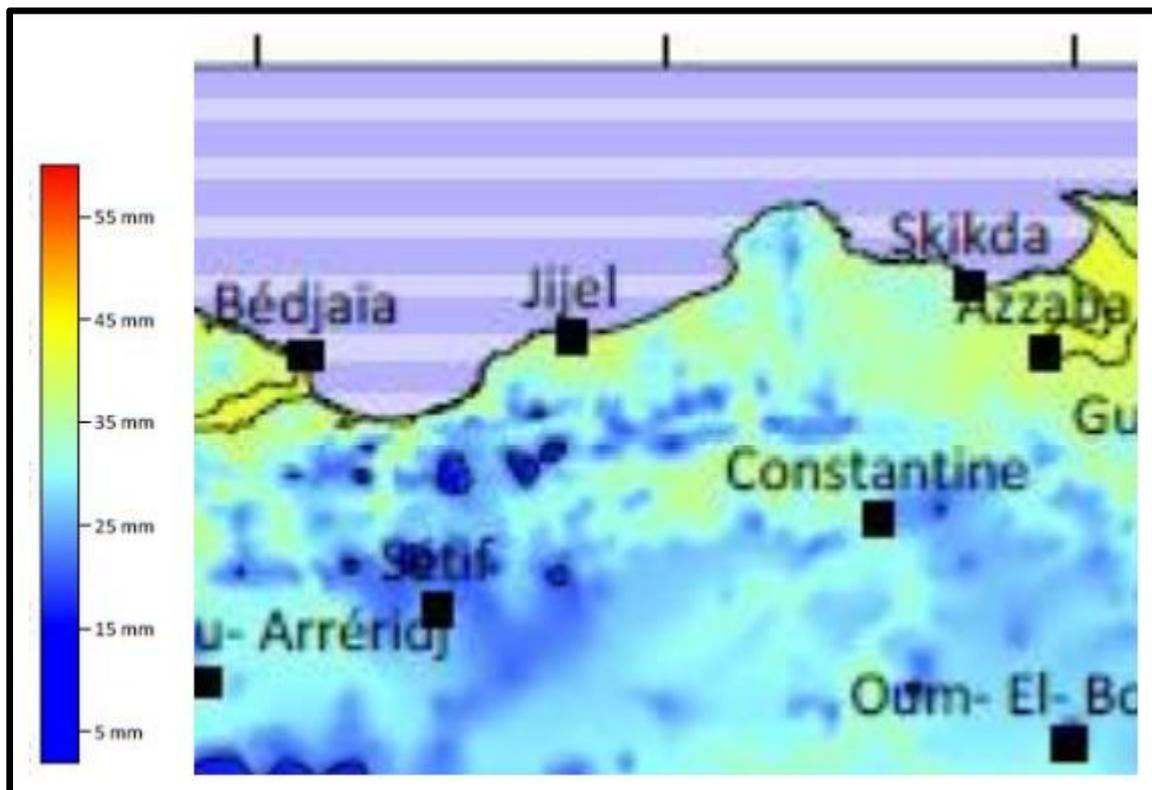


Fig.1.11 : Extrait de la carte d'évaporation potentielle moyenne du mois
De décembre 2007 (MRE, 2010)

1.1.4.7 Agriculture

La superficie agricole est estimée à 127 400 ha, dont la moitié est consacrée à la culture des céréales, le reste étant consacré aux cultures fourragères, légumineuses, maraichères et fruitières (ANIREF, 2011). De plus, l'industrie est divisée en quatre secteurs principaux : la transformation des aliments, la construction mécanique, l'industrie manufacturière et les matériaux de construction comme le ciment, les granulats, etc. (Hassani, 2009).

Ain-smara en aval, en approchant de Constantine, il se converge avec Oued Bou Merzoug.

1.1.4.8 Population

Selon l'Office national des statistiques (ONS), la population de la wilaya de Constantine était de 938475 habitants en 2008, contre 810941 habitants en 1998 et 662330 en 1987. Avec les communes de Constantine, El Khroub, Hamma Bouziane et Didouche Mourad, qui dépassent 40000 habitants. De son potentiel économique et social, la wilaya de Constantine est parmi les principales wilayas d'Algérie. Sa zone métropolitaine s'étend sur un rayon de 15 à 20 km qui comprend, outre la ville mère de Constantine, la nouvelle ville de Massinissa et Ali Mendjeli. Ainsi que les villes satellites d'El Khroub, d'Ain Smara, de Didouche Mourad, de Hamma Bouziane et de Zighoud Youcef (Hassani, 2009)

1.1.4.9 Industrie

L'activité industrielle tourne autour des grandes agglomérations (Constantine, Chelghoum-Laid, El Khroub, Hamma Bouziane, Mila et Ain El Kébira). Le complexe Pelles et Grues de Ain Smara, l'entreprise de détergents (HEA) à Chelghoum Laid, le complexe Moteurs- tracteurs d'El Khroub, la cimenterie de Hamma Bouziane, l'entreprise de céramique et faïence de Mila, la cimenterie et le complexe BCR de Ain El Kébira sont les principales unités industrielles de la région. Constantine concentre-t-elle, sur la ville et ses périphéries, un tissu industriel aussi dense que varié, dominé par la branche de constructions mécaniques (ABH-CSM, 2004).

1.2 Conclusion

Constantine est l'un des états d'Algérie, sa zone métropolitaine s'étend sur un rayon de 15 à 20 km, outre la ville mère qui est caractérisée par la présence de nombreuses pentes, et bénéficie d'une géomorphologie très complexe, elle fait partie des régions soumises à un double régime climatique avec un réseau hydrographique dense. La pluviométrie est faible et irrégulière durant toute l'année.

2.1 Géologie De La Région

2.1.1-Cadre Géologique régional

2.1.1.1-Contexte Géologique et Géomorphologique de la région de Constantine

Cette région appartient des zones externes des Maghrébides, domaine allochtone, caractérisé par les nappes de charriage essentiellement à vergence sud, mises en place au cours des phases tectoniques alpines. La chaîne de Maghrébides va du Rif à la Sicile, en passant par l'Algérie et la Tunisie. (AUBOUIN et Durand DELGA, 1971).

Elle présente une géologie relativement compliquée, et une géomorphologie très complexe. Et la nature lithologique est essentiellement détritique, associée à un schéma tectonique et microtectonique important et très instables sous l'effet de plusieurs facteurs. Dans cette région la structure tectonique dominée par une superposition de nappes (Fig.2.1).

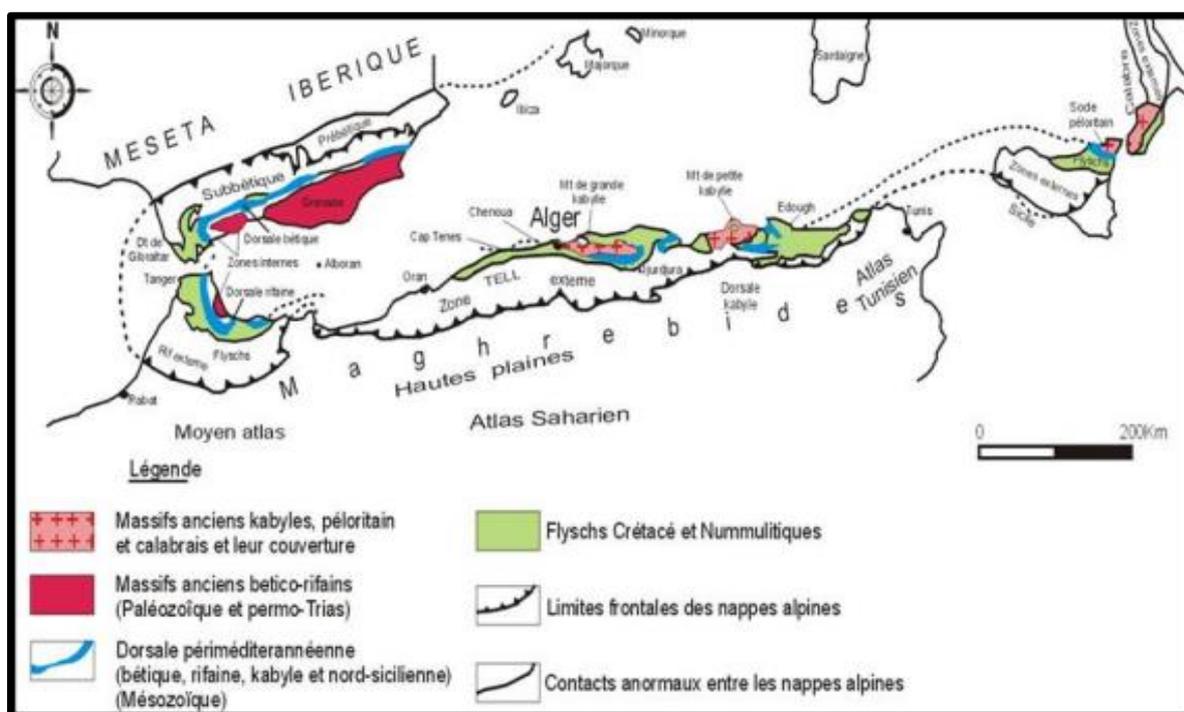


Fig. 2.1 : les grands domaines d'origine Alpine en méditerranée occidentale (modifiée, d'après : Durand-Delga 1969)

2.1.1.2-Aperçu sur la chaîne des Maghrébides

La chaîne des Maghrébides est consistée par les segments orogéniques Rifains, Telliens, Nord-Siciliens et Calabrais (Durand DELGA et AUBOIN - 1969) (fig.2.1).

Elle est étendue sur plus de 2000 km du détroit de Gibraltar aux Apennins. Cette chaîne se caractérise par des structures en nappe à vergence Sud dominante et une unité remarquable avec du nord vers le sud (fig.2.3).

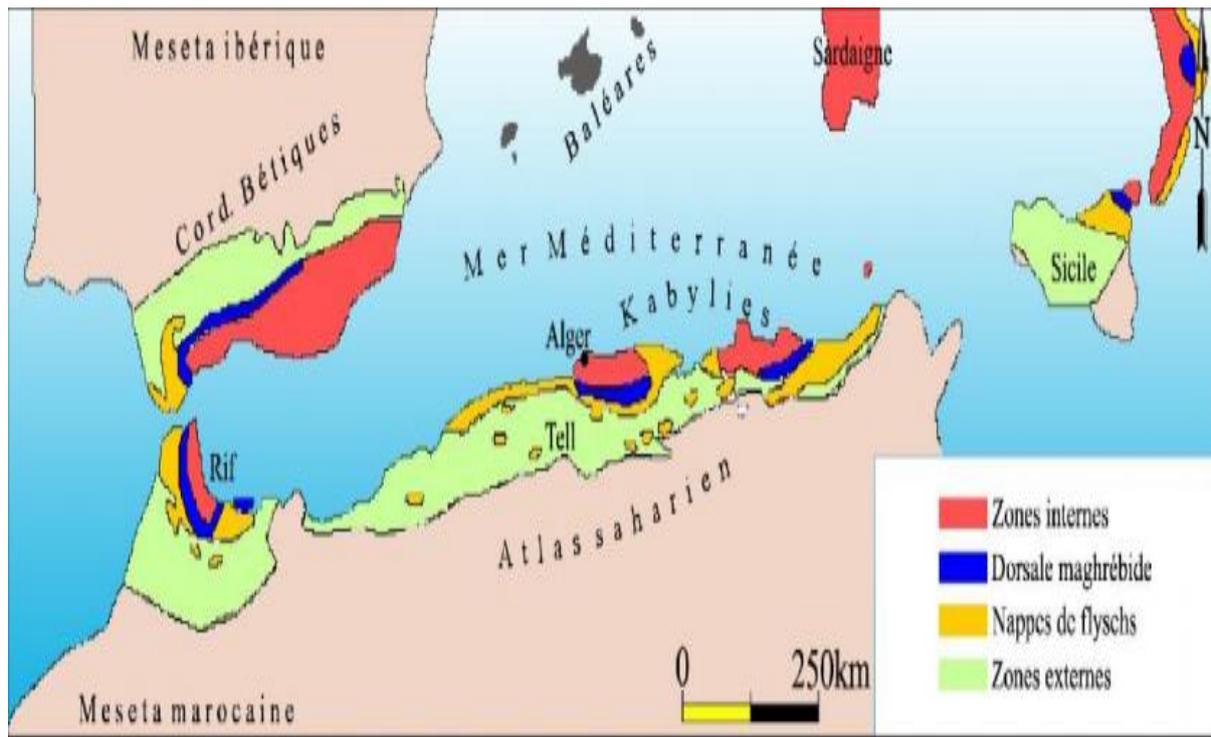


Fig.2.3 : Schéma géologique de la chaîne des Maghrébides

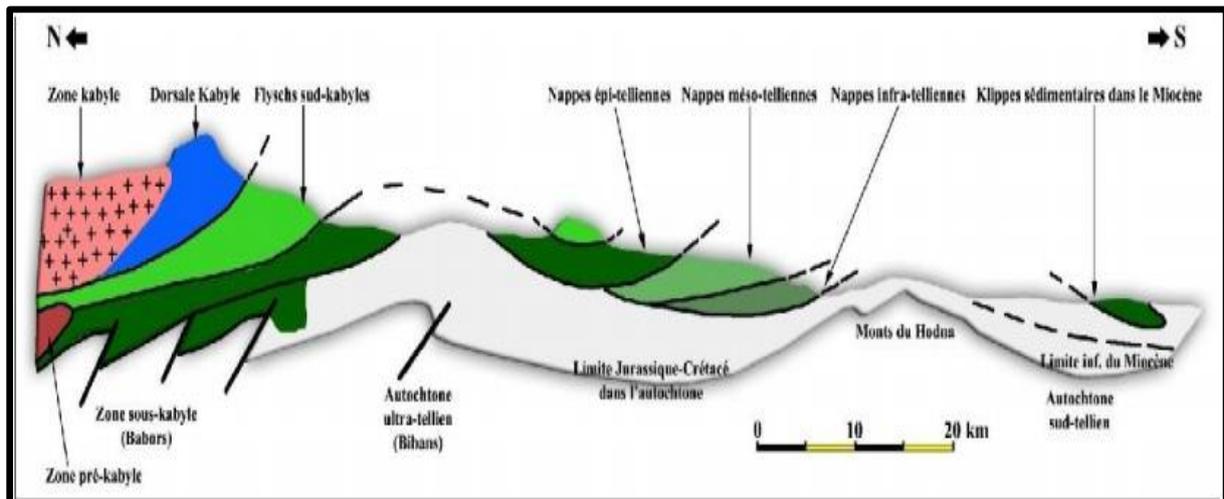


Fig.2.4- Coupe géologique schématique illustrant les relations structurales entre les différentes unités de la chaîne alpines d'Algérie orientale

Les nappes où les structures constituant la chaîne des Maghrébides sont à vergence sud et sont provenir de trois domaines paléogéographiques (D. DELGA 1989, J.M.VILA1980):

- Le domaine interne.
- Le domaine médian « domaine des flysch ».

- Le domaine externe (tellien) et de l'avant pays.

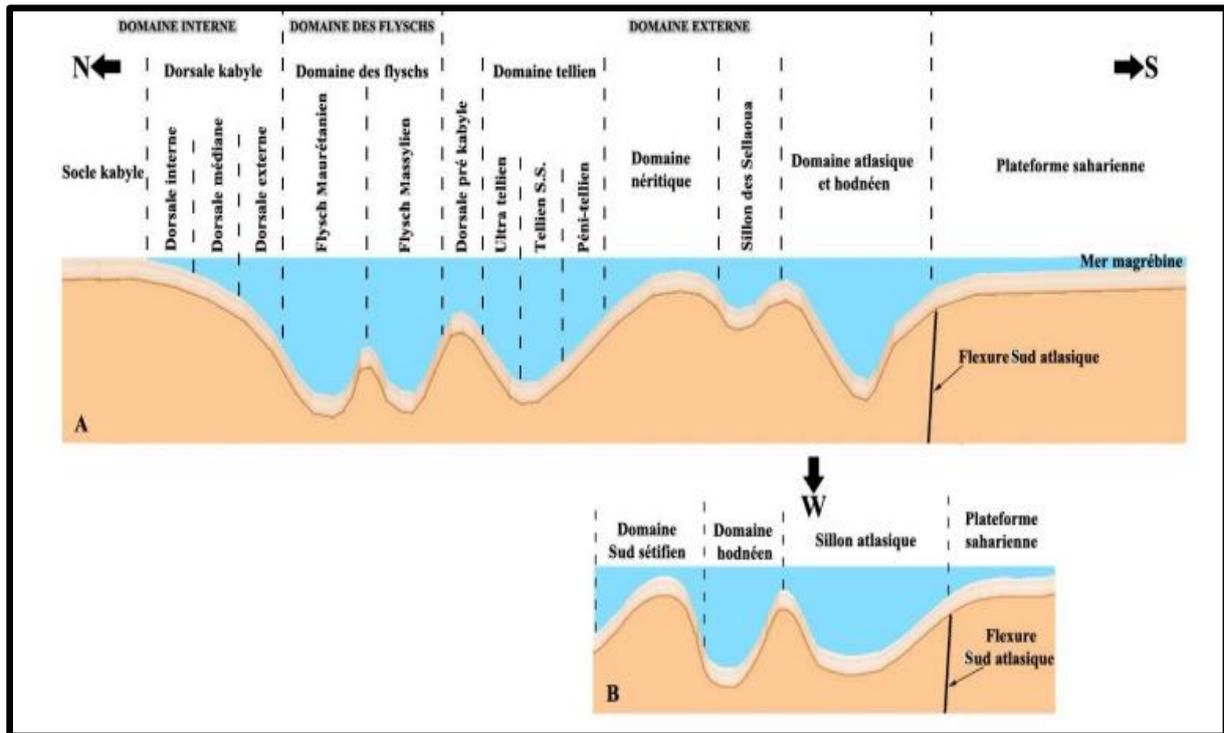


Fig.2.5 : Coupe paléogéographique hypothétique de l'Algérie nord orientale au crétacé inférieur (A : méridien constantinois, B : méridien sétifien). Coupe réalisée en collaboration avec Mr BOULARAK M

2.1.1.2.1- Le domaine interne

En Algérie orientale les zones internes n'apparaissent que dans les Kabyles .

Il consiste essentiellement d'un matériel continental d'origine européenne. Ils apparaissent sous la forme de massifs qui se localisent dans deux zones d'affleurements (Durant Delga, 1969 ; J-P Bouillin et al, 1984).

- Au nord, par les massifs de la Grande et la petites Kabyles. Ces massifs représentent le socle.
- Au Sud, par le substratum de la dorsale Kabyle ou chaîne calcaire.

2.1.1.2.1.1- Le socle kabyle.

Comportant un ensemble de terrains plissés métamorphisés et souvent granitisés , représenté par des formations cristallophylliennes d'âge paléozoïque (Durant DELGA 1969, Raoult J.F, 1974 et BOUILLIN, 1977). Généralement subdivisé en deux grands ensembles.

- Un ensemble supérieur

Composé de bas en haut des schistes noirâtres. Des psammites rouges et vertes, des grès calcaires. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes (Durand DELGA, 1969).

- Un ensemble inférieur

Constituer essentiellement de gneiss œillets à interaction parfois puissantes de marbre et d'amphibolites.

Le socle Kabyle forme par endroit un ensemble charrié sur les terrains mésozoïque et cénozoïques (J.P BOUILLIN 1977). Aux formations du socle Kabyle, s'ajoutent des roches magmatiques dominées par des roches granitiques par endroits de roche basique et ultrabasiques.

2.1.1.2.1.2- La dorsale Kabyle ou chaîne calcaire

Comportant une zone étroite et discontinue. Elle est dominée par des formations carbonates allant du Mésozoïque au Tertiaire. Cette chaîne calcaire forme la couverture méridionale du socle Kabyle (J.F Raoult 1974).

2.1.1.2.2- Le domaine médian : « domaine des flysch »

La zone de Flysch forme la zone de transition entre le domaine interne et externe. Elle est caractérisée par des formations sédimentaires détritiques terrigènes souvent épaisses, mise en place par des courants de turbidités (J.P.BOUILLIN1986).

Ces flysch sédimentés depuis le crétacé inférieur jusqu'au début du miocène constituent actuellement de grandes nappes de charriages. Généralement il y a trois types qui sont structurés du Nord au Sud de bas en haut.

- 1- Les flysch Mauritaniens : regroupent des séries variées qui sont formées de petits calcaires. Micro brèches calcaire, conglomérats et argiles et ce du Néocomien au Lutétien (GELARD 1969).
- 2- Les flysch Massyliens : regroupent des formations représentées par des argiles des grés, des micros brèches à éléments calcaires et ciment pélitiques et des marnes (Raoult 1969)
- 3- Les flysch Numidiennes: regroupent des formations représentées par des argiles (sous numidienne) d'âge oligocène supérieur. Des grés d'âge miocène.

2.1.1.2.3- Le domaine externe (telliens) et de l'avant pays :

Il est représenté dans le nord de l'Algérie par les séries telliennes à matériaux marneux et calcaires, qui sont actuellement chevauchées par les séries internes à matériel cristallophyllien. Selon (WILDI 1982- BOUILLIN, 1986), Le domaine externe en Algérie orientale, il est représenté par :

2.1.1.2.3.1- Les séries telliennes :

Représenté par des séries épaisses à dominante marneuse et à structures tectoniques complexes issues du sillon tellien. Elles correspondent du Nord au Sud aux :

- Unités ultra-telliennes (épi telliennes).

- Unités telliennes sensu-stricto (mésotelliennes).

- Unités pénis-telliennes (cata telliennes).

2.1.1.2.3.2- Les séries de l'avant pays allochtone

Représenté par des séries généralement carbonates, et sont épaisses dans la région de Constantine. Dans la région Constantinoise le Sénonien et le Tertiaire sont à dominante marneuse. Ils sont considérés comme la couverture des massifs néritiques (P.H.E COIFFAIT, 1992, J.C. LHONDERE.1987.M CHADI, 1991, Y.ARIS.1994) Structuralement l'ensemble néritique est chevauchés par les séries telliennes et les flysch.

2.1.1.2.3.3- La série écaillée des Sellaouas

Elle repose dans un sillon qui s'allonge du SW au NE. Elle est écaillée et à vergence sud, constituée par une série crétacée à dominante marneuse.

2.1.1.2.3.3.1- Les séries de l'avant pays autochtone

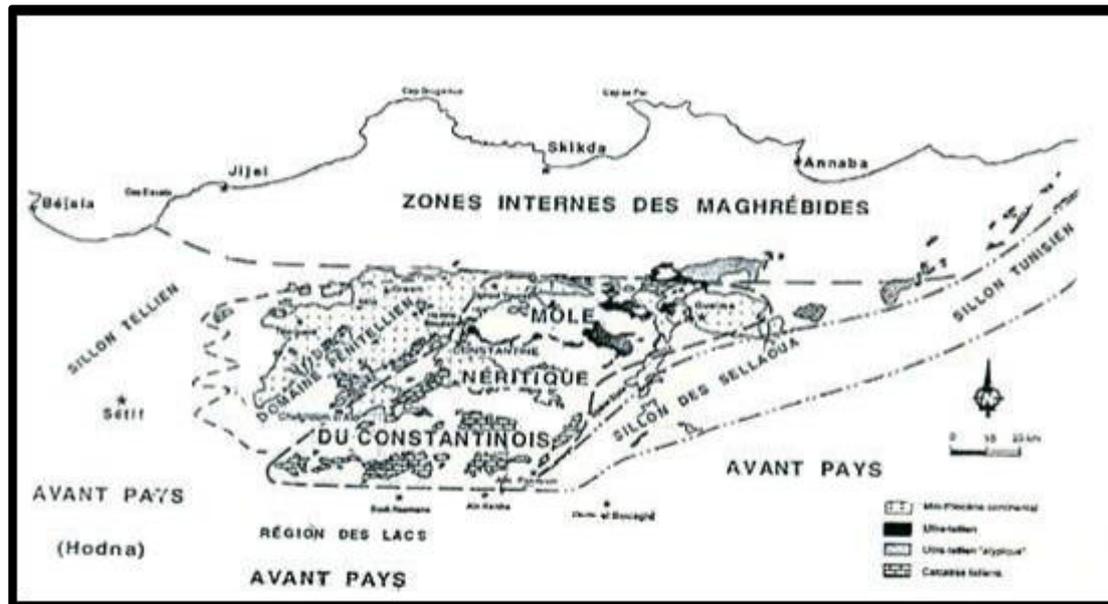
Correspond au domaine atlasique représenté par des ensembles calcaires et marno-calcaire d'âge jurassique à miocène. Considérés comme autochtones. Mais présentant parfois des chevauchements sur leur limite septentrionale.

Les séries de l'avant pays allochtone sont constituées de formations calcaires et marneuses correspondant au domaine de la plateforme Constantinoise. (Fig.8) c'est en allant du nord vers le sud suivant leur concentration, trois groupes peuvent être distingués dans ces massifs.

-Le premier Nord oriental, autour de Hammam Maskoutaine et Guelma (Dj. Khneg, Dj.Kellal, Dj. Grouz, Dj. Zouaoui et le rocher de Constantine ainsi que Kerkra).

-Le deuxième étant un groupe central autour de Constantine (Dj. Felten et Dj. Oum Settas).

-Le troisième groupe étant méridional autour d'Ain M'lila (Nif Ennser, Dj. Fortass et Dj. Guerioun).



Source : J.M. Vila, 1980

Fig.2.6: Massifs calcaires telliens et ultra telliens dans le constantinois.

2.2.2- Tectonique de la région de Constantine :

2.2.2.1- Les phases tectoniques :

La région de Constantine fait partie la chaîne des maghrébides elle est principalement structurée au cours des phases tectoniques tertiaires, cette structuration est rattachée à la fermeture du sillon des flysch dont le contenu s'est largement charriée sur les zones externes (Aris. Y, 1994).

Les différentes phases tectoniques reconnues dans la région de Constantine sont les suivantes:

2.2.2.1.1- La phase Antée-tertiaire:

Pendant le Trias la région de Constantine à connu une phase de distension, accompagnée d'une sédimentation argilo-gypseuse (GUIRAND.R. 1973). Cette distension a provoqué une subsidence jusqu'au Crétacé inférieur lors de la structuration générale Est-Ouest caractéristique des bassins Maghrébins (KAZITANI 1986).

Cette phase a été compressive et elle fut accompagnée de plis d'orientation Est-Ouest durant le crétacé inférieur. Elle est appelée aussi phase Antée sénonienne ; marquée par des lacunes et des discordances.

2.2.2.1.2-Les phases tertiaires

2.2.2.1.2.1-La phase fini- lutétienne

La fin d'un grand cycle sédimentaire marquant une période de compression correspond à La phase fini- lutétienne qui a débuté au trias .Elle est caractérisée par des

accidents verticaux de directions NE-SW, par le raccourcissement de la plate forme constantinoise, ainsi que par la structuration des fossés NNE-SSW aux environs de Constantine (Aris. y, 1994).

2.2.2.1.3- La phase miocène

Cette phase de compression caractérisée dans toute l'Algérie Nord orientale par un raccourcissement Nord-Sud. Elle a entraîné des chevauchements et des décrochements orientés NW-SE et d'autres senestres de direction NE-SW [JP BOULLIN 1977 et 1979. JM VILLA 1980. Y. MAHJOUB ; O.MERLE 1990 ; et Vila. J.M et al 1992).

2.2.2.1.3.1-La phase récente (post-miocène)

La phase récente (post-miocène) correspond à un épisode de déformation récent. Ce dernier est à l'origine des plis, des failles inverses, parfois décrochantes ou chevauchantes ainsi que des failles normales plus tardives [R GUIRAUD.1973. JF. RAOULT 1974. JP BOULLIN 1977.J.M VILA, 1980, PHE COIFAIT1992].

Cette tectonique distensive est associée à des décrochements Nord- Est ; Sudouest (ARRIS, Y, 1994).

Les formations Plio-quaternaires s'observent généralement en discordance angulaire sur les formations autochtones et allochtones antérieures au burdigalien, âge de la mise en place des nappes.

Dans les environs de Constantine les nappes et les formations plioquaternaires, délimitant en général des bassins et des fossés d'effondrement.

2.2.3-Geologie Locale

2.2.3.1- La Litho stratigraphique de Constantine et ses environs

La litho stratigraphie des environs de Constantine est caractérisé par la présence des séries allant du Trias au Quaternaire.

2.2.3.1.1-Le Trias

Le Trias dans la région de Constantine n'affleure jamais en position stratigraphique normale. Il est rencontré sous trois dispositions différentes :

- Soit, en forme de diapirs ;
- Soit, en forme de lames à la base des unités allochtones ;
- Soit, injecté le long d'accidents tectoniques.

Les affleurements du Trias sont circonscrits ou étendus sur plusieurs centaines de mètres. Il est constitué par des roches essentiellement évaporitiques. Parmi les affleurements connus dans le Constantinois on peut citer du Nord au Sud

- Les affleurements de Sidi Mérouane.
- Les affleurements des massifs du kheneg et Djebel Akhral, au Nord-ouest et à l'Ouestde Constantine.
- Les affleurements de la dépression du Chhattaba, Djebel Ech-Chebka, Ain el Kebch a l'Ouestde Constantine.
- Les affleurements lies aux formations Tertiaires situées au Sud des massifs du Felten et de l'Oum-Settas.

2.2.3.1.2-Le Jurassique

Le Jurassique affleure au Nord : Dj Sidi Driss, Toumiettes, au Dj Akhal, la série jurassique est puissante d'environ 700m, entièrement carbonatée (calcaires oolithiques-dolomies et calcaires à silex).Elle inclut des lumps, microconglomérats, stratifications entrecroisées et des failles. Ces phénomènes indiqueraient une certaine instabilité lors de la sédimentation de ces dépôts (C. Ben abas.2006). Au massif du Chhattaba, les formations jurassiques sont dominées par des calcaires et des dolomies.

2.2.3.1.3-Le Crétacé inférieur

Dans la région de Constantine il est représenté essentiellement par des dépôts à dominante marno-calcaires.

2.2.3.1.3.1- Le Néocomien

Le Néocomien affleure au Djebel Akhal avec une épaisseur totale d'environ 200m, et au massif du Chhattaba, Il est représenté par une épaisse série de marnes, de calcaires et marno-calcaires du Valanginien. Cette série contient de nombreuses Ammonites et se caractérise par la présence de surfaces durcies ; la série se termine par des calcaires microlitiques et des niveaux de marnes noires de l'hauterivien (C. Ben abas -2006).

2.2.3.1.3.2-Le Barrémien

Il affleure sur toutes les feuilles de la région d'étude. Il est représenté par deux ensembles un inférieur carbonaté à faciès micro graveleux à polypiers et rudistes, et un ensemble supérieur qui se compose de calcaire et de dolomies massifs. Au Djebel Akhal et au massif du Chhattaba, il est représenté essentiellement par des calcaires.

2.2.3.1.3.3-L'Aptien

L'Aptien inférieur affleure au Dj Karkara, au Dj Zouaoui est constitué par un ensemble de marnes et de calcaires marneux bio micritiques à graveleux. Par contre l'Aptien supérieur au Dj Friktia est plus carbonaté avec des calcaires polypiers et Orbitolines des niveaux supérieurs se composent de dolomie alternant avec des lumachelles à Huîtres, la série se termine par un hard-ground très constant.

2.2.3.1.3.4- L'albien

L'albien affleure au Dj Frikia avec une épaisseur d'environ une centaine de mètres, et représenté par des marnes et marno-calcaires à la base, et par des conglomérats au sommet, au NW du Djebel Chattaba, mais la série albien au Djebel Zouaoui est plutôt marneuse avec une alternance de marno-calcaires et de calcaires marneux. Il est absent au Dj Oum Settas.

2.2.3.1.3.5- Le Cénomanién

Le Cénomanién représenté par une épaisse série de calcaire, de marne et de marno-calcaire. Cette formation est remarquable au Djebel Salah au Nord de la ville de Constantine (montagne tabulaire de forme triangulaire limité par des failles)

Sur le rocher de Constantine, le Cénomanién comprend à la base des calcaires rubanés organo-détritique ravinés. Au massif du Chettaba, il est représenté par des calcaires à Orbitolines. Dans la région du Khroub et d'El Aria, l'épaisseur du Cénomanién est très variable, elle peut atteindre les 250 m et il est essentiellement calcaireux.

2.2.3.1.4-Crétacé supérieur**2.2.3.1.4.1- Le Turonien**

Il présente dans le rocher de Constantine, et dans les massifs du Felten, au Dj Oum Settas le Turonien constitué une série d'environ 200m avec un ensemble inférieur formé de calcaires rubanés avec des niveaux de calcaires massifs à rudistes, et par des calcaires à silex au rocher de Constantine et au massif du Chettaba.

1.2.3.1.4.2-Le Sénonien

Il est visible dans le massif du Chettaba, Djebel Akhal et au massif de l'Oum Settas-Mazela et constitué essentiellement par les marno-calcaires. Au rocher de Constantine, il est représenté par des marnes et des calcaires bio micritiques.

1.2.3.1.5-Le Paléogène

Il est représenté par une épaisse série de marnes et de calcaires phosphatés et de calcaires à silex dans les monts de Constantine.

1.2.3.1.6- Le Néogène

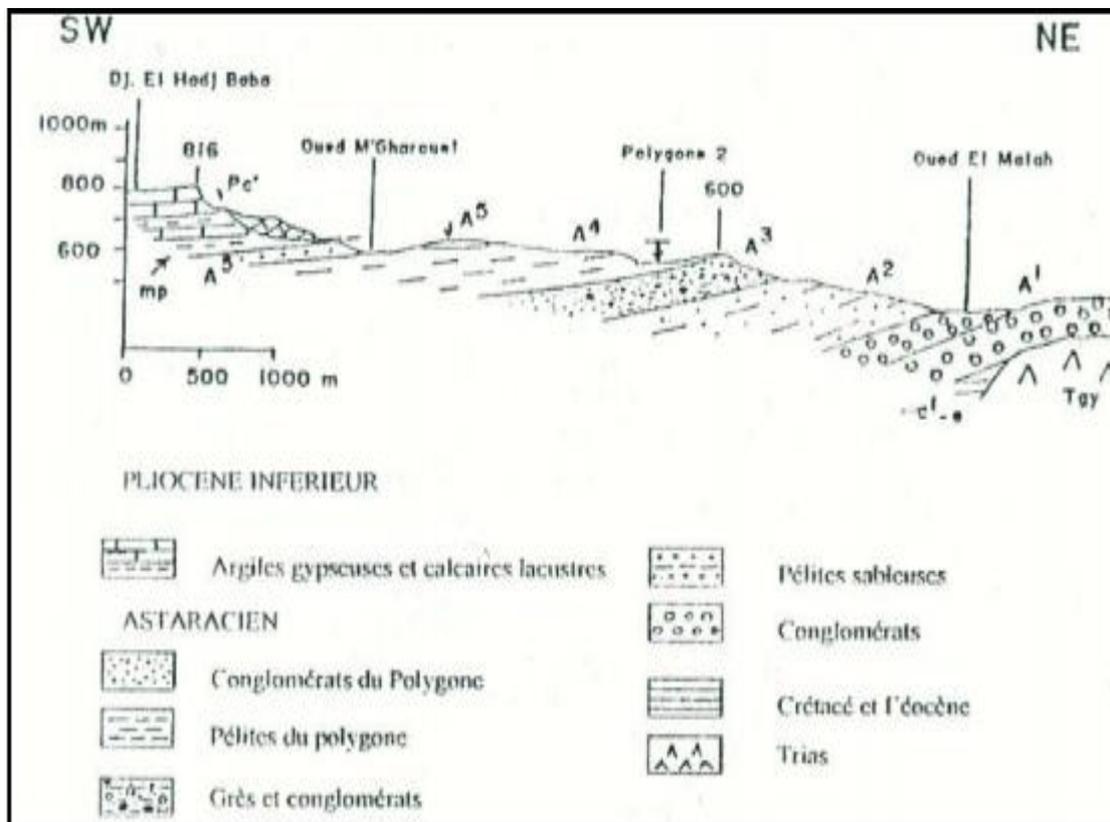
Le Néogène représenté essentiellement par le miocène inférieur et situe au Sud de la chaîne numidique. Il est constitué de conglomérats et d'argile rouge.

- Le Mio-Pliocène continental

Il contient d'une formation détritique qui débute par une série de conglomérats et d'argiles rouges de l'Aquitanién continental. Les conglomérats sont surmontés par des argiles

et des grès dans lesquels s'intercalent souvent des passes gypseuses d'épaisseurs variables. Il est représenté par des dépôts continentaux (P.H.E.COIFFAIT 1990) (Fig.10). Le sommet se termine par des calcaires lacustres plus ou moins travertin eux.

L'exemple le plus typique est celui de la plate-forme d'Ain-El-Bey.



Source : Ph. E. Coiffait

Fig.2.7 : Coupe géologique du Moi-Pliocène a l'Est immédiat de Constantine

1.2.3.1.7- Le Quaternaire

Dans cette région d'étude le quaternaire comprend surtout les alluvions anciennes et récentes des fonds de vallées.

- Les alluvions récentes des Oueds correspondent à des limons et graviers et des galets roulés.
- Les alluvions anciennes des Oueds se composent de cailloux rous et de limons. Elles sont parfois encroûtées et proviennent d'anciennes terrasses. Les alluvions anciennes.

Les éboulis sont surtout développés en bordure des reliefs numidiens et des massifs calcaire et gréseux : Djebels Sidi Driss, El Kantour, Tourniets, Bougrina, Kef Anser, Taya et ouahch.

Les plateaux sont composées aussi de cailloux rous, de limons et de graviers. Elles sont souvent cimentées par une croute calcaire.

- Les formations de pentes correspondent à des glacis polygéniques qui forment des surfaces très faiblement inclinées, près des plaines recouvertes d'un matériel élastique, avec de vastes placages sur les versants marneux.

Les glacis de Constantine, dans la région d'El Aria, sont constitués exclusivement de blocs du Numidien bien roulés.

2.4 Conclusion

Les premières constatations, concernant la géologie de Constantine, nous amènent aux conclusions suivantes :

- 1- La carte géologique met en évidence une couverture post-nappes Mio-pliocène et quaternaire- conglomératique.
- 2- Le tectonique néogène post-nappes et quaternaire, se distingue par des plis d'échelle kilométrique à grand rayon de couverture, et des failles à rejet vertical important.
- 3- La morphologie actuelle de la région est conforme dans ces grands traits à la structure tectonique récente.
- 4- L'aspect morpho structural de la région est fort complexe.

3.1 Introduction

L'Algérie est très sensible au climat en raison de la forte volatilité des pluies saisonnières et annuelles. Eu égard au caractère aride et semi-aride de son climat, par sa position géographique et climatique est influencée par les changements climatiques qui s'expriment à travers la diminution quantitative et qualitative des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds...

L'Algérie ressent plus fortement les effets du changement climatique pour un certain nombre de raisons, conduisant à la perturbation actuelle du cycle d'évaporation et de pluie pour envisager la possibilité d'événements extrêmes tels que des sécheresses prolongées ou des inondations catastrophiques et brutales, qui menacent gravement la santé et la sécurité des citoyens algériens, les ressources en eau et, en particulier, les écosystèmes terrestres.

3.2 Le changement climatique

Elle distingue un ensemble de variation des caractéristiques climatiques au cours du temps dans un environnement, dû à sa variabilité naturelle ou résultant de l'activité humaine pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus).

3.2.1 Evolution historique des facteurs du climat en Algérie

La baisse des précipitations et la hausse des températures sur l'ensemble du pays permet l'étude de l'évolution historique des facteurs du climat met en évidence à partir de :

- Evolution des températures
- Evolution des précipitations
- Sécheresses.

3.2.2 Evolution future du climat en Algérie

L'évolution du climat dans le pays algérien à l'horizon 2020, il est principalement lié à d'éventuels changements de température nationaux et aux pluies de mousson, pour l'évolution probable des températures et des précipitations saisonnières à l'échelle nationale. Les deux paramètres montrent un changement considérable, par la hausse de température allant en moyenne de 0.8°C à 1°C pour l'ensemble de l'année, et une nette baisse des précipitations pouvant atteindre les 13% en été. Ce qui représente une tendance au réchauffement annuel de l'ensemble des régions du territoire Algérien, (Djamel BOUCHERF, 2004).

saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
T : Température	T : hausse de 0.7 à 1.1 °C	T : hausse de 0.65 à 0.8 °C, un max de +0.8°C au sud	T : hausse de 0.85 à 0.95 °C, un max de +0.95°C au sud	T : hausse de 0.85 à 1.05 °C
P : Précipitations	P : baisse de 6 à 8%	P : baisse de 10%	P : baisse de 5 à 9%	P : baisse de 8 à 13%

Tableau 3.1: Résultats générés par le modelé MAGICC pour la projection climatique en Algérie à l'horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.

3.3 Caractérisation des paramètres météoriques de la région de Constantinoise (Est Algérien)

La région Est de l'Algérie est une région diversifiée en termes de climat par rapport aux autres régions. Le bilan hydrologique est influencé par les changements du climat, et surtout les paramètres pluviométriques et évaporométriques.

L'établissement d'un bilan hydrique qui détermine le fonctionnement du système hydrogéologique, spécialement l'alimentation des aquifères à partir des traitements des paramètres enregistrés par les stations climatiques et les paramètres calculés empiriquement.

3.3.1 Précipitations

Les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur du pays suivant un fort gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, avant de s'accroître à nouveau dans le Piémont saharien où les pluies se raréfient, (Mébarki, 2005).

Les Hautes Plaines sont nettement cernées dans leur bordure Nord par l'isohyète 500mm, (Mébarki, 2005), les précipitations de notre secteur d'étude sont variables et irrégulières d'une année à l'autre.

3.3.1.1 Distribution mensuelle et saisonnière des précipitations de la région de Constantine (station d'Ain El Bey)

3.3.1.1.1 Distribution mensuelle

Pour la période 1979-2011, les résultats montrent que le mois le plus pluvieux est décembre (81.69mm) et le moins pluvieux est juillet (7.40mm). (Tab.2) et (Fig.11)

Le mois sec pendant toute la série (1979-2011) est le mois de Juin 1994, 2009 et juillet 1995 avec aucune précipitation.

On remarque une diminution des valeurs pour la période 1979-2011 pour le reste des mois de l'année et en particulier le mois de janvier.

Pour la période 2011-2020, les résultats montrent que le mois le plus pluvieux est Mars (66.72 mm) et le moins pluvieux est juillet (1.95) ;

On remarque une diminution des valeurs pour la période pour le reste des mois de l'année et en particulier le mois de janvier.

mois	sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Jil	Aou
P (1979- 2011)	38.3	41.26	53.3	81.69	67.9	54.8	55.98	54.68	40.81	20.2	7.40	12.85
P (2011- 2020)	23.7	45.79	45.38	35.73	53.05	65.13	66.72	54.17	28.85	12.60	1.95	33.58

Tableau 3.2: l'écart des précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020)

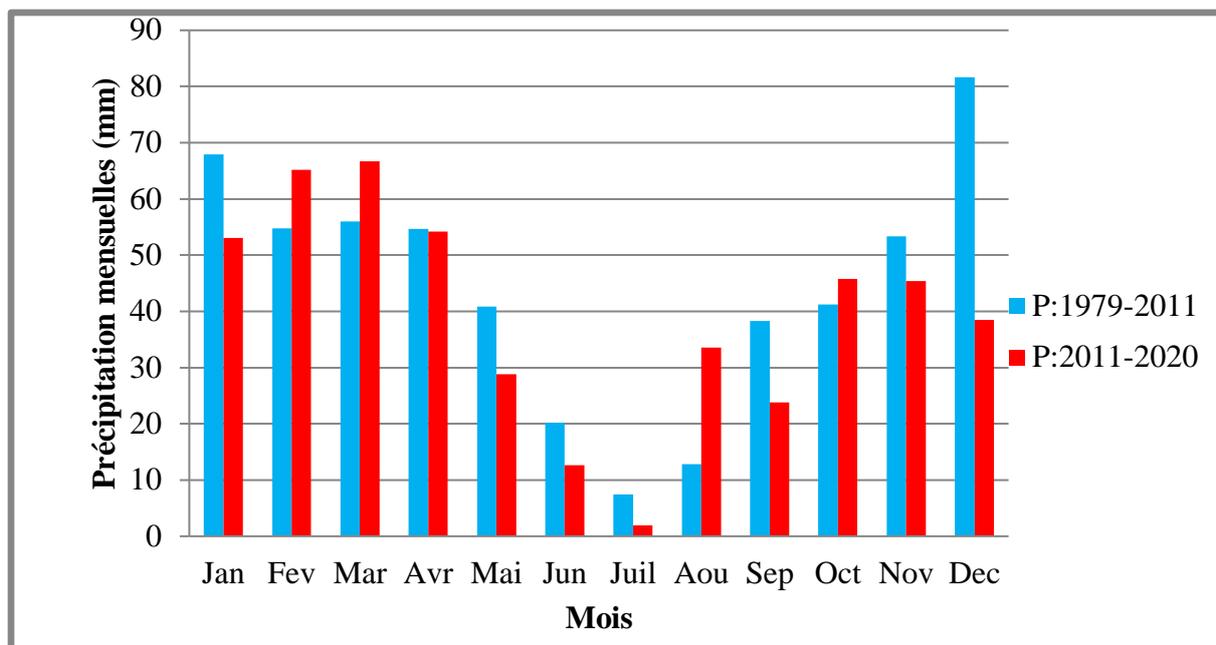


Fig.3.1 Précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020)

3.3.1.1.2 Distribution saisonnière

Pour la période 1979-2011, la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec 38.62% des précipitations totales, et la saison sèche est l'été avec 7.65% des précipitations.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P %	25,10	38,62	28,63	7,65

Tableau 3.3 : précipitation saisonnière (1979-2011)

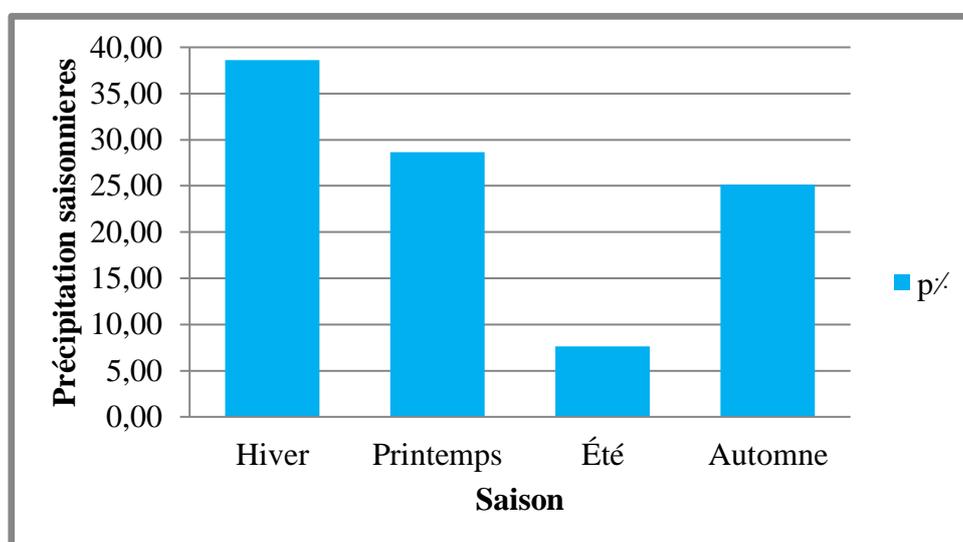


Fig.3.2 Précipitation saisonnière (1979-2011)

Pour la période 2011-2020, la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec 37.36 % des précipitations totales, et la saison sèche est l'été avec 11.48 % des précipitations.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
P %	27.42	37.63	23.73	11.48

Tableau 3.4 : précipitation saisonnière (2011-2020)

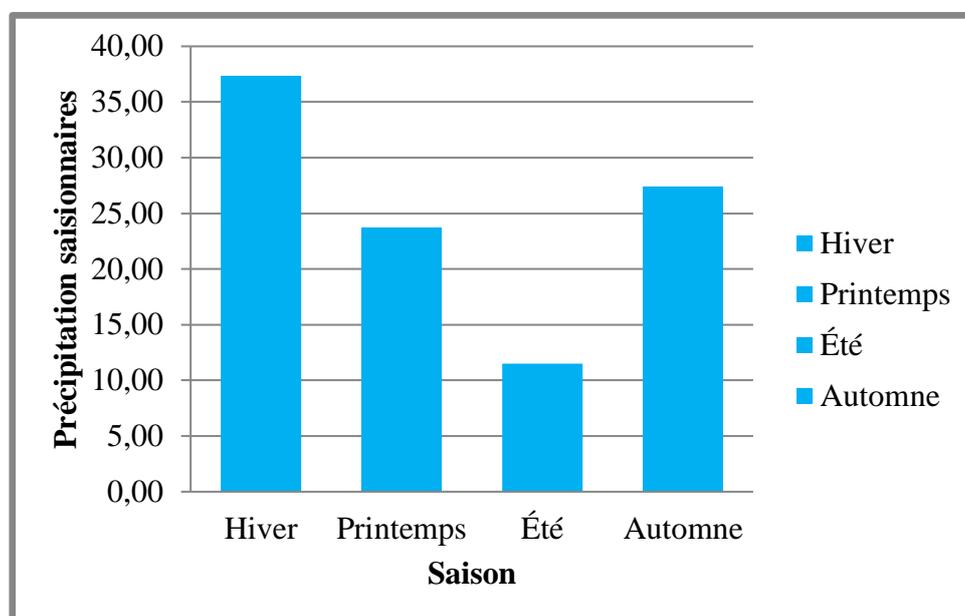


Fig.3.3 Précipitation saisonnière (2011-2020)

Une simple comparaison montre une croissance des valeurs au niveau de l'hiver, et une diminution pour l'automne et le printemps, ce qui affirme les résultats de l'évolution des valeurs moyennes mensuelles pour les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020)

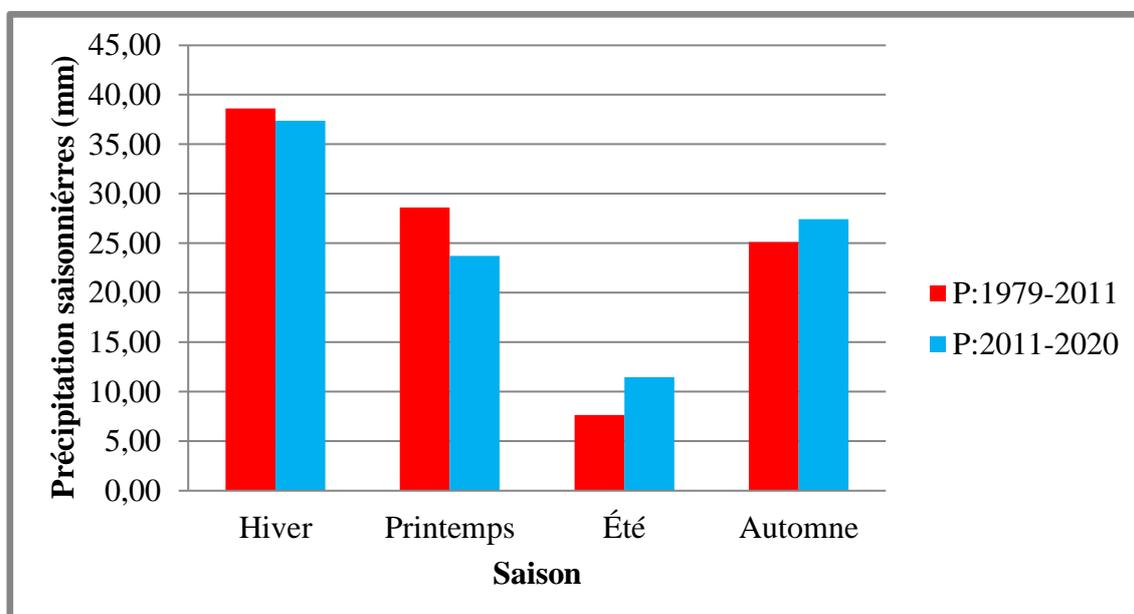


Fig.3.4 Précipitation saisonnières entre la période (1979-2011 et 2011-2020)

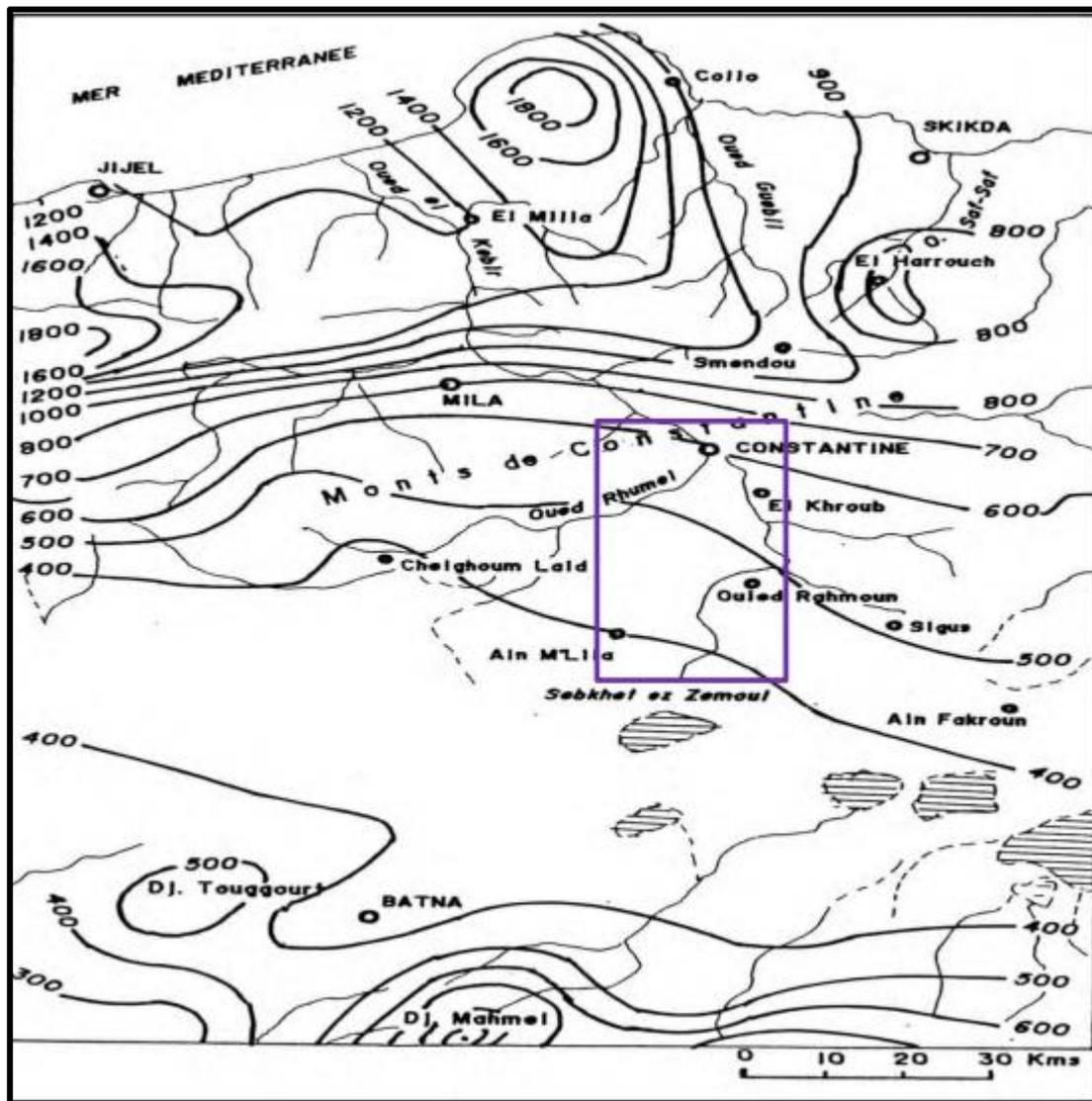
3.3.1.1.3 Distribution annuelle des précipitations

Les cartes des précipitations moyennes annuelles, d'après SELTZER (1913-1938), (Fig. 3.5) et l'ANRH 1993,(Fig.16), montrent une répartition géographique des précipitations caractérisées par une décroissance en fonction de la latitude et la longitude.

La pluviométrie décroît du littoral (> 1000 mm) vers l'intérieur (350 mm) avec des creux assez nets (300-200 mm), et de l'Est (700 mm) vers l'Ouest (350 mm).

La carte pluviométrique ancienne (1913-1938) montre que la région de Constantine présente une valeur proche de 600mm.

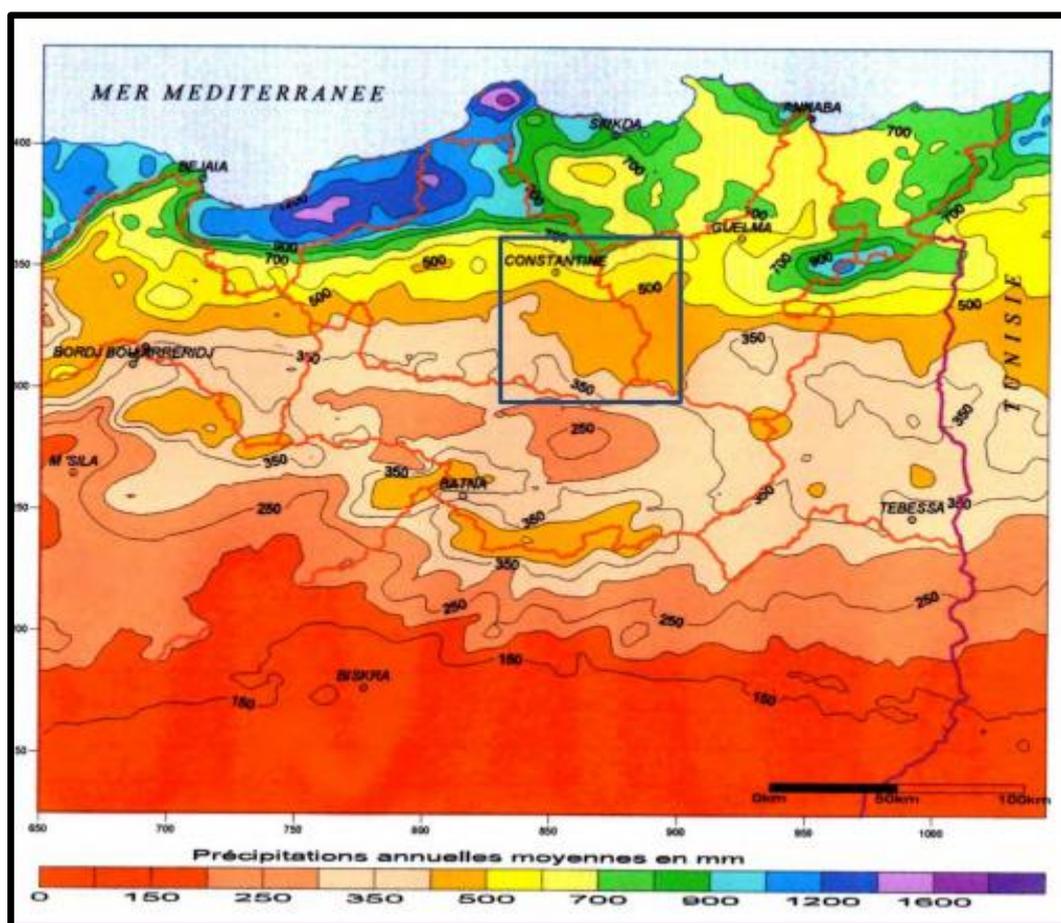
La carte pluviométrique de 1993, montre que la pluviométrie de la région de Constantine, s'échelonne entre 500 et 700 mm.



Légende :

— Courbe d'égale précipitation □ Secteur d'étude

Fig.3.5 Carte des moyennes pluviales d'après P.SELTZER, (1913-1938)



Légende :

— Courbe d'égalé précipitation Secteur d'étude

Fig.3.6 Carte des moyennes pluviales d'après P.SELTZER, (1913-1938)

3.3.1.1.4 La région de Constantine (station d'Ain El Bey)

Pour la série 1979-2011, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 529.17mm.

L'analyse des données annuelles des précipitations pour la station d'Ain El Bey et de Hamma Bouziane démontre une irrégularité interannuelle des précipitations (Fig.3.7 et Fig.3.8), où on note, pour une période commune 1979-2008, que :

Pour la station d'Ain El Bey :

- L'année la plus pluvieuse est l'année 1984 avec 882.6 mm, et qui présente aussi le mois le plus pluvieux qui' est le mois de décembre avec 335.1 mm
- L'année la plus sèche c'est 1983 avec une P=252.7 mm

Pour la station de Hamma Bouziane :

- L'année la plus pluvieuse est l'année 1984 avec 920.9 mm ;
- L'année la plus sèche c'est 2001 avec une P=297.4 mm

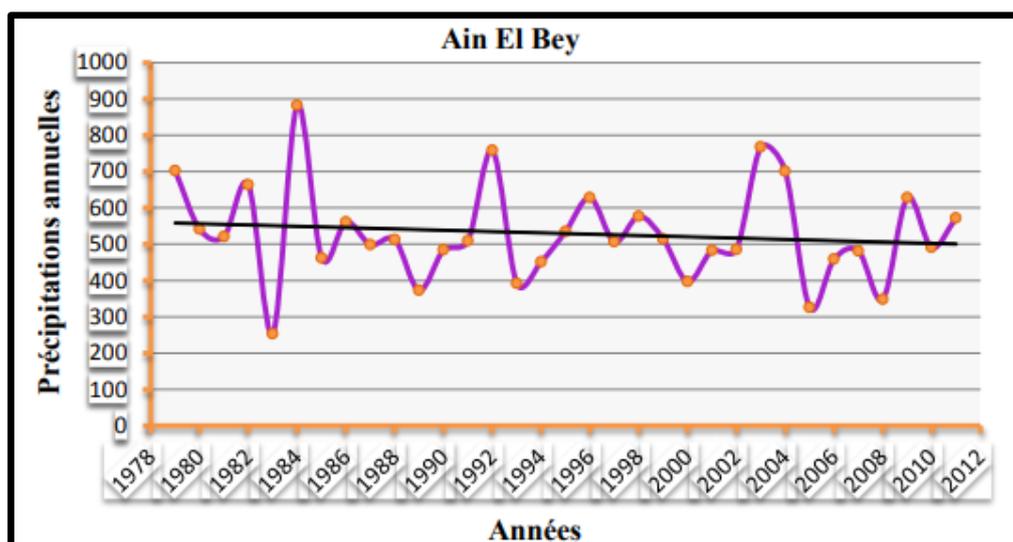


Fig.3.7 : Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station d’Ain El Bey (1979- 2011)

3.3.2 Températures

Ce paramètre est très important dans l’évolution et l’estimation du bilan hydrologique.

3.3.2.1 Températures moyennes mensuelles de la région de Constantine

D’après la série des températures moyennes (1971-2011) on note que :

- Le mois le plus chaud est juillet avec 25.20 C°.
- Le mois le plus froid est janvier avec 10.3 C°.

Et d’après la série des températures moyennes (2011-2020) on note que :

- Le mois le plus chaud est juillet avec 26.76 C°.
- Le mois le plus froid est janvier avec 6.97C°.

Moins	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou
T°C 1971- 2011	22,23	18,78	13,6	12,1	10,3	9,64	13,1	15,6	19,1	22,7	25,2	25,1
T°C 2011- 2020	21.91	17.4	11.82	8.04	6.97	7.22	10.27	13.8	17.4	22.84	26.76	25.95

Tableau 3.5 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020)

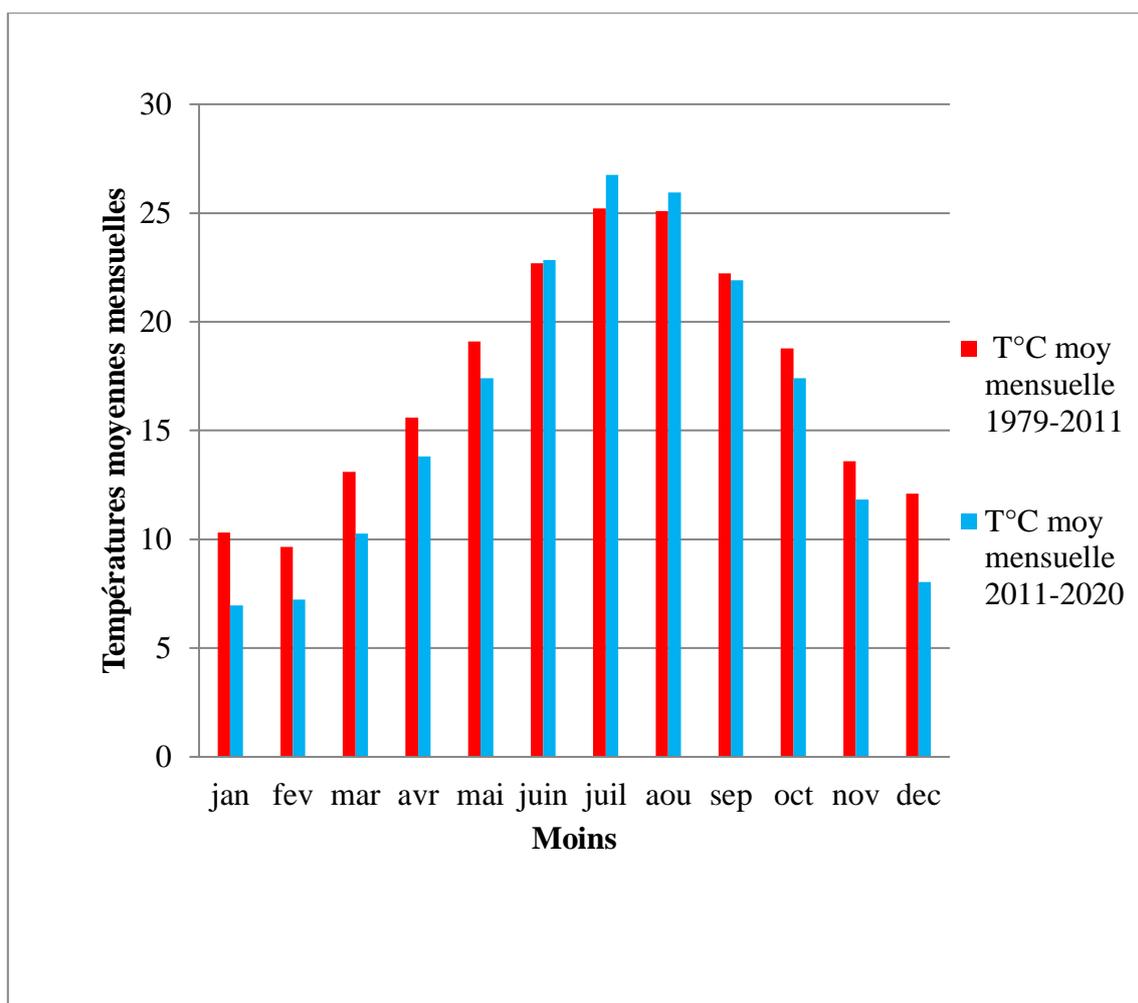


Fig.3.8 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1979-2011) et (2011-2020)

3.3.2.2 Distribution saisonnière

Pour la période 1979-2011, la saison d'Été présente une température le plus élevée avec 35.18 de la température totale, et la saison hiver présente une température le plus basse avec 15.44.

Saison	Printemps	Été	Automne	Hiver
Température c°	23.04	35.18	26.32	15.44

Tableau 3.6 : Température (c°) saisonnière (1979-2011)

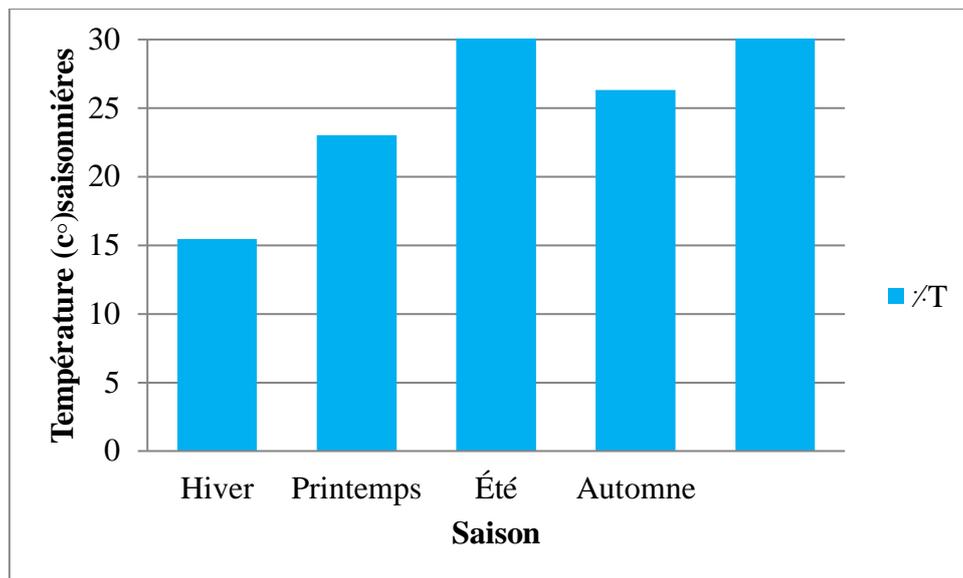


Fig.3.9 : Températures saisonnières (C°) 1979-2011

Pour la période 2011-2020, la saison d'Été présente une température le plus élevée avec 39.68 de la température totale, et la saison hiver présente une température le plus basse avec 11.68

Saison	Printemps	Été	Automne	Hiver
Température c°	21.78	39.68	26.86	11.68

Tableau 3.7 : Températures saisonnières (C°) 2011-2020

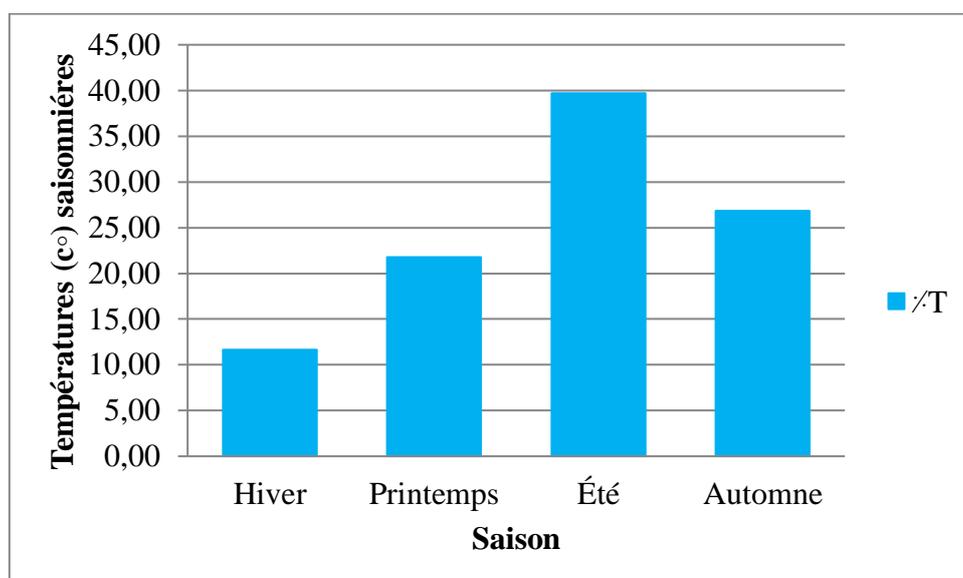


Fig.3.10 : Températures saisonnières (C°) 2011-2020

3.3.2.2.1 Les températures saisonnières de Constantine

Les températures saisonnières de la région de Constantine présentent une élévation pour la durée 2011-2020 par rapport à la durée ancienne 1979-2011 pour les quatre saisons .

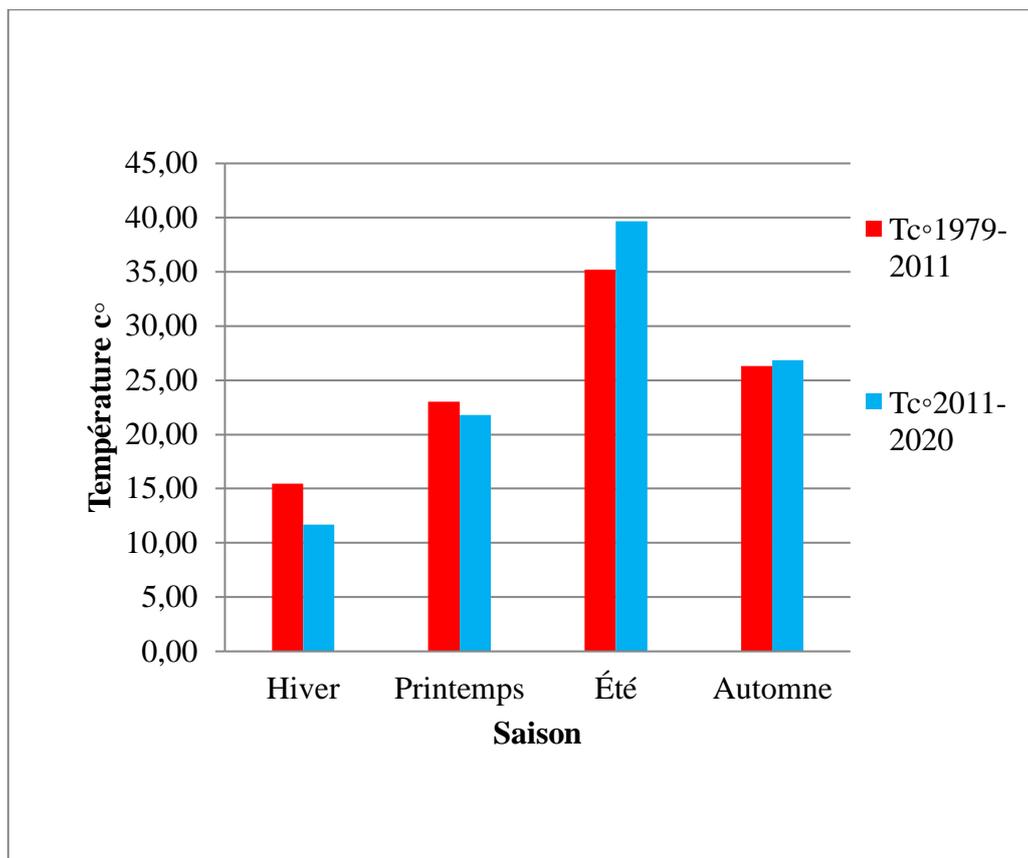


Fig.3.11 : Les températures saisonnières de Constantine

(1913-1938, 1971-2011)

3.3.2.3 Températures annuelles de la région de Constantine (station d'Ain El Bey)

La série des températures depuis 1971 jusqu'à 2011 (fig 21) présente que :

La température moyenne annuelle est de 15.20 °C.

L'année la plus chaude c'est 2006 avec une T°moy annuelle=16.35°C.

L'année la plus froide c'est 1976 avec une T°moy annuelle=13.30°C.

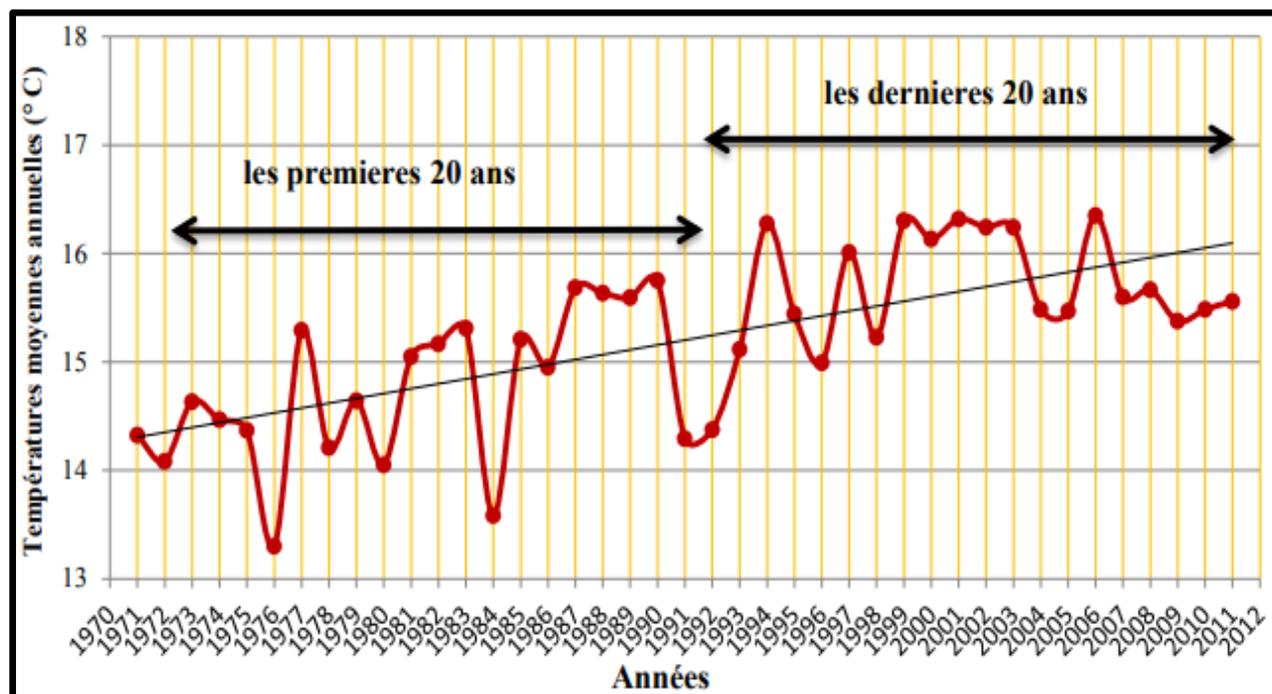


FIG 3.12 : Evolution de la température moyenne annuelle (1971-2011)

L'analyse des données précédentes montre que :

L'augmentation et la diminution de la température d'une année à une autre ne dépassent pas les 2°C. La forte augmentation apparaît en 1976-1977 avec 1.99°C, alors qu'aucune variation entre l'année 2002-2003 (0°C).

A partir de l'année 1993, la température moyenne annuelle reste supérieure à 15°C et les dernières 20 ans (1992-2011) marquent les plus fortes températures (supérieure à 16°C), avec une moyenne de 15.68°C alors que les premières 20 ans marquent une moyenne de 14.74°C.

La courbe de tendance montre une augmentation permanente des températures sur les quarante années d'observation, prouvant effectivement un changement climatique avec une tendance à la hausse. L'élévation des températures au secteur d'étude, et particulièrement l'Est Algérien suit donc les résultats sur l'élévation de la température mondiale dans ces dernières années. Ce qui va certainement influencer sur le taux des précipitations et l'évapotranspiration.

3.4 Relation précipitation-température mensuelle

3.4.1 La région de Constantine (Station d'Ain El Bey)

Selon la définition de Bagnouls et Gaussen, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois.

A partir des valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations permet de connaître la période déficitaire en eau.

Mois	Jan	Fev	Mar	Av r	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitation (mm)	53.06	65.13	66.72	3.89	28.86	12.60	1.96	33.58	23.77	45.80	45.39	38.44
Température °C	6.97	7.22	10.27	13.88	17.4	22.84	26.76	25.95	21.91	17.4	11.82	8.04

Tableau 3.8 : Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d’Ain El Bey (2011-2020)

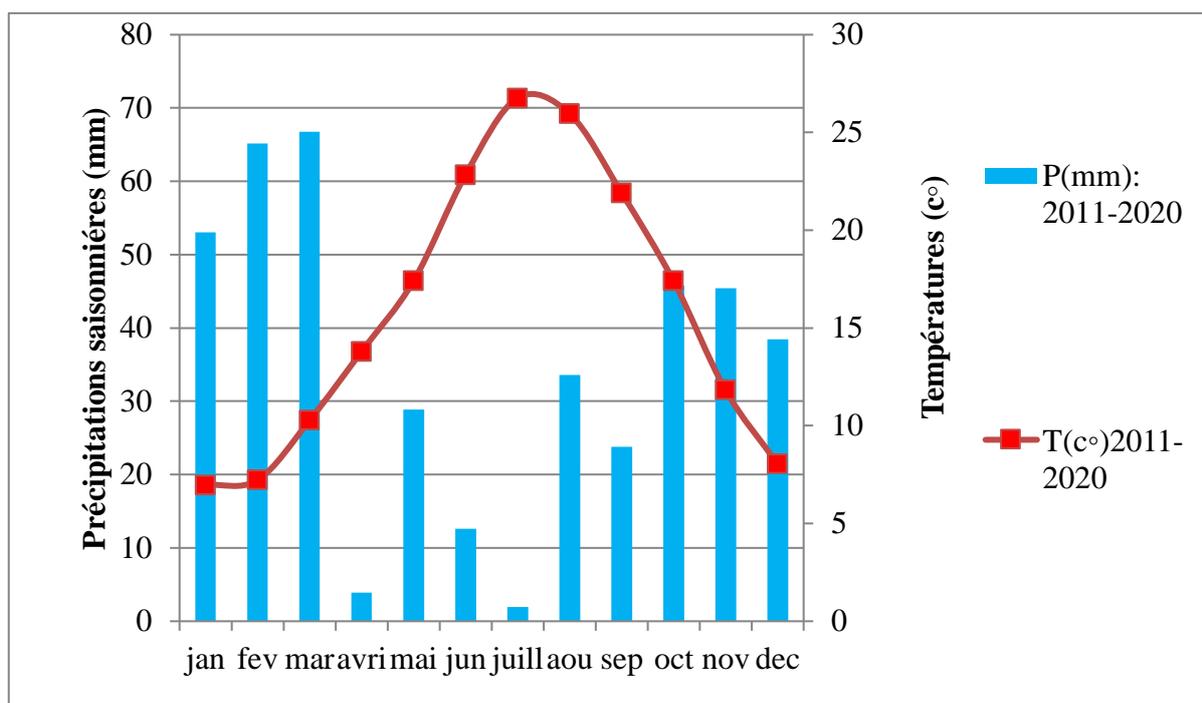


FIG 3.13 Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine, SELTZER, (2011-2020)

3.5 Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

L'établissement du bilan hydrologique selon Thornthwaite est primordial pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est exprimé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots (1)$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

ETR : Evapotranspiration réelle en mm

R : Ruissellement en mm

I : Infiltration moyenne en mm

Wa : Variation des réserves (terme souvent négligeable)

Ce bilan s'effectue sur une année hydrologique, période d'environ 12 mois choisie pour que les variations des réserves soient minimales.

3.5.1 Calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est un transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par transpiration de la végétation.

3.5.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'E.T. P est un paramètre entrepris par plusieurs climatologues est d'une part favorable pour analyser les besoins en eau des cultures, et d'autre part pour y remédier aux différentes carences au niveau desquelles les plantes sont soumises à l'exemple du stress hydrique (DUBOST ,1992).

C'est la quantité d'eau nécessaire à la transpiration non ralentie d'un tapis végétal couvrant entièrement et alimenté régulièrement en eau. La formule générale utilisée pour le calcul d'ETP selon Thornthwaite est la formule suivante :

$$\text{ETP} = 16 (10T/I)^a \dots\dots\dots(2)$$

Où :

T : Température moyenne mensuelle exprimé en °C.

K : coefficient d'ajustement de la formule de Thornthwaite en fonction de la Latitude.

I : Indice thermique annuel égal à $I = \sum_{i=1}^{12} i$ avec : $i = (T/5)^{1,514}$

a : Exposant climatique défini ainsi : $a = 0,016(I) + 0,5$

$$\text{ETP corrigée} = 16 (10T/I)^a \cdot K \dots\dots\dots(3)$$

ETPc : Evaporation potentielle mensuelle corrigée.

On trouve que : **a = 1.6853**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	total
P	53.06	65.13	66.72	3.89	28.86	12.6	1.96	33.58	23.77	45.8	45.39	38.44	419.2
T °C	6.97	7.22	10.27	13.8	17.4	22.84	26.76	25.95	21.91	17.4	11.82	8.04	-
i	1.7	1.7	3.0	4.7	6.6	10.0	12.7	12.1	9.4	6.6	3.7	2.1	-
ETPC	12.6	13.0	28.6	50.2	81.6	103.2	172.8	153.5	102.5	65.4	30.2	14.9	746.99

Tableau 3.9 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle

3.5.3 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est la quantité d'eau retirée d'une surface (par le sol et par les plantes) en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer. Les plantes étant à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

Pour calculer l'E.T. R on utilise la méthode de **Thornthwaite** :

1) Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle :

L'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle

$$\text{(Si : } P > \text{ETP} \longrightarrow \text{ETR} = \text{ETP).}$$

2) Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle

$$\text{Si : } P + \text{RU} > \text{ETP} \longrightarrow \text{ETR} = \text{ETP}$$

$$\text{Si : } P + \text{RU} < \text{ETP} \longrightarrow \text{ETR} = P + \text{RU}$$

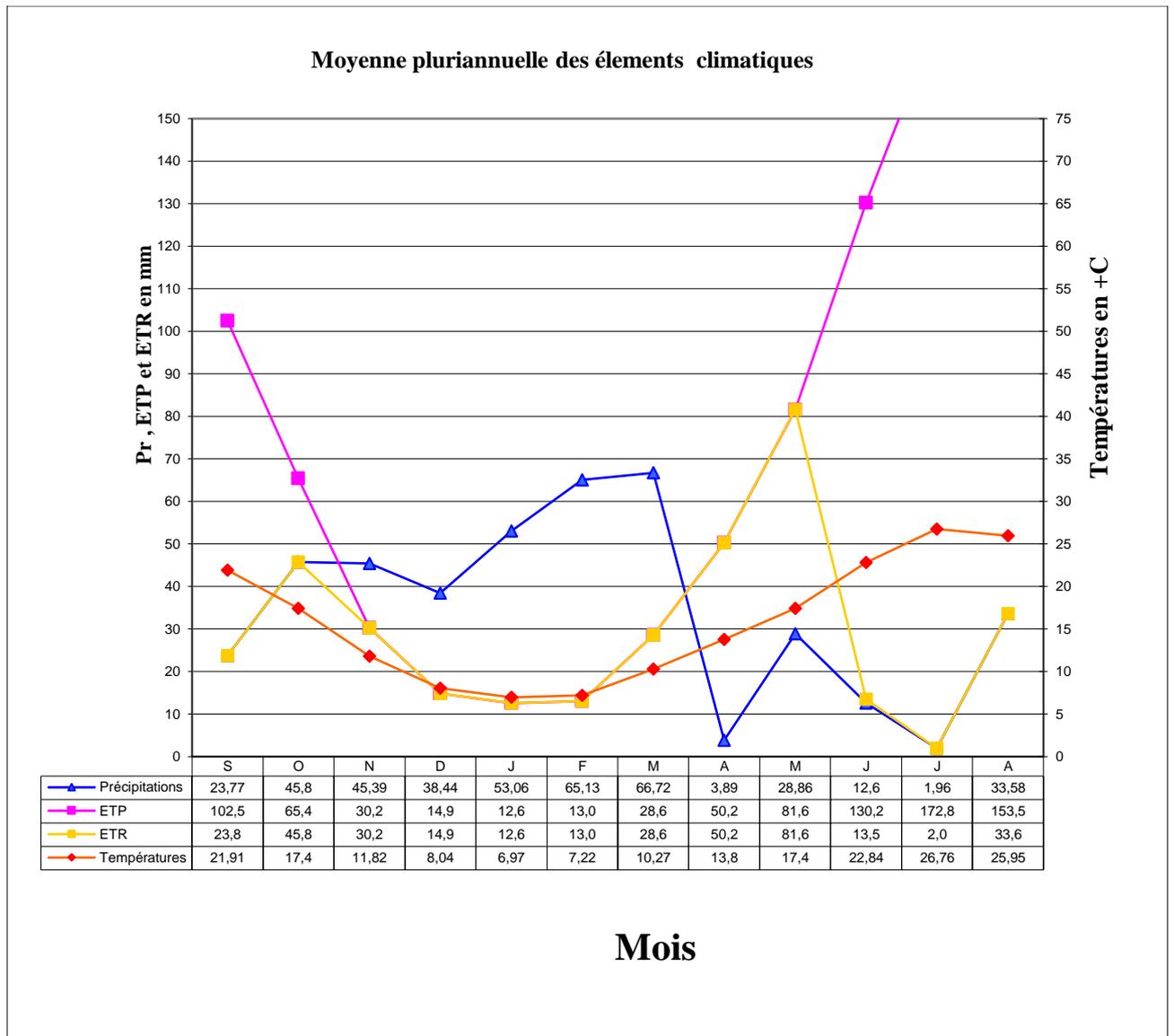


FIG 3.14 Tableau et Graphe du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

3.5.4 Estimation du ruissellement et de l'infiltration

Pour l'estimation du ruissellement on utilise la formule de Numer Chuck qui est :

$$R = P^3 / 3 (ETP)^2 \dots\dots\dots (4)$$

Avec :

R : ruissellement en (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

Application numérique P = 419.2 mm, ETP= 746.99 mm

➔ **R=44 mm**

3.5.5 Calcul de l'infiltration

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion.

Elle est estimée à partir de la formule du bilan hydrogéologique :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

Où:

Wa : variation des réserves souvent négligeables

On aura alors :

$$P = ETR + R + I \quad \Rightarrow \quad I = P - (ETR+R)$$

$$\text{Où : } I = EX - R \quad \Rightarrow \quad I = 69.4 - 44 = 25.4 \text{ mm}$$

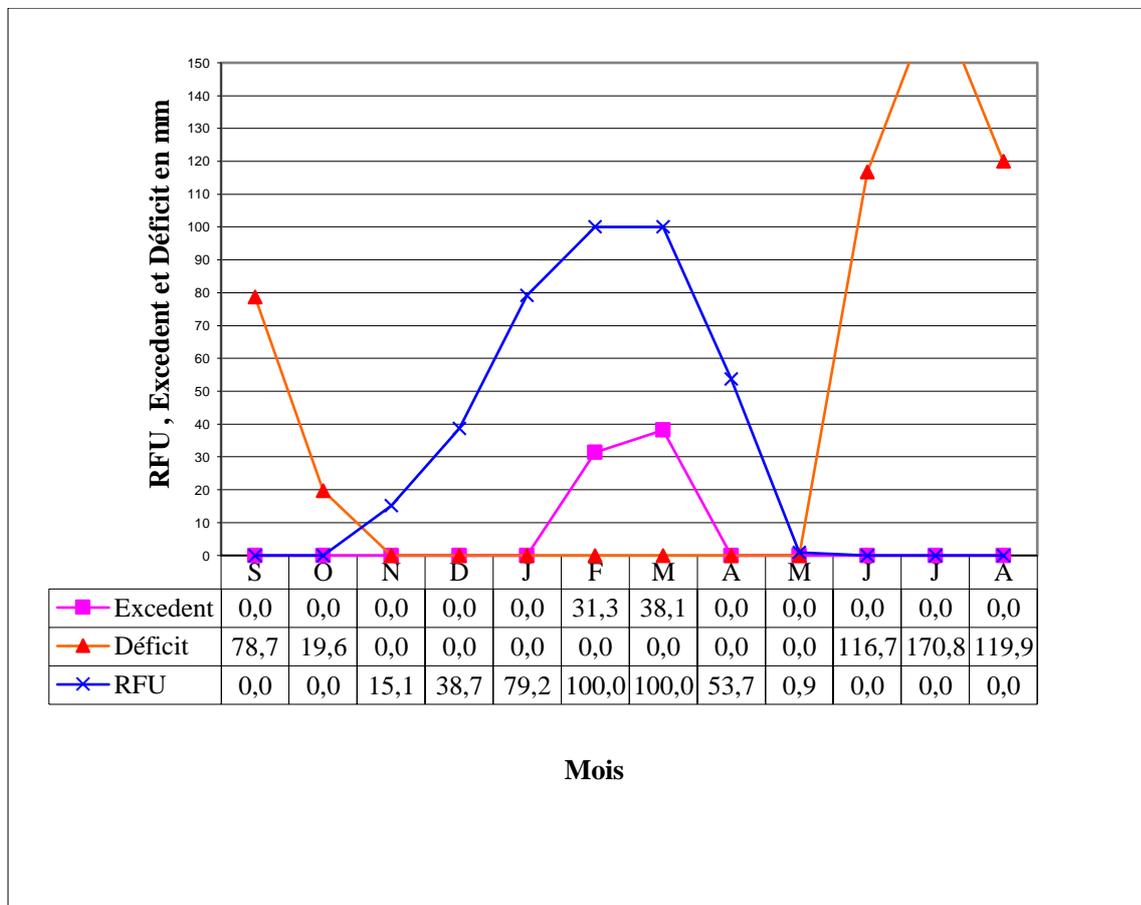


FIG 3.15 Tableau et graphe de RFU, Excèdent, déficit en mm

3.6 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet d'une description et une analyse hydroclimatologique qui nous a permis de cerner les différents paramètres climatiques favorisant l'écoulement des eaux de surface.

La région est caractérisée par un climat semi-aride où l'hiver est pluvieux et froid et l'été sec et chaud. Les variations des valeurs de précipitations mensuelles et l'irrégularité des données interannuelles d'une période à une autre dépendent de l'altitude et la latitude, la météorologie, ... Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations est une donnée fondamentale du climat algérien, où on a marqué qu'il y a des variabilités des précipitations et un changement continu de la température.

L'augmentation de la température avec le temps a engendrée une augmentation de l'évapotranspiration qui va influencer directement sur les réserves d'eau superficielles.

Les valeurs du ruissellement et d'infiltration ont diminué avec le temps et sont liées directement aux précipitations et ETP ; par conséquent, ces valeurs influent sur la réalimentation des aquifères.

La diminution des précipitations et donc le stock des eaux souterraines et superficielles, et l'augmentation remarquable de la température, ces dernières décennies, sont liés au changement climatique sur la terre, changement qui est le résultat de l'effet de serre. Donc l'Algérie, par sa position géographique et climatique est influencée par les changements climatiques qui s'expriment à travers la diminution quantitative des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds.

4.1 Introduction

De nombreuses régions du monde sont confrontées à des phénomènes naturels susceptibles de provoquer des catastrophes. Ces phénomènes sont d'origines très variées : géophysique avec le séisme et les éruptions volcaniques, hydrométéorologique avec les cyclones et tempêtes, les inondations et les avalanches ou bien encore géomorphologique avec les mouvements de terrain. Leurs fréquences et leurs intensités varient d'une région à une autre suite au développement de l'urbanisation et à la concentration des personnes et des infrastructures économiques.

Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origine très diverses. Ils provoquent mondialement la mort de 800 à 1000 personnes/an et causent des préjudices économiques et des dommages considérables. De nombreux paramètres, naturels ou anthropiques, conditionnent l'apparition et le développement des mouvements de terrain (géologie, hydrogéologie, urbanisation...etc.). En 1979, la commission sur les mouvements de terrain de l'association internationale de géologie de l'ingénieur, estimait que 14% des pertes de vie humaines lors des catastrophes naturelles pouvaient être attribuées aux mouvements de terrain.

Selon TIANCHI 1989, les mouvements induits par les séismes dans les LOESS en CHINE ont provoqué la mort de centaines de milliers de personnes au 19ème siècle. En 1920, le séisme de NINGXIA a provoqué des glissements de terrain massifs dans les LOESS entraînant la mort d'au moins 100000 personnes.

4.2 Phénomènes de glissements de terrain en Algérie

Les catastrophes d'origine naturelle ou industrielle ont connu ces dernières années représentent un danger pour la vie humaine et les biens. Parmi les aléas naturels, et hormis le phénomène sismique qui concerne l'ensemble de la zone Nord du pays et les Hauts Plateaux, le risque relatif aux glissements de terrains est certainement le plus répandu à travers le territoire national.

4.2.1 Mouvements De Terrain

4.2.1.1 Définition du mouvement de terrain

Mouvement de terrain c'est une expression qui englobe une grande variété de phénomènes géodynamiques les plus répandues et souvent les plus graves à la surface de la terre. Elles font partie des mouvements de masse, pour origine les processus lents d'érosion ou de dissolution de matériaux naturels, des ruptures d'équilibre de versants, de parois rocheuses ou de cavités souterraines, ils impliquent une rupture de pente qui entraîne un déplacement de matériaux sous l'effet de la gravité qui sont déstabilisées par des facteurs déclenchant naturel et /ou anthropique, un agent de déplacement :le plus souvent l'eau joue un rôle primordial dans le déclenchement des mouvements de terrains.

Les modes de déplacement de ces matériaux et les effets induits et l'environnement géographique sont variés d'une région à une autre. Les formes et l'ampleur des mouvements de terrain sont très divers en raison de la multiplicité des mécanismes d'initiation et de dévolution (érosion, dissolution, déformation et rupture sous charge statique ou dynamique, etc.) Lié à la topographie (pente du versant) à la lithologie (caractéristique physique et mécanique) à la structure géologique (pendage, fracturation, superposition des couches, etc.), aux nappes aquifères, à la teneur en eaux, etc.

4.2.2 Les glissements de terrains

4.2.2.1 Définition

Un glissement de terrain est un phénomène géologique naturel, qui se développe dans les sols et/ou du sous-sol (masse de sol ou de roche) instable par un déplacement plus ou moins brutal le long d'une surface de rupture dans des matériaux meubles et, en général, argileux. Le mouvement est engendré par l'action de la gravité, de forces extérieures (hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions aux limites», en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Ils ont rarement une cause unique qui est souvent due à l'action conjointe de plusieurs facteurs négatifs qui déclenchent le glissement.

Le déclenchement d'un glissement de terrain est conditionné par plusieurs facteurs. Trois forces vont déterminer l'ampleur du phénomène (Flageollet, 1989) : (i) la gravité : représente la force qui entraîne le matériel vers le centre de la Terre. Elle est dépendante de la pente du terrain, (ii) la force de frottement : représente la force qui freine une couche de terrain meuble ou de roche par frottement contre la couche sous-jacente, (iii) la force de cohésion représente la force qui repose sur l'attraction des particules du sol entre elles et de l'attraction entre ces particules et l'eau stockée dans le sol. La vitesse, la distance et l'arrêt sont contrôlés par l'équilibre entre la force motrice (la gravité) et les forces de résistance (force de frottement et de cohésion).

Pour simplifier, lorsque les forces de résistance sont plus fortes que la force motrice, le versant reste stable (facteur de sécurité > 1,5). Si cet équilibre est inversé, c'est à dire lorsque la force motrice est plus importante, un glissement de terrain se déclenche. Il se produit, alors, une rupture entre deux couches de roche ou de sol entraînant une masse qui se met à glisser avec plus ou moins de vitesse vers l'aval (Flageollet, 1989).

La plupart du temps, l'eau joue un rôle important dans les glissements de terrain, par l'action des pressions interstitielles, des écoulements souterrains ou par les pressions dues au gonflement des minéraux argileux. En simplifiant beaucoup, on peut distinguer deux types de glissements.

Le volume des glissements de terrain est très variable de quelques mètres cubes à plusieurs millions de mètres cubes.

L'importance des glissements de terrain en milieu urbain est due aux risques qu'ils font courir aux habitations ou aux ouvrages et à la difficulté technique et le coût élevé des travaux. Pouvant provoquer des pertes humaines et des dégâts matériels considérables

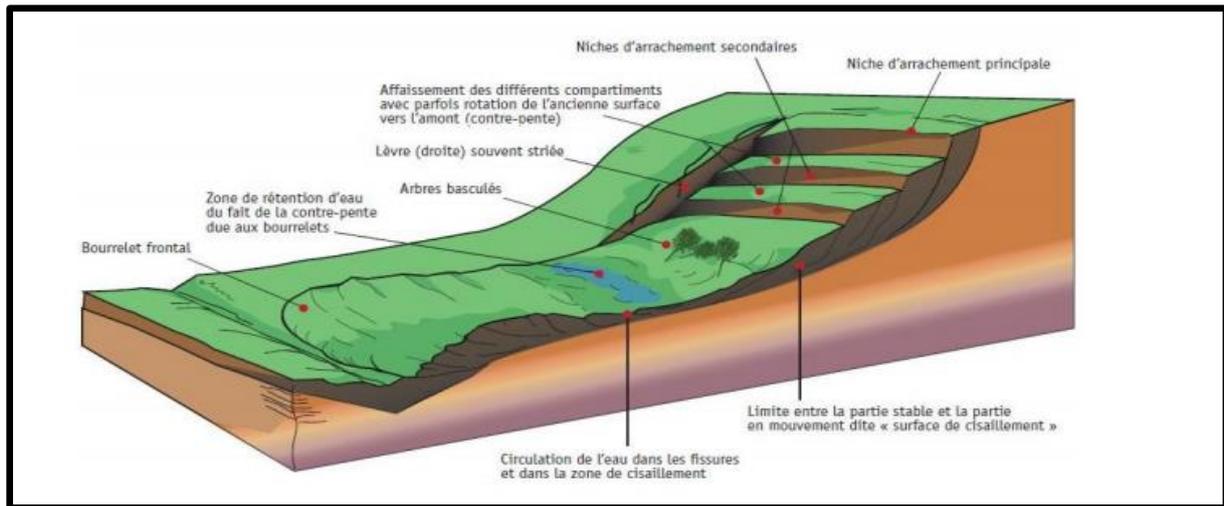


Fig.4.1 : Processus de glissement de terrain



Fig.4.2 : Glissement terrain sur la route du lac Cecil ; River, (Cliché ; couture)

4.3 Cause des glissements de terrain

Le passage de l'état stable à l'état instable dans le sol relève généralement de nombreuses causes variées dans une région à l'autre. Certaines causes sont externes, comme par exemple l'érosion. D'autres causes sont considérées comme internes, telles que l'augmentation de la pression interstitielle après de fortes pluies, l'accumulation d'eaux usées rejetées dans le sol, le développement de l'altération de la roche...etc.

4.3.1 Les principaux facteurs du glissement de terrain

4.3.1.1 Les facteurs permanents

- La morphologie
- La nature lithologique
- La pente et le dénivelé
- La couverture végétale

4.3.1.2 Les facteurs dynamiques et déclenchant

- Le climat
- L'action anthropique
- Le séisme

4.3.1.3 Les facteurs permanents

a. La géologie et géomorphologie

La lithologie constitue le matériau originel du sol et présente une sensibilité à l'altération différenciée selon sa composition minéralogique, sa structure primaire (schistosité, stratification, taille des grains, etc.). Secondaire (fissuration par des diaclases ou des failles), et peut avoir des conséquences hydrologiques importantes, notamment la relation pluie-débit et l'évolution des écoulements en période de crue.

b. La pente

Le rôle de la pente dans la genèse des mouvements de terrains s'associe avec d'autres facteurs tels que la nature lithologique, la structure et la présence d'eau. La raideur de cette pente joue donc un rôle capital dans la distribution géographique des mouvements de terrains. La topographie exerce une influence très grande sur l'intensité des ruissellements et de l'érosion.

c. La couverture végétale

Les racines des arbres peuvent contribuer à la stabilité des pentes par l'absorption d'une part de l'eau souterraine, d'un autre côté les racines ont une énorme force d'écartement qui provoque un élargissement des fissures.

4.3.1.4 Les facteurs dynamiques et de déclenchement

a. Le climat

Les risques de mouvements sont les plus grands lorsque la pluviométrie est importante. Une averse brutale de forte intensité mais de durée réduite, exerce le plus souvent un effet érosif par ruissellement, alors qu'une averse de plus longue durée sur un horizon superficiel moyennement perméable provoque un fluage de couches superficielles. Ces mouvements sont déclenchés fréquemment, notamment par des surplus de la pluviométrie. Le facteur climat est souvent assimilé aux variations de la température, le vent, l'eau de surface et souterraines, la pluie, la neige...etc.

b. L'action anthropique

L'action anthropique intervient surtout dans la modification morphologique du massif rocheux et des conditions hydrauliques initiales.

L'action anthropique peut être distinguée :

- Par l'activité humaine
- Sur exploitation

- Par l'urbanisation.

c. Le séisme

Les séismes sont souvent à l'origine du déclenchement des glissements de terrains. Ils peuvent intervenir en modifiant temporairement le champ gravitaire appliqué au versant. La répartition des contraintes se trouve temporairement modifiée et les contraintes de cisaillement augmentent.

4.3.2 L'eau et les risques de glissements de terrain

Les eaux de surface et de souterraines ils sont impliqués dans l'instabilité des sols et des massifs rocheux. Les nappes souterraines sont à l'origine de Déclenchements des mouvements de versants: glissements, éboulements, coulées ou laves torrentielles, leurs fluctuations liées aux conditions Météorologiques ou parfois aux actions humaines.

Sur les pentes, l'action déstabilisatrice de l'eau infiltrée dans le sol est triple.

-L'augmentation de la teneur en eau conduit à l'accroissement du poids volumique des sols.

-Changement de comportement rhéologique: le sol passe de l'état solide à l'état de Fluide visqueux; certaines coulées de boue ou laves torrentielles sont ainsi engendrées par l'imbibition d'une masse de sol. On peut aussi évoquer, lors d'un séisme, la liquéfaction des sables sous nappe qui est à l'origine de nombreux glissements sur très faible pente. Par ailleurs, des circulations d'eau souterraine peuvent engendrer sur le long terme une altération progressive des terrains encaissants, avec dégradation de leurs caractéristiques mécaniques.

-Action mécanique défavorable des pressions d'eau souterraine. La lutte contre l'eau est une des actions les plus efficaces pour prévenir, stabiliser ou Ralentir un glissement de terrain. La connaissance du mode d'alimentation de la nappe est Indispensable pour intervenir efficacement.

4.3.2.1 La présence des fractions fines

Les problèmes les plus Critiques de stabilité des pentes se présentent d'ordinaire, en premier lieu, sur les sols à grains fins et particulièrement sur les argiles. Ceci résulte en partie de ce qu'il est difficile de les drainer et de ce que, sur ce genre de sol, les processus d'érosion par ruissellement et vagues amènent de nombreuses pentes au point de rupture.

Le second point concerne le comportement des sols à grain fin impliqués dans un Déplacement des terres. En acquérant par moulage une autre forme, ils peuvent perdre une fraction notable de leur résistance. On désigne l'importance de cette perte sous le nom de sensibilité. Les hautes sensibilités correspondent aux grandes pertes de résistance. Il se peut, que les débris d'un glissement de terrain sur sols à haute sensibilité ne séjournent pas au pied de la pente, mais se dispersent et s'en éloignent. Il ressort de ce qui précède que les sols à grain fin sensibles au changement de forme exigent une attention spéciale sous le rapport de la stabilité des pentes.

4.4 Les indices d'instabilité du glissement de terrain du versant

L'étude du mouvement de masses et le comportement des sols est basée sur les événements passés ou présents.

Cette étude est fondée sur le relevé des traces apparentes laissées par les mouvements de matériaux. Ces traces sont plus ou moins facilement repérables sur le terrain ou sur les photographies aériennes. Ce sont des «phénomènes», et chacun sait que ces apparences, qui peuvent être trompeuses, sont à manier (utiliser) quelque précautions.

4.4.1 Les indices géomorphologiques

Ces indices sont constitués par les formes de terrains engendrées par les divers processus de façonnement des versants sont suivent :

La zone d'arrachement de glissement de terrain : c'est une surface plus bas par rapport au niveau du versant.

L'escarpement principal : Surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieur et prolongé en profondeur par la surface de glissement.

Fissures et crevasse : Ruptures au sein du matériau se manifestant par des fentes (fissures) d'importance et de forme diverse suivant leurs positions.

4.4.2 Les indices de la végétation

Les témoignages d'instabilité actuelle ou passée elle aussi apporter par la végétation, est un bon critère d'activité des mouvements. La distinction entre éboulis vifs et éboulis fixés par végétation est des plus classiques. On peut tenir le même raisonnement pour les abrupts de tête des replats de glissement ; qui se couvrent progressivement de même temps que leur profil évolue.

4.4.2.1 Glissements de terrains actifs

Les glissements terrains actifs Lorsque la vitesse de mouvement de déplacement plus ou moins constante. Le déplacement peut être minime, les déformations de moins d'un millimètre étant toutefois difficilement détectables. À long terme tout comme les glissements avec des phases successives d'accélération.

4.4.2.2 Glissements de terrains inactifs

Lorsque la vitesse de mouvement de déplacement est nulle pendant plusieurs années, Ceux-ci se subdivisent en quatre catégories :

- Glissements bloqués.
- Glissements latents.
- Glissements abandonnés.
- Glissements stabilisés. (Aissa,M. 2011).

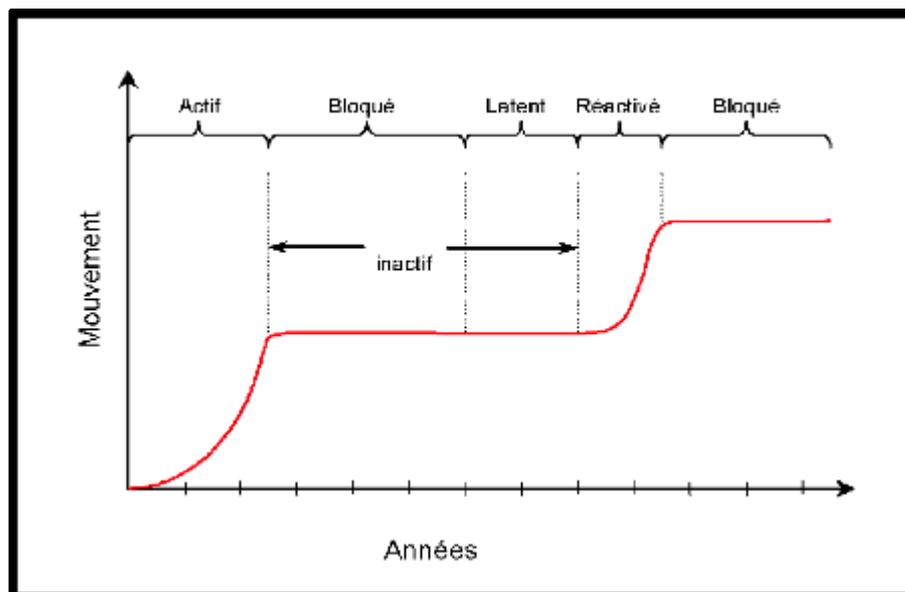


Fig.4.3: Différentes phases de l'activité d'un glissement de terrain

(Aissa, M.2011).

4.4.2.3 Glissements de terrains réactivés

Les glissements de terrain réactivés se déplacent le long d'une surface de glissement existante, qui quitte une phase inactive pour entrer dans une phase active.

Les glissements de terrain réactivés se déplacent le long d'une surface de glissement existante, qui quitte une phase inactive pour entrer dans une phase active.

4.4.3 Classification des glissements

Peuvent être classés les glissements de terrain selon la vitesse moyenne à long terme des mouvements (Tableau1.1) et selon la profondeur estimée de la surface de glissement (Tableau1.2).

Glissement	Vitesse de glissement
Substabilité, très lent	0 – 2cm/an
Peu actif, lent	2- 10cm/an
Actif (ou lent avec phase rapides)	> 10cm/an

Tableau 4.1 Classification selon l'activité en fonction de l'évaluation de la vitesse moyenne de glissement à long terme

Glissement	Surface de glissement
Superficiel	0 - 2m
Semi- profond	2 - 10m
Profond	10 - 30m
Très profond	> 30m

Tableau4.2 Classification selon la profondeur de la surface de glissement D'après DETEK

4.4.4 L'agent déplaçant

Dans les mouvements de terrain les deux agents de déplacement sont l'eau et l'air.

L'eau est considérée comme un agent de transport, dans ce cas le sol argileux perd sa cohésion et prend un état plastique ou liquide.

Dans les écroulements l'air est comprimé entre les blocs et les débris, ou en formant un coussin sous le sol en mouvement.

4.5 Type de glissement

4.5.1 Glissement rotationnel

Ou circulaire se fait lorsque le poids de la masse instable dépasse les forces des frictions, le long d'une "surface de rupture" dont la forme est parfois assimilable à un cylindre à directrice circulaire, c'est le cas en particulier des ruptures de remblai sur sols mous et de déblai en sols homogènes. Fig. A.

4.5.2 Glissements plans

Ou translationnel se fait dans une couche de mauvaise résistance à la faveur d'une discontinuité géologique, Où la surface de glissement est plane. Dans des matériaux dévers qui se déplace par une translation. Fig. B.

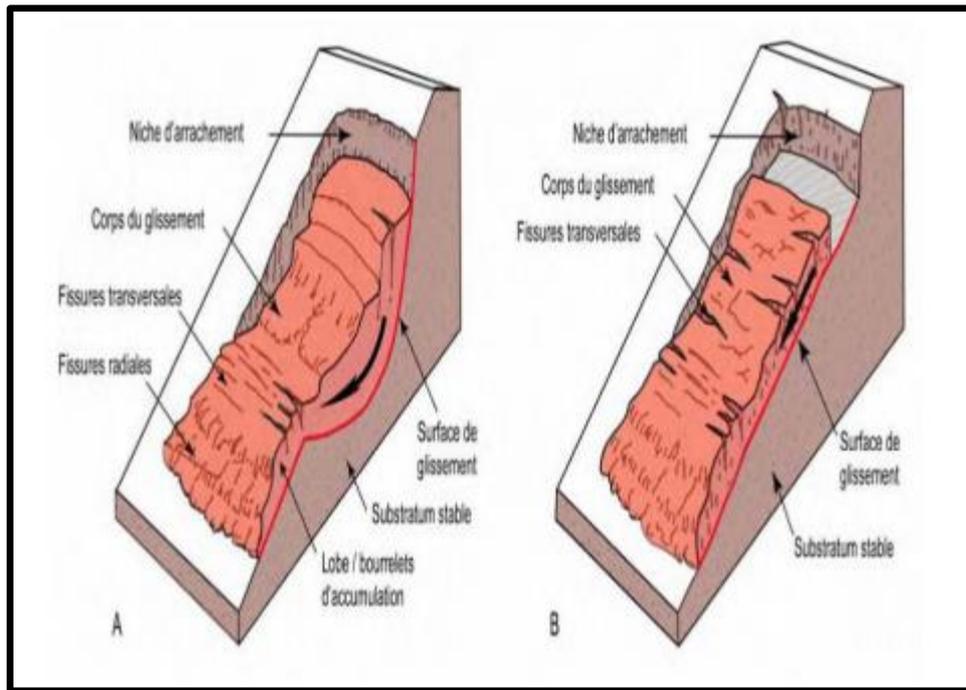


Fig.4.4: Les détails et unités d'un glissement terrain rotationnel (A) transactionnel (B) (modifiée d'après Varnes ,1987)

4.5.3 Glissement terrains composite

Ou complexe si la surface de rupture contient un mélange des deux types : en partie concave et en partie plane.

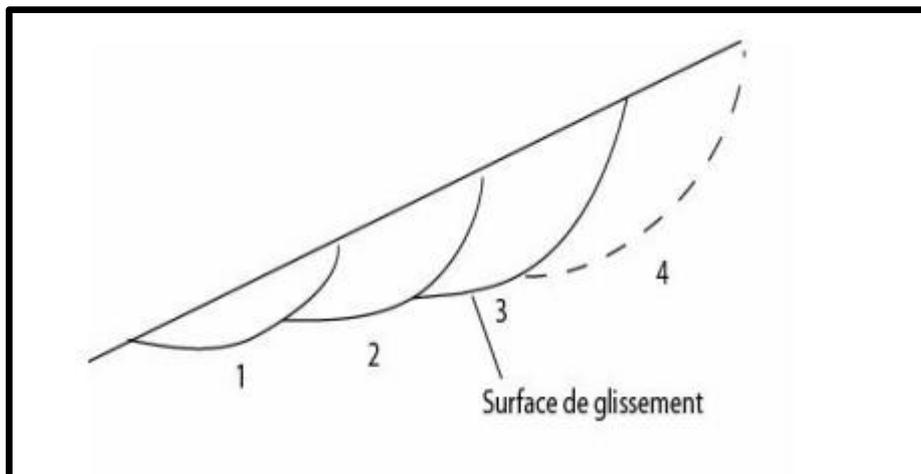


Fig. 4.5 : Glissement rotationnel complexe (Gilles,S. Pierre, P.1998)

4.6 Méthode de calcul des glissements de terrain

Le degré d'imprécision qui affecte la formulation des hypothèses simplificatrices ainsi que le choix des paramètres pour les calculs de stabilité, et l'incertitude relative à l'évolution du comportement du sol donne une dimension toute particulière aux problèmes de sécurité.

4.6.1 Méthodologie d'étude de glissement de terrain

4.6.1.1 Etudes géologiques et géomorphologiques du site

La stabilité d'un terrain est liée d'une part, à la nature géologique et d'autre part, à sa morphologie (pente, escarpement...). Il est impensable de faire une étude de stabilité d'un terrain sans une étude géologique, car elle représente un élément fondamental dans toute étude d'instabilité. L'objectif principal de la présente étude est de placer ce glissement de terrain dans son contexte géomorphologique, d'étudier les caractéristiques mécaniques des terrains suspecter les causes tant naturelles qu'anthropiques possibles et analyser le mécanisme à l'origine de ce glissement.

L'étude géologique doit être complétée par une étude géomorphologique faite à partir de la photographie aérienne et d'observation sur le terrain. Les facteurs géologiques sont souvent intrinsèques aux massifs de sols ou des roches, ils affectent sa stabilité mais aussi sa résistance à la dégradation en fonction de la présence des matériaux fragiles qui se nomment matériaux favorables à la rupture.

4.6.1.2 Etude hydrologique et hydrogéologique

Etant donné que l'eau joue un rôle très important dans un glissement de terrain alors pour l'étude hydrologique, il est indispensable d'avoir une idée sur la pluviométrie de la région et sur les irrigations du bassin versant, puis de constater le débit d'eau sur la surface. Mais pour l'étude hydrogéologique, il faut une idée sur la nappe souterraine, et elle a pour but de mettre en évidence les problèmes posés par la présence d'eau et de fournir des éléments nécessaires à leur solution.

Elle conduit à localiser le niveau aquifère et à établir l'inventaire hydrogéologique (relevé des puits et des piézomètres existants, repérage et mesure du débit des sources) qui permet pour sa part de dénombrer les nappes et de les situer.

4.6.1.3 Etude géotechnique

Une étude géotechnique consiste à déterminer toutes les caractéristiques mécaniques d'un sol à partir des essais in-situ et au laboratoire. Cette étude a pour but de :

- Définir la nature du sol étudié
- Mesurer l'épaisseur des diverses formations rencontrées ainsi que leurs pendages
- Définir la forme géométrique de la masse en mouvement
- Déterminer les caractéristiques mécaniques du sol prélevé
- Repérer le niveau piézométrique de la formation aquifère

4.6.1.4 Campagne de reconnaissance géotechnique

Une campagne de reconnaissance géotechnique par sondages carottés, essais au carottier « S.P.T » et essais de perméabilités a été réalisée au niveau du site objet d'étude, dont l'objectif est de définir les caractéristiques géotechniques des formations traversées et d'en préciser les limites. Le tableau ci-dessous donne dans le détail les travaux de reconnaissance in situ effectués au niveau du site.

4.6.1.5 Sondage et prélèvement d'échantillon

Les sondages vont permettre la reconnaissance géologique du terrain et la réalisation d'essais in-situ. La bonne exécution de sondage dans l'étude du sol pour les ingénieurs est déterminante.

Les techniques du sondage doivent être adaptées aux terrains rencontrés et réalisés de façon rigoureuse. Le sondage a pour objectif :

- La reconnaissance géologique du sol par prélèvement d'échantillons
- La réalisation d'essais pressiométriques
- La pose de piézomètres.

Le prélèvement est la première étape de l'analyse du sol, et a autant d'importance que l'analyse elle-même. Il peut se faire à la tarière pour la mesure des propriétés physico-chimiques des sols et au carottier pour la mesure des caractéristiques de résistance et de déformabilité des sols.

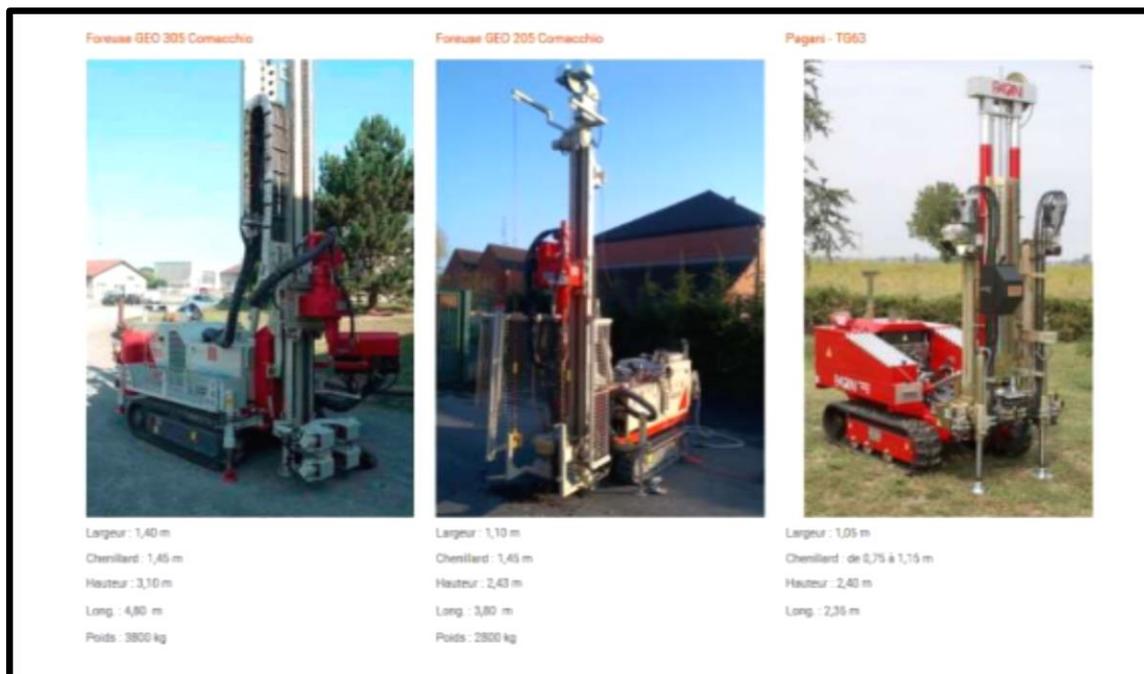


Fig.4.6 Quelques machines du sondage.

4.6.1.6 Essais in-situ

Les essais in-situ sont des essais directement réalisés sur terrain d'où le nom «in-situ». Ils sont souvent utilisés dans les terrains très hétérogènes ou très incohérents quand les carottes prélevées sont très remaniées. Les essais sont principalement :

- L'essai pressiométrique (réalisés dans un sondage)
- L'essai pénétrométrique (mesure directe de résistivité du sol par enfoncement d'une Pointe)
- Des essais de vérification de compacte de terrain (essai par plaque, pénétromètre léger de type panda).

4.6.1.7 Essais au laboratoire

A partir des échantillons prélevés sur terrain par carottage, on détermine :

- Les poids spécifiques
- La teneur en eau naturelle
- Le degré de saturation
- Les limites d'Atterberg
- La granulométrie
- Le cisaillement à la boîte (C' et φ' : à long terme ; C_u et φ_u : à court terme).

4.6.1.8 Analyse par télédétection

La télédétection est l'ensemble des techniques utilisées pour déterminer à distance les propriétés d'objets naturels ou artificiels à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent.

Les techniques de télédétection comprennent l'ensemble du processus :

La capture et l'enregistrement de l'énergie d'un rayonnement émis ou réfléchi par les objets observer, le traitement des données résultantes et enfin l'analyse des données finales.

Ce processus met en œuvre un capteur (appareil photographique, laser, radar, sonar, lidar, sismographe, gravimètre, ...) qui est généralement embarqué à bord d'une plateforme mobile : avion, satellite, ballon, navire (sonar).....

Cette technique va être développée dans le prochain chapitre.

4.7 Conclusion

Les glissements de terrains sont très souvent des accidents graves et de grande ampleur, qui provoquent des dégâts matériels considérables et peuvent causer des pertes en vies humaines.

Les processus à l'origine sont très complexes et dépendent rarement d'une seule cause. La géologie, le relief et l'exposition sont des paramètres fondamentaux, plus ou moins constants sur de longues périodes ; ils déterminent la prédisposition générale du terrain aux phénomènes d'instabilité.

En général, l'eau joue un rôle déterminant pour les glissements de terrain, elle produit des pressions hydrostatiques dans les pores (pressions interstitielles), les fissures et les failles, de même que des forces de percolation. Il n'est pas rare que les mouvements de terrain soient favorisés par des influences anthropiques. Ainsi, la surcharge d'une pente et des remblais, les excavations sans dispositifs de protection dans un versant lors de travaux de construction, la surélévation du niveau de l'eau souterraine peuvent accroître le danger de glissement de terrain. A partir de là, nous pouvons, dans le meilleur des cas, chercher à les éviter ou à s'en protéger, et dans tous les cas, faire en sorte que leurs effets soient les moins dommageables possibles. Pour cela, plusieurs méthodes ont été mises au point et développées pour la compréhension des phénomènes et l'analyse de la stabilité des pentes.

5. Contexte, état de l'art, objectifs de travail et site d'étude

Domaines d'application de la télédétection

La télédétection s'applique à toutes les disciplines qui nécessitent d'appréhender la répartition spatiale d'un phénomène, soit pour déterminer un état à un instant donné, soit pour suivre une évolution plus au moins rapide d'un phénomène (P .FOIN.1985).

- Géomorphologie et en géologie
- l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie).
- En océanographie, et ressources marines

5.1 Télédétection et cartographie géologique

Discipline cartographique en plein développement, la télédétection trouve ses meilleures applications en géomorphologie et en géologie. Ainsi la cartographie géologique qui cherche à identifier et décrire les différents types de roche dans une région donnée puis à la mise en carte des données géologiques recueillies sur le terrain, est passée de son aspect classique basé uniquement sur des missions de terrain et les photos aériennes, ce qui s'avère être un travail long et complexe ; à un nouvel aspect (images optimisées par l'application de tous les traitements numériques, fondée sur leur sélection en mode interactif, la numérisation.), Facilitant la confection de telles cartes et la mise à jour des données cartographiques.

5.2 Techniques de télédétection pour l'étude des mouvements gravitaires

Deux paramètres principaux peuvent être mesurés à l'aide de ces techniques : la géométrie et la cinématique des mouvements gravitaires, qui sont les deux mesures fondamentales pour la compréhension de la dynamique de ces mouvements.

5.2.1 Paramètres de contrôle

Paramètres externes	Paramètres internes
<ul style="list-style-type: none">• Météorologie• Teneur en eau• Végétation• Activité sismique• Activité Anthropique	<ul style="list-style-type: none">• Caractéristiques structurales• Lithologie• Rhéologie

Chacun de ces paramètres agit sur une échelle de temps et une échelle spatiale caractéristiques. Pour pouvoir caractériser la cinématique d'un mouvement gravitaire, il faut être en mesure de travailler à ces échelles de temps et d'espace, qui couvrent plusieurs ordres de grandeur. Une fois définies les échelles spatiale et temporelle de l'étude, il faut déterminer quelles méthodes de mesures sont les plus adaptées.

5.2.2 Intérêts génériques des données de télédétection

- Historique ;
- Extension de la zone en mouvement sur un intervalle de temps précis ;

- Calcul du champ de vitesse ;
- Calcul des volumes mobilisés (avec informations annexes) ;
- En couplant deux Modèles Numériques de Terrain diachroniques :

=> Champ de déplacement 3D,

=> Informations sur la géométrie évolutive 3D du mouvement ;

- Paramètres entrées et de validation des modèles numériques.

Deux grandes techniques existent en télédétection : l'interférométrie radar (qui peut être mise en œuvre à partir d'images satellites ou à partir de techniques au sol) et la corrélation optique (complémentaire de l'interférométrie, en offrant l'avantage de pouvoir être appliquée sur des supports d'images complètement différents, et ainsi de couvrir différentes échelles de temps et d'espace).

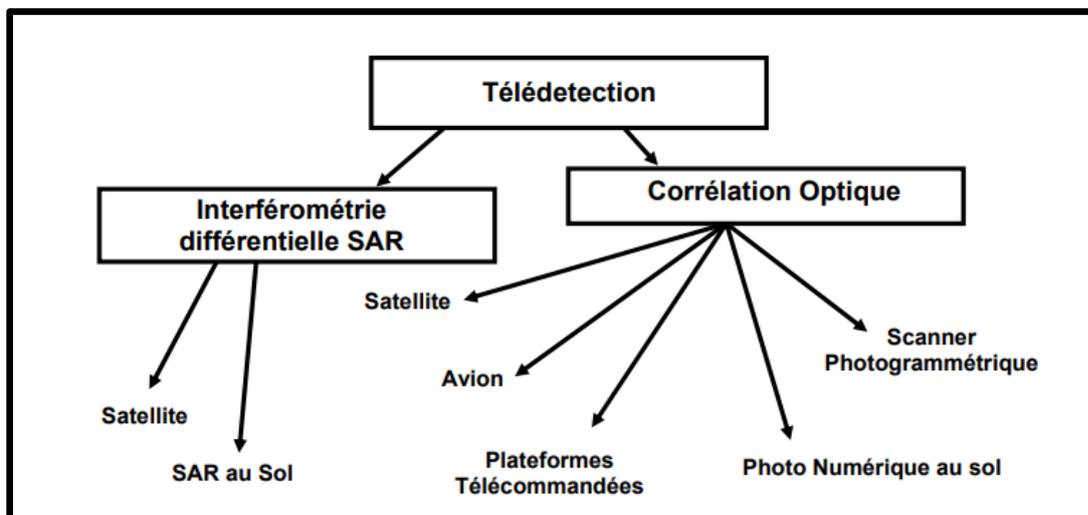


Fig.5.1 Les techniques existents en télédétection

5.2.3 Interférométrie Radar

Cette technique n'est pas utilisable de façon systématique. Une simulation du potentiel dans les Alpes du Sud sur une zone de 50km × 50km montre ainsi que presque 10% de la surface ne pourra pas être imagée en raison d'une inadéquation entre l'orientation des pentes et les paramètres de prise de vue. Ces contraintes géométriques empêchent de caractériser les glissements de terrain situés dans ces zones d'ombre. Il faut donc utiliser des combinaisons de différents types d'orbites de satellites, de manière à couvrir des surfaces assez importantes, mais il subsiste toujours des zones d'ombre.

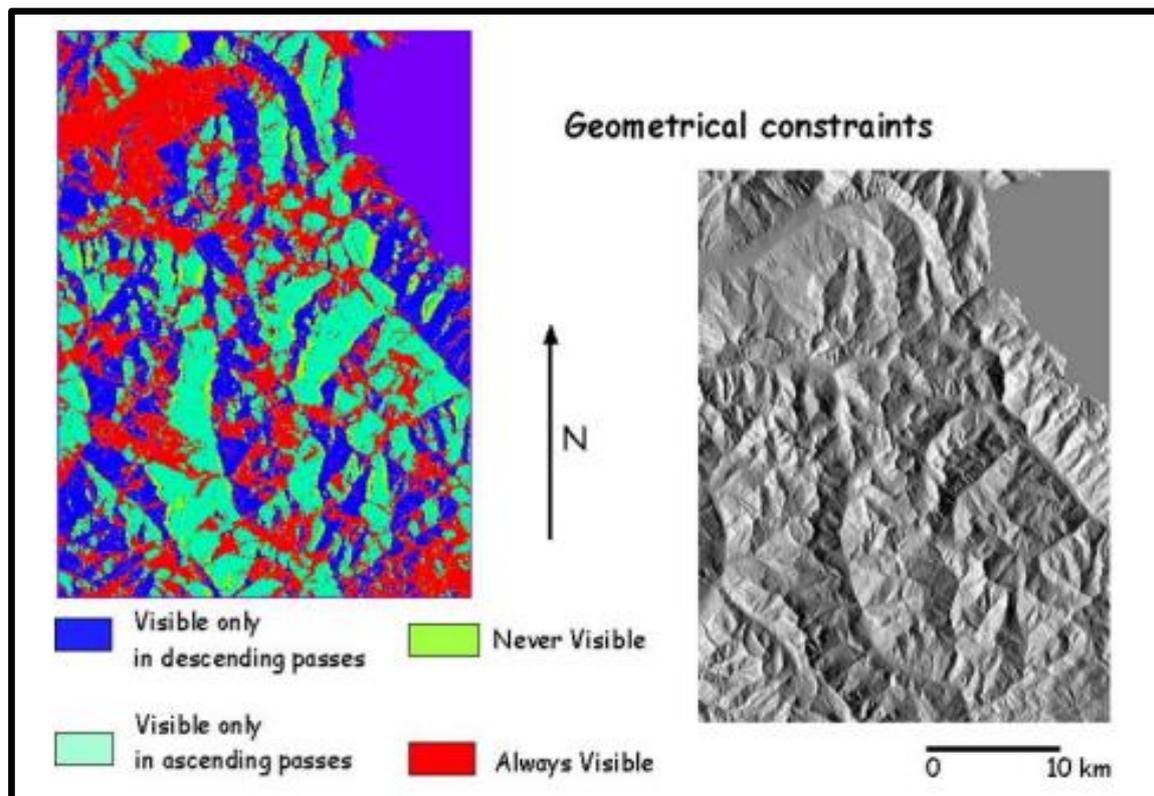


Fig.5.2 Contraintes géométriques d'application de l'INSAR (ERS)

dans les Alpes Françaises

Autre limitation de l'utilisation de l'interférométrie à partir de 2 images : pour détecter le mouvement, on est obligé de supposer qu'il y a eu très peu de modification des états de surface, ce qui n'est évidemment pas le cas dans les zones couvertes de végétation.

Globalement, les couleurs données à l'interférogramme sont uniformes quand le signal est interprétable. Par exemple, le signal enregistré à 1 jour d'intervalle donne une image tout à fait exploitable, tandis que dès qu'on écarte l'intervalle temporel (par exemple 35 jours), certaines zones deviennent difficiles à détecter et que, sur 6 mois, il n'y a plus aucune possibilité d'obtenir du signal dans les zones végétalisées (cf. interférogrammes ci-contre). Cette utilisation est très intéressante, mais seulement dans des cas ponctuels.

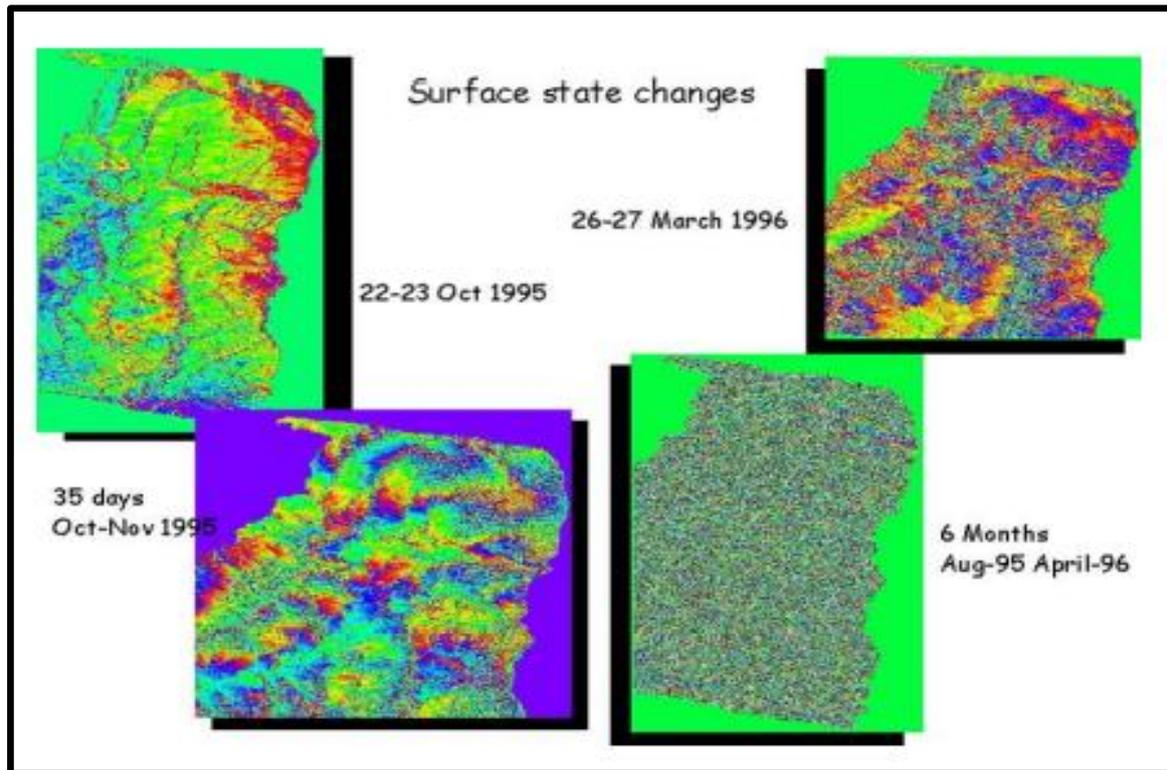


Fig.5.3 Changement d'état de surface

Exemple :

Glissement de la Valette dans les marnes noires stratifiées, à proximité du village de Barcelonnette (Alpes du Sud, France), qui mesure environ 1,5 km de long sur 400m de large.

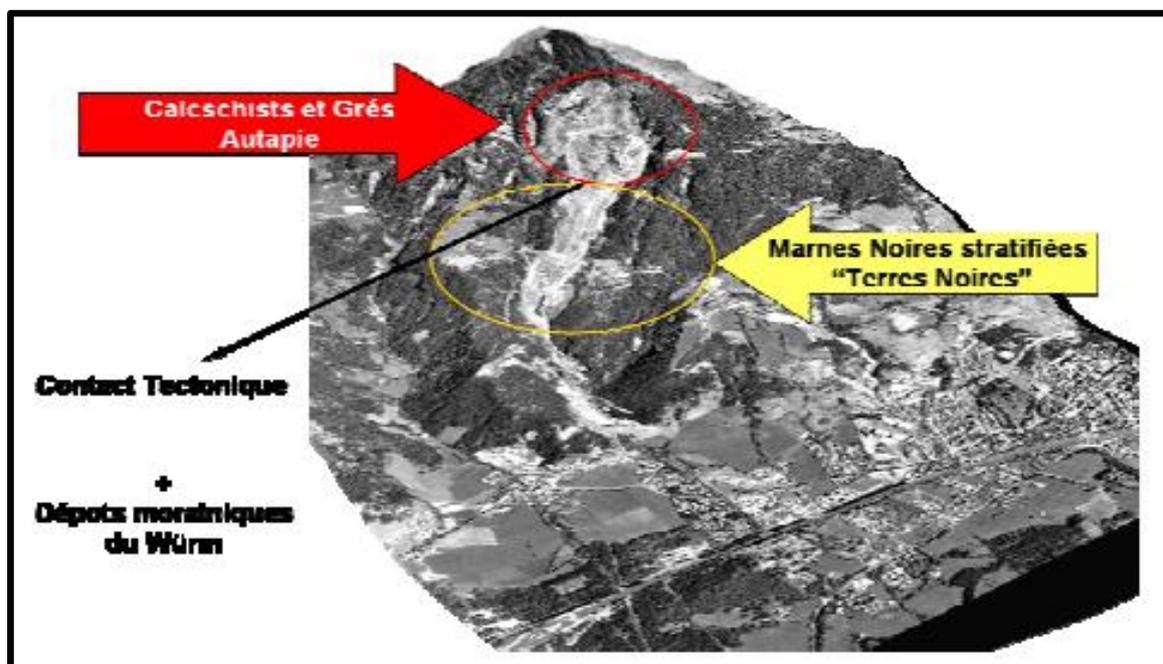


Fig.5.4 Glissement rotationnel de la Valette en 1982 dans les schistes au niveau du contact tectonique

Ce glissement sommital rotationnel a entraîné la déstabilisation progressive de la partie inférieure du glissement, qui est animée d'un mouvement translationnel. Depuis 1982, le glissement « catastrophique » de la partie supérieure s'est transformé en glissement continu et connaît une vitesse moyenne de déplacement de l'ordre de 1 cm/jour (cf. graphique ci-dessous), avec des crises d'accélération, comme l'illustre la carte de déplacement journalier d'un point situé sur ce glissement depuis 1988 (ci-dessous), élaborée grâce à des acquisitions satellites très rapprochées dans le temps.

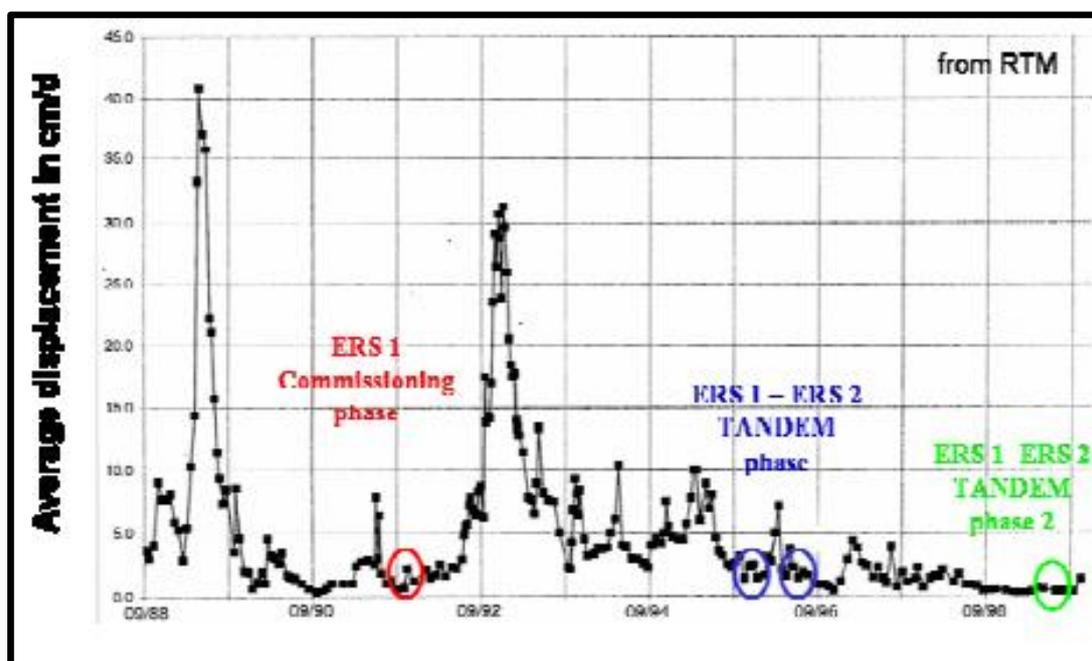


Fig.5.5 Vitesse moyenne de déplacement du glissement
de la Valette entre 1988 et 1998

Cette carte met en évidence les limites précises du glissement, ainsi que le champ de déplacement, qui montre des vitesses plus élevées dans la partie supérieure que dans sa partie inférieure, et une zone avec un point d'ancrage (cercle vert) où il n'y a pas de déplacement.

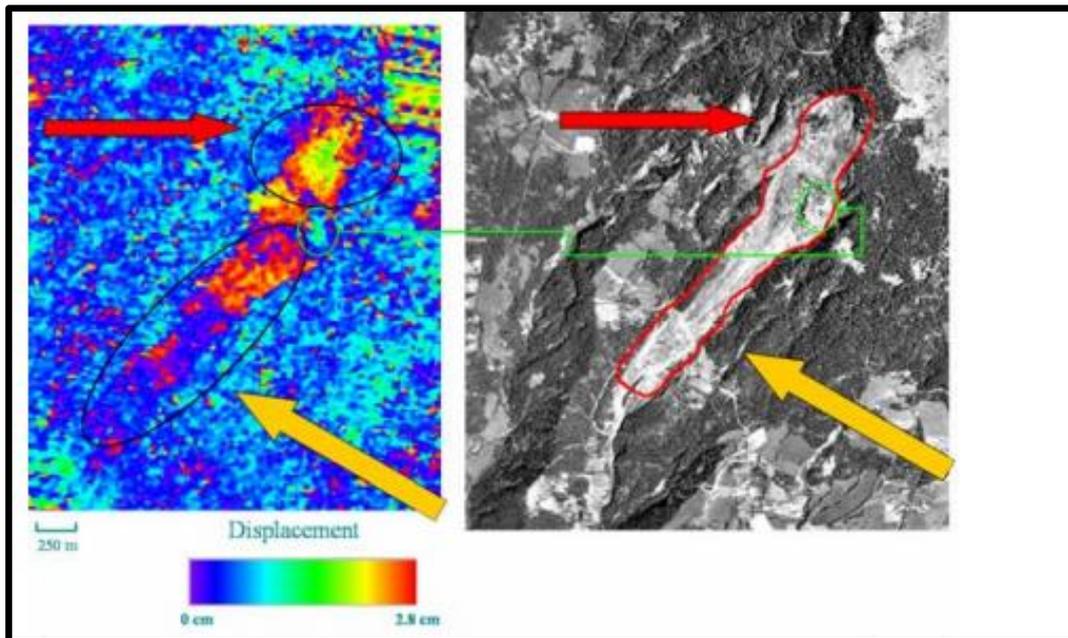


Fig.5.6 Caractérisation des déplacements pour des intervalles de temps court (1 jour)

L'avantage de cette technique est de permettre le suivi de l'évolution saisonnière du champ de déplacement (carte ci-dessous), à l'aide de prises de vue journalières tout au long de l'année. On observe que certaines zones sont plus ou moins actives en fonction de la période de l'année. L'intérêt de la télédétection est ici d'offrir une bonne couverture spatiale et une densité d'information qu'on n'aurait pas avec un seul point de mesure.

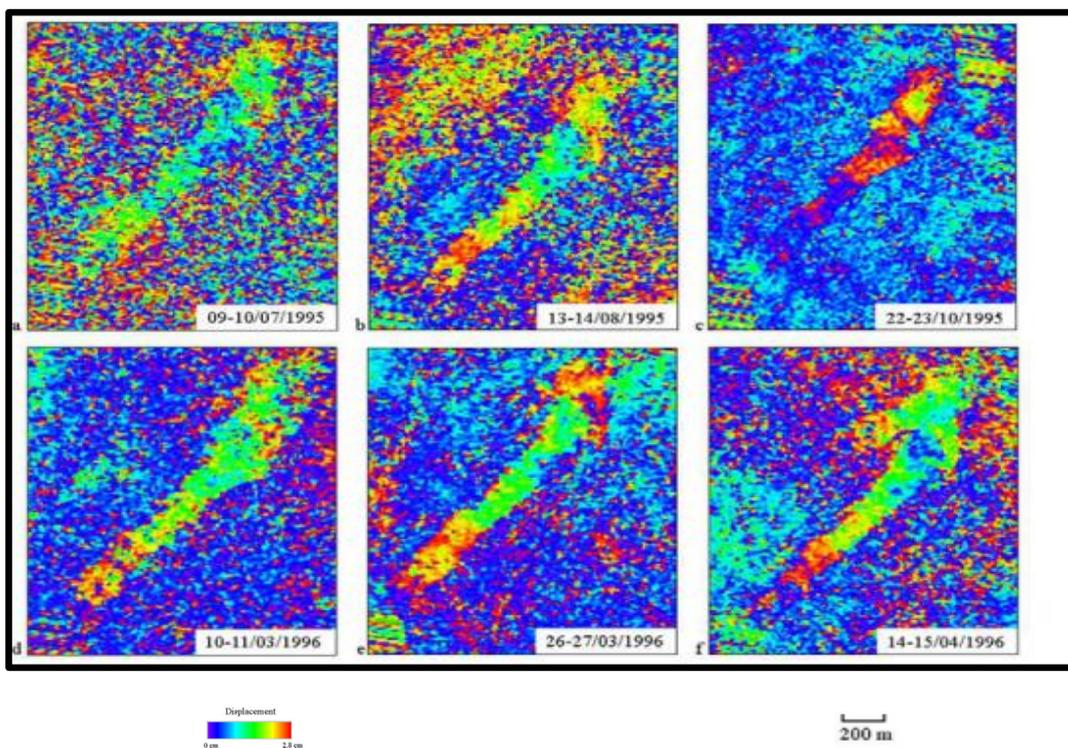


Fig.5.7 Variation saisonnière du champ de déplacement

On peut également suivre le glissement sur une durée de plusieurs années (ci-dessous), mais toujours sur une période précise, entre des dates données.

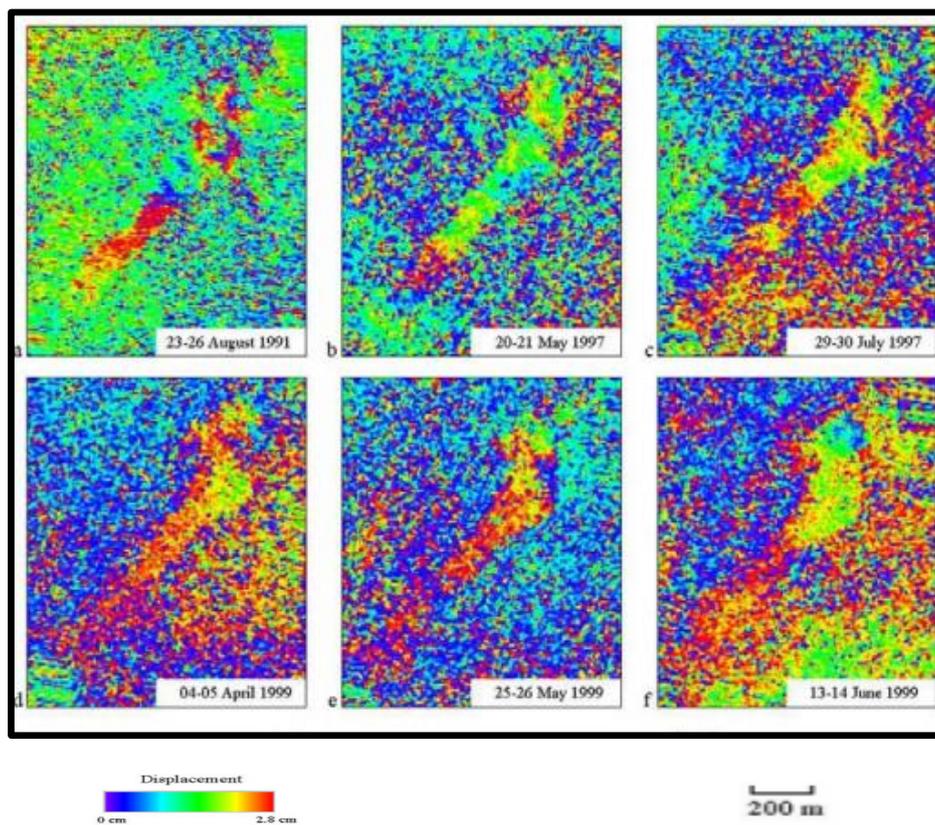


Fig.5.8 Variation Pluri annuelle du champ de déplacement

L'interférométrie permet de rechercher et d'étudier les glissements sur de vastes zones. Par exemple, toujours sur la même image que précédemment, un autre petit glissement de terrain a pu être identifié (images ci-dessous).

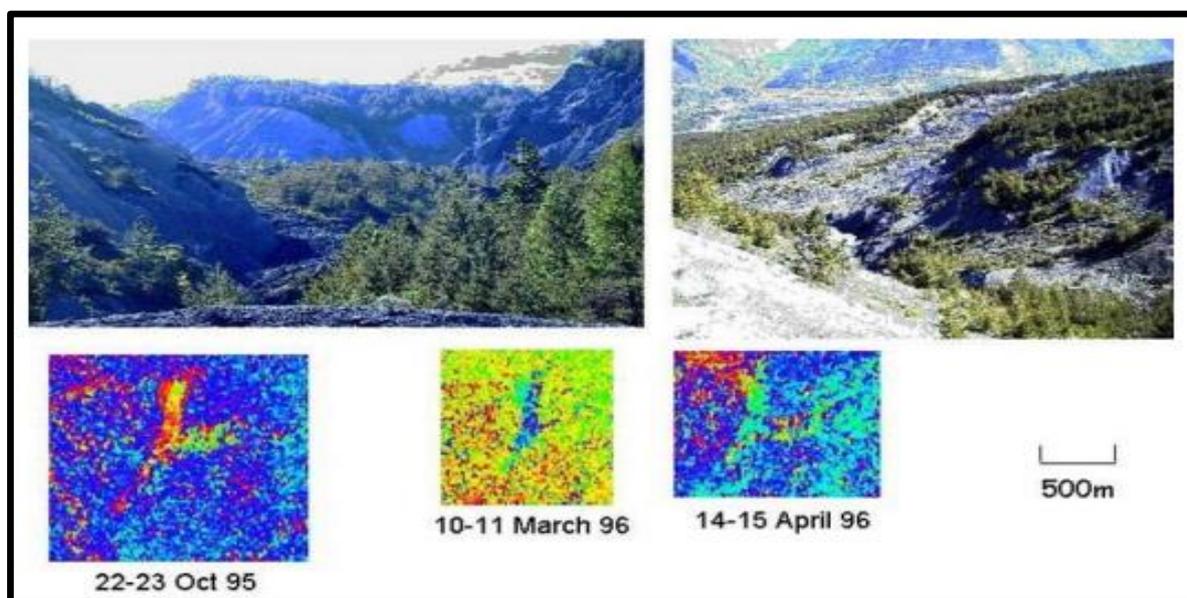


Fig.5.9 Détection de nouveaux glissements (exemple de « Poches »)

5.2.4 Capteurs optiques et corrélation optique

Jusque dans les années 1999, on ne pouvait pas utiliser d’image de télédétection pour caractériser les mouvements gravitaires, parce que la résolution des images satellites de l’époque était de l’ordre de la dizaine de mètres, ne permettant que d’observer de loin les glissements de terrain les plus importants. L’échelle à laquelle il faut travailler pour la majorité des glissements de terrain étant métrique ou sub-métrique, on utilisait principalement des photographies aériennes. Depuis quelques années, cette situation a évolué et les capteurs des satellites actuels offrent désormais une précision métrique.

Exemple

Le glissement de la Clapière, qui mesure environ 1 km de haut par 1 km de large, avec des vitesses de déplacement de l’ordre du centimètre par jour, avec là aussi des crises d’accélération, (figure ci-contre), on dispose de clichés depuis les années 1950 avec une répétitivité de l’ordre de 5 à 10 ans. On a en effet la chance d’avoir en France une archive aérienne extrêmement conséquente.

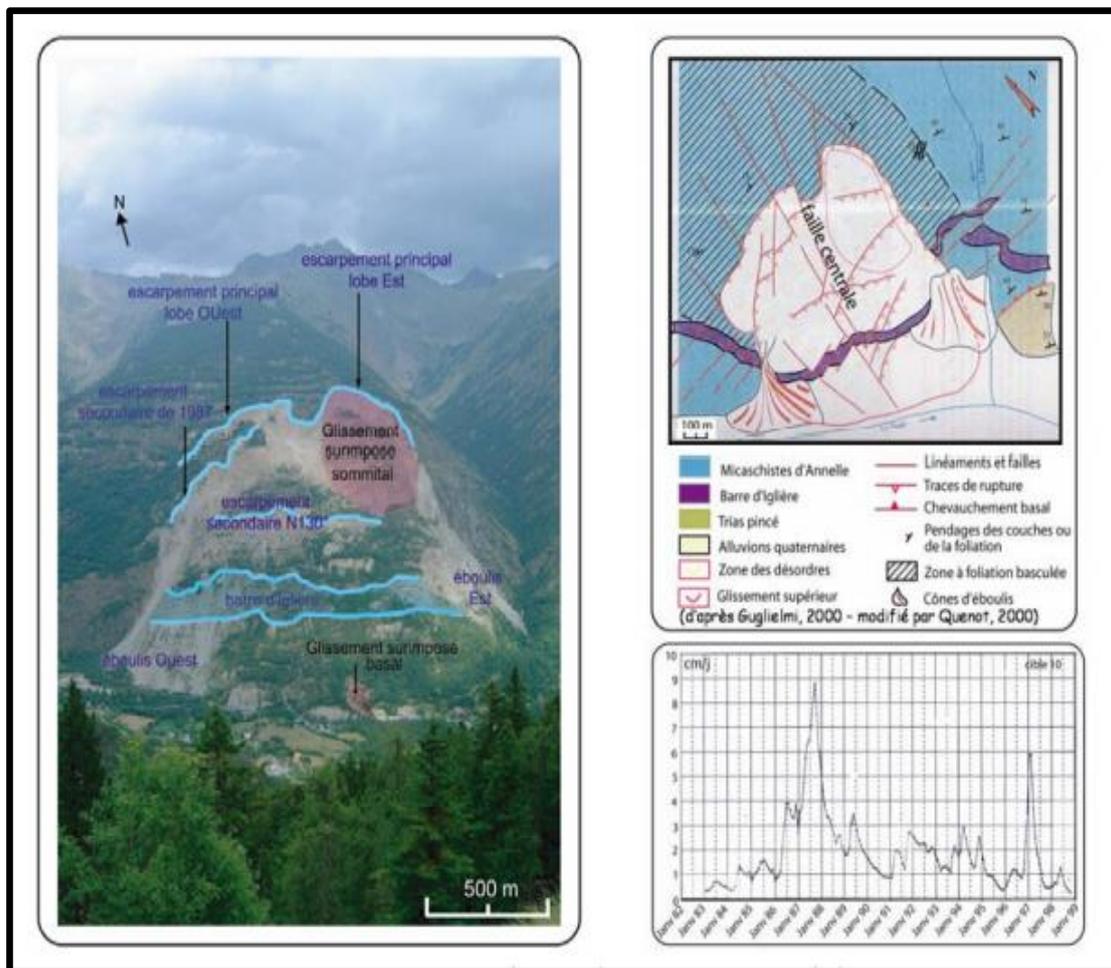


Fig.5.10 Le glissement de la Clapière (Alpes Maritimes, PACA)

5.2.4.1 Principe de corrélation d’images

A partir de ces séries d’images (ci-dessous), on calcule des Modèles Numériques de Terrain (MNT) par photogrammétrie, grâce auxquels les clichés sont ensuite orthorectifiés

(corrections géométriques de l'image projetée en fonction du relief), avant de corrélérer les images entre elles. Ces corrélérations consistent à essayer de retrouver les mêmes objets sur les différentes photographies de façon automatique.

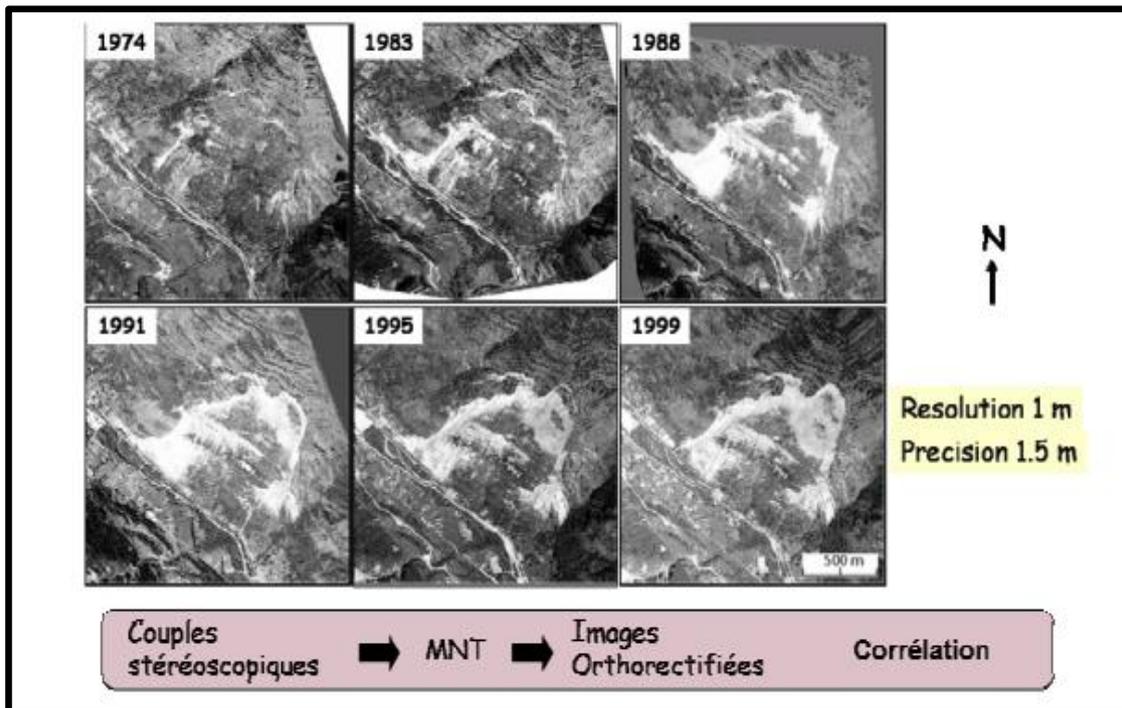


Fig.5.11 Photo aériennes

A partir de deux images prises à des instants différents et une fois le décalage repéré sur ces objets (voir figure suivante), l'opération est répétée sur tous les points de l'image, ce qui permet d'obtenir le décalage de l'ensemble des points entre les deux dates et de produire des cartes d'amplitude du déplacement (valeur du déplacement de chacun des pixels).

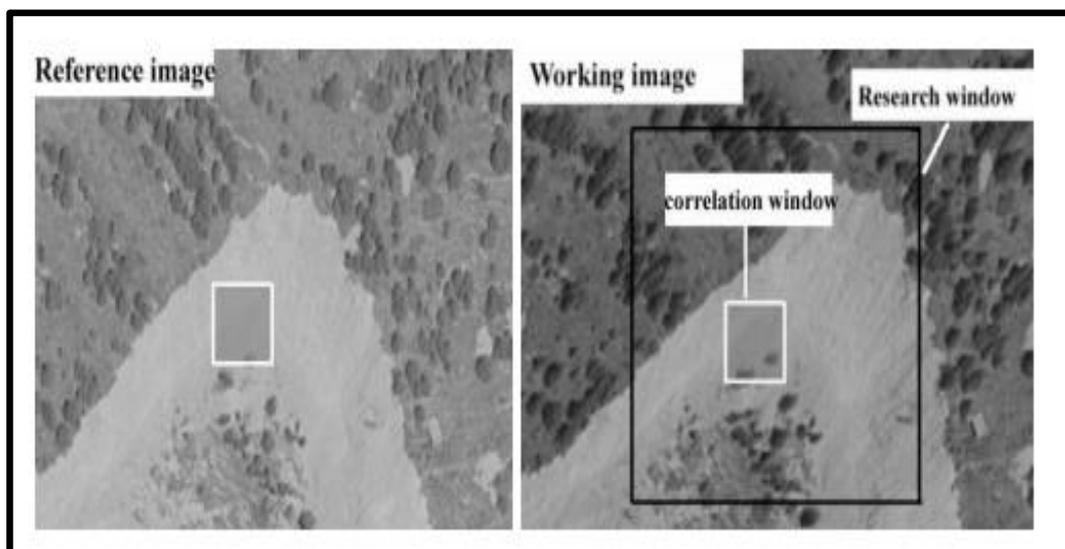


Fig.5.12 Principe de corrélation d'images

Sur l'exemple du glissement de la Clapière, la carte d'amplitude (figure ci-après) met en évidence une variabilité assez importante du mouvement entre 1995 et 1999 avec des

zones sans mouvement dans la partie extérieure (en violet) opposées à des zones en mouvements à l'intérieur du glissement, montrant des vitesses plus importantes dans sa partie supérieure (en rouge) que dans sa partie inférieure (en vert).

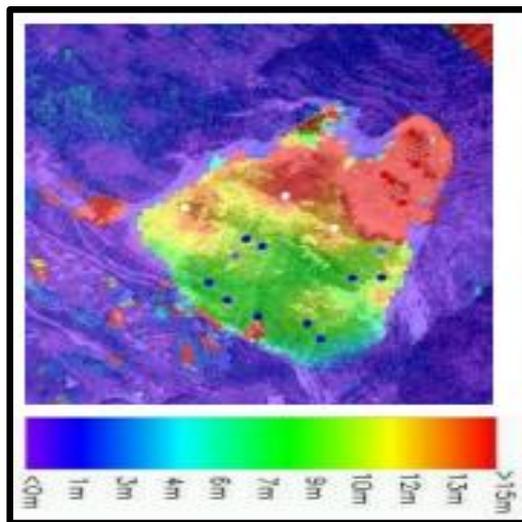


Fig.5.13 Carte d'amplitude

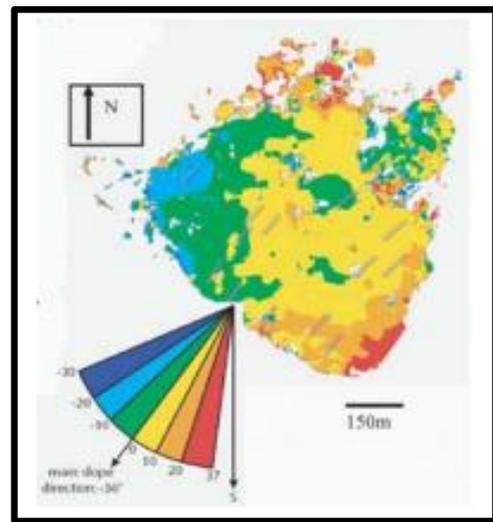


Fig.5.14 Carte de direction

(1995-1999)

Cette carte des déplacements peut être aussi utilisée pour mesurer l'orientation du déplacement en tout point de l'image (à droite). On voit une variabilité forte vers le bas du glissement, où un évasement est lié au transfert de matière dans la partie basse.

En faisant un profil, on obtient les valeurs du déplacement le long d'un segment. L'intérêt de cette technique est de pouvoir caractériser la variabilité spatiale des déplacements de surface, avec la résolution de l'image aérienne, soit tous les mètres. Dans le cas de la Clapière.

Les mouvements sont compris entre 0 et 80 m de déplacement (figure ci-contre). Dans la partie supérieure du glissement, on détecte ainsi des mouvements supérieurs à 80 m entre les deux dates. Dans ce cas, le signal est fortement bruité en raison des déformations internes du glissement. L'intérêt de cette technique est d'offrir une très bonne résolution. Par exemple, dans la partie basse du glissement de la Clapière, on a pu identifier un petit glissement superficiel surimposé, dont la vitesse se superpose à la vitesse du mouvement global du glissement (de l'ordre de 10 m entre les deux dates).

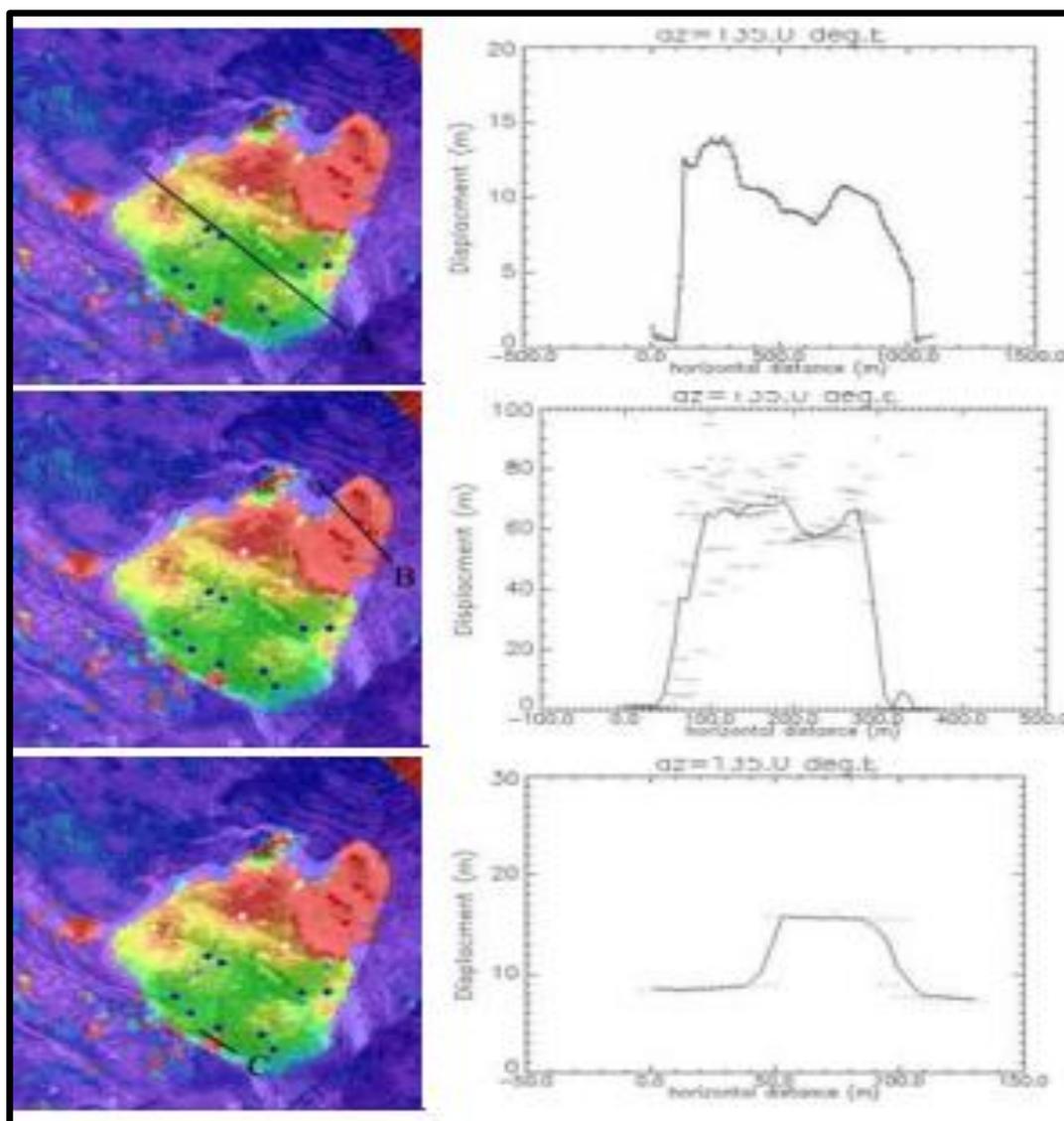


Fig.5.15 Cartes et profils d'amplitude des déplacements selon 3 profils transversaux au glissement de la Clapière

En faisant un profil, on obtient les valeurs du déplacement le long d'un segment. L'intérêt de cette technique est de pouvoir caractériser la variabilité spatiale des déplacements de surface, avec la résolution de l'image aérienne, soit tous les mètres. Dans le cas de la Clapière, les mouvements sont compris entre 0 et 80 m de déplacement (figure ci-contre). Dans la partie supérieure du glissement, on détecte ainsi des mouvements supérieurs à 80 m entre les deux dates. Dans ce cas, le signal est fortement bruité en raison des déformations internes du glissement. L'intérêt de cette technique est d'offrir une très bonne résolution. Par exemple, dans la partie basse du glissement de la Clapière, on a pu identifier un petit glissement superficiel surimposé, dont la vitesse se superpose à la vitesse du mouvement global du glissement (de l'ordre de 10 m entre les deux dates).

L'utilisation de cartes d'amplitude sur toute une série d'images permet d'obtenir des cartes de la variabilité des amplitudes et des vitesses au cours du temps (figure ci-dessous).

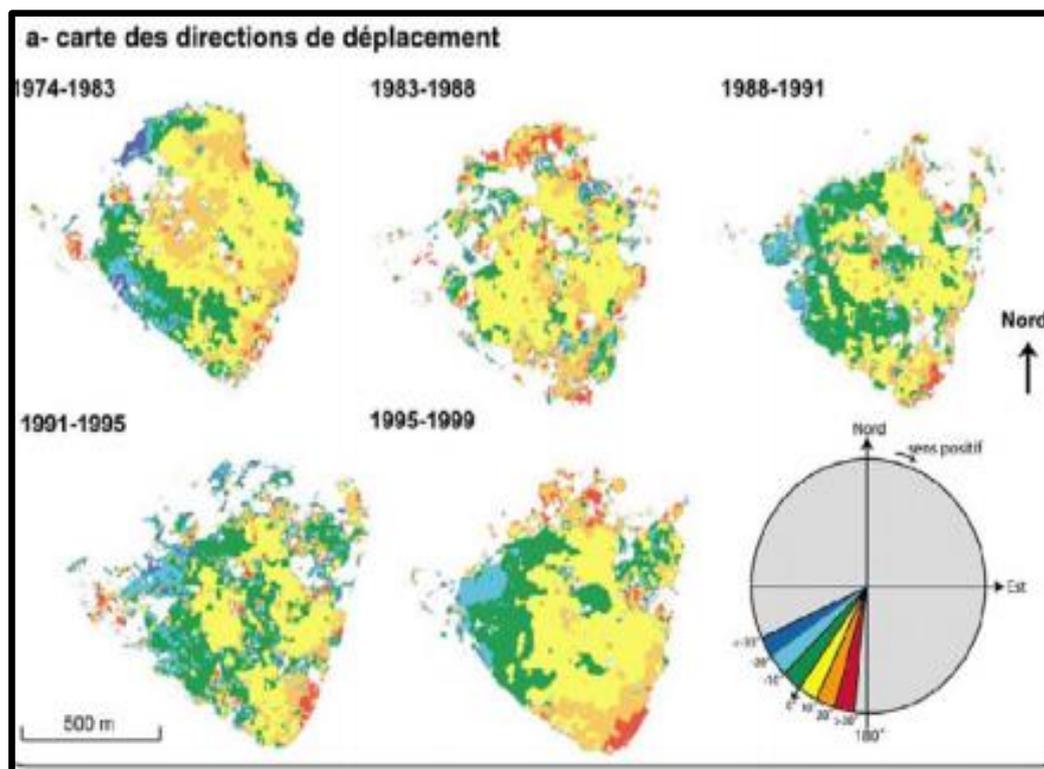


Fig.5.16 Carte des directions de déplacement

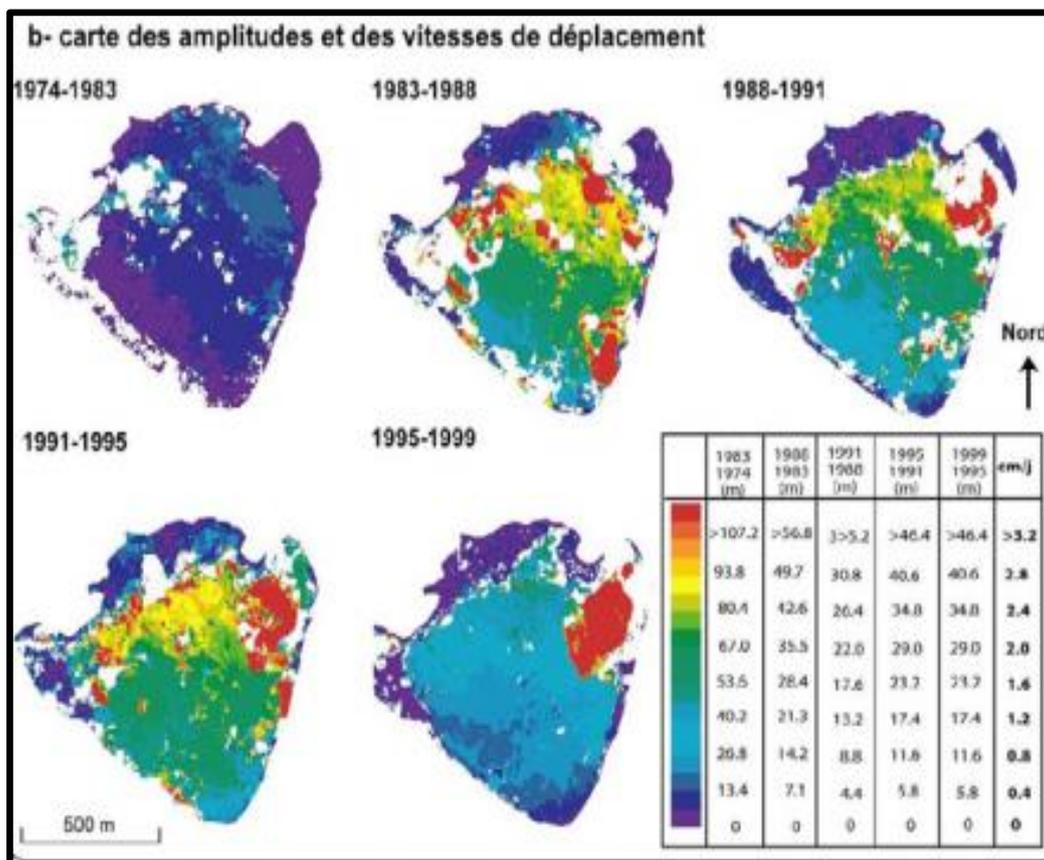


Fig.5.17 Carte des directions de déplacement + vitesse et amplitude

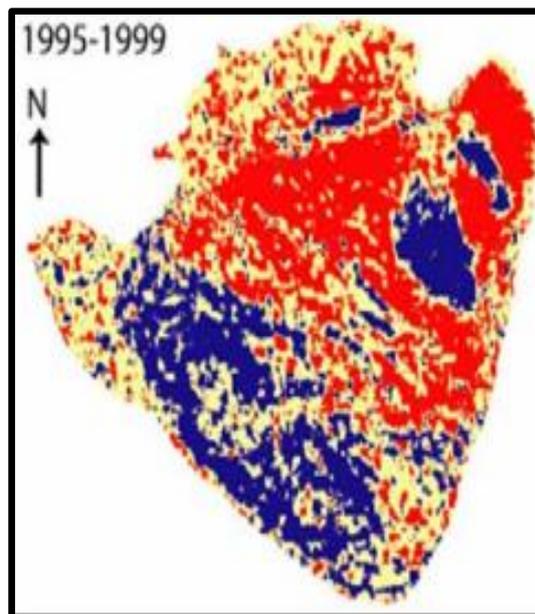
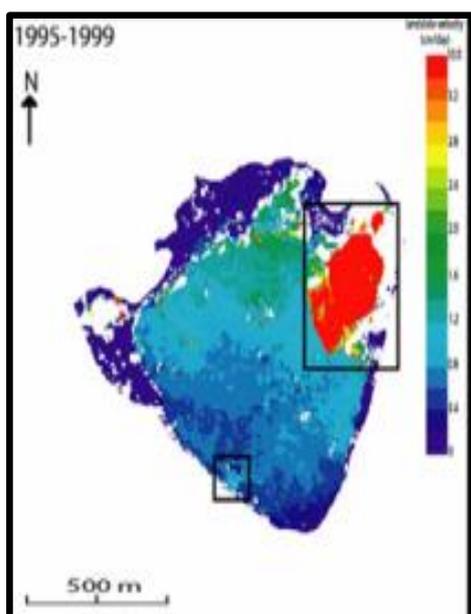


Fig.5.18 Carte de déplacements

Fig.5.19 Carte de différences d'altitudes

De plus, la combinaison de plusieurs MNT permet d'obtenir la variation verticale du mouvement (cf. carte des différences d'altitude, ci-dessus). En la combinant avec la variation horizontale, on obtient le champ de déplacement 3D.

Le problème est que ces images aériennes ne sont disponibles que tous les cinq ans et qu'il faudrait avoir des acquisitions plus rapprochées. Pour le surmonter, on peut combiner une photographie aérienne avec des images satellites de résolutions similaires (d'ordre métrique, par exemple des images QuickBird, ci-dessous).



Fig.5.20 Image aérienne Juillet 1999



Fig.5.21 Image QuickBird Sept 2003

On peut alors faire de la combinaison d'images multi-capteurs et obtenir des cartes de déplacement de la même façon que précédemment (ci-dessous).

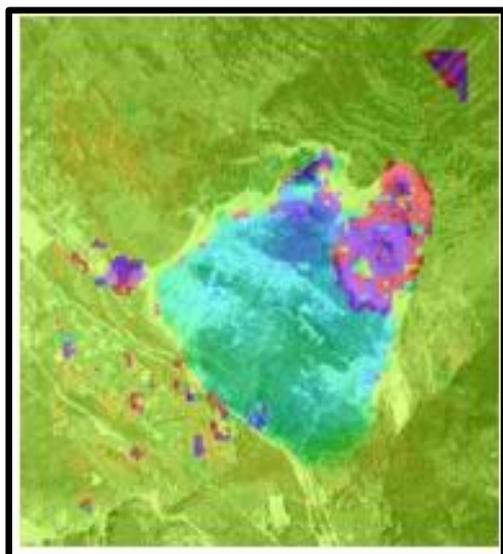


Fig.5.22 IGN-99 / IGN-95

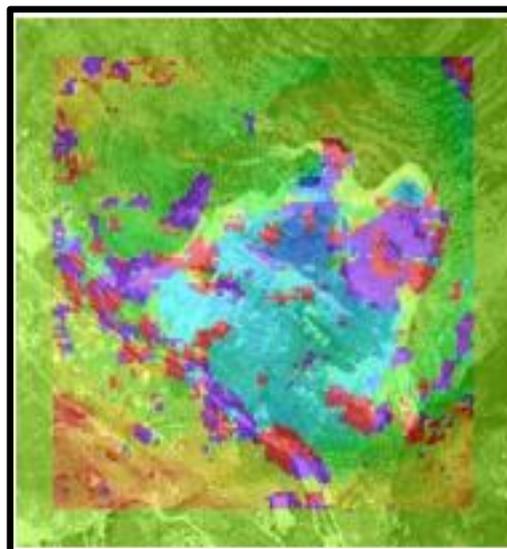


Fig.5.23 QuickBird 2003/ IGN-99

L'avantage des images satellites est de couvrir des surfaces importantes. Dans la zone de 60×60 km couverte par les images SPOT, il y avait 4 glissements de terrain de grande ampleur détectables à cette échelle de travail (figure ci-dessous). Les acquisitions de ces capteurs sont espacées de 28 jours.

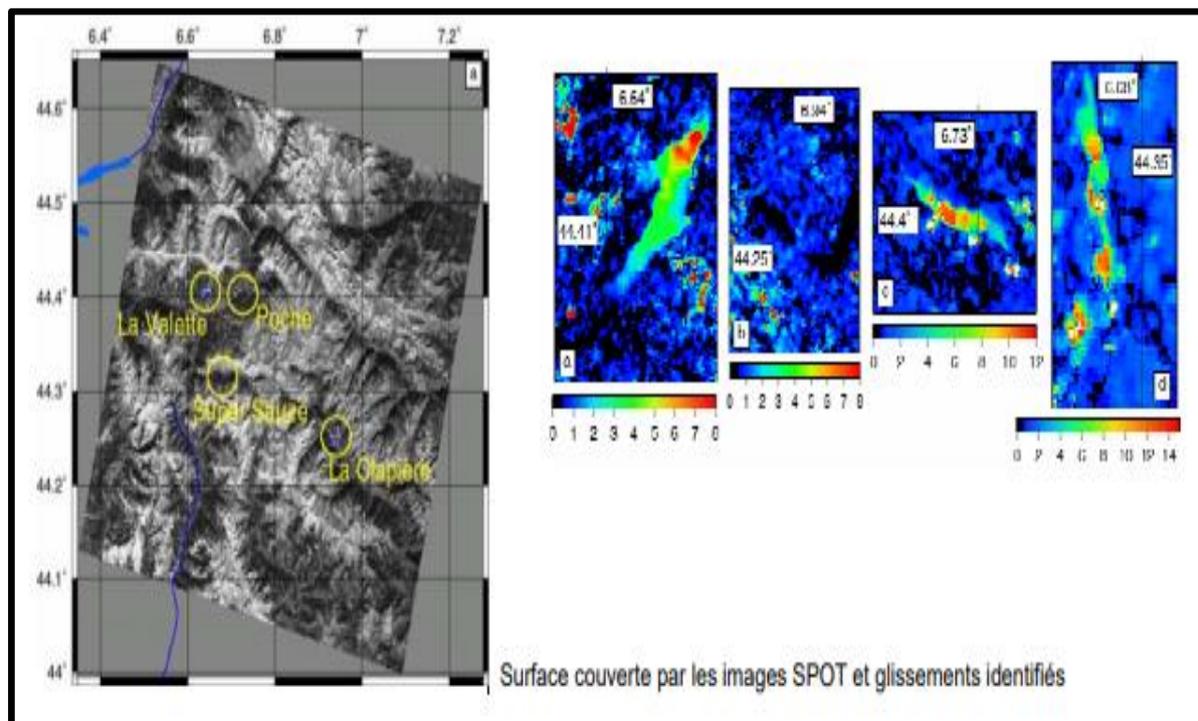


Fig.5.24 Surface couverte par les images SPOT et glissements identifiés

La corrélation optique peut également être utilisée pour faire des mesures en continu, en mettant un appareil photo devant le glissement avec des prises de vues enregistrées avec un pas de temps constant, ce qui permet de suivre l'évolution du glissement.



Fig.5.25 Scanner LIDAR Photogrammétrique

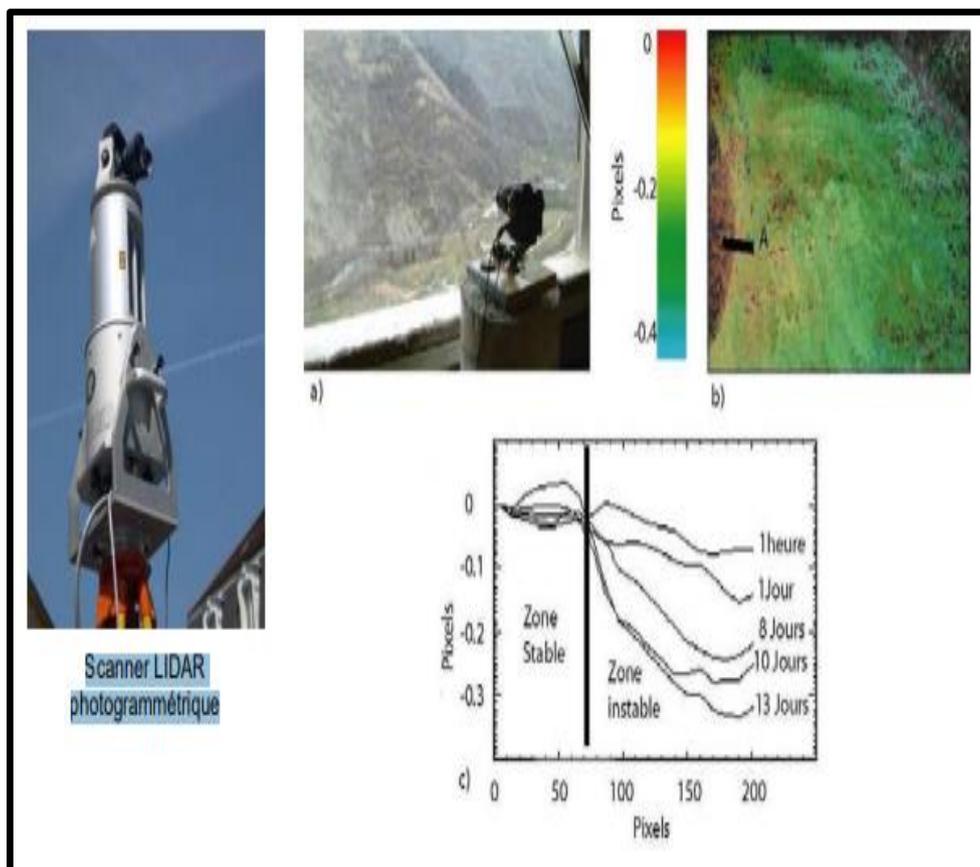


Fig.5.26 Corrélation de Photographies numériques in Situ

Une autre utilisation prometteuse de la corrélation d'images est son utilisation avec un scanner photogrammétrique. Par exemple, on a utilisé deux acquisitions prises en mai et octobre de la même année sur le petit glissement qui se trouve au pied du glissement de la Clapière pour visualiser et quantifier ses mouvements (figure ci-dessous). La difficulté était d'éliminer la végétation, ce qui se fait avec des algorithmes permettant de détecter uniquement le sol sous-jacent (à droite).

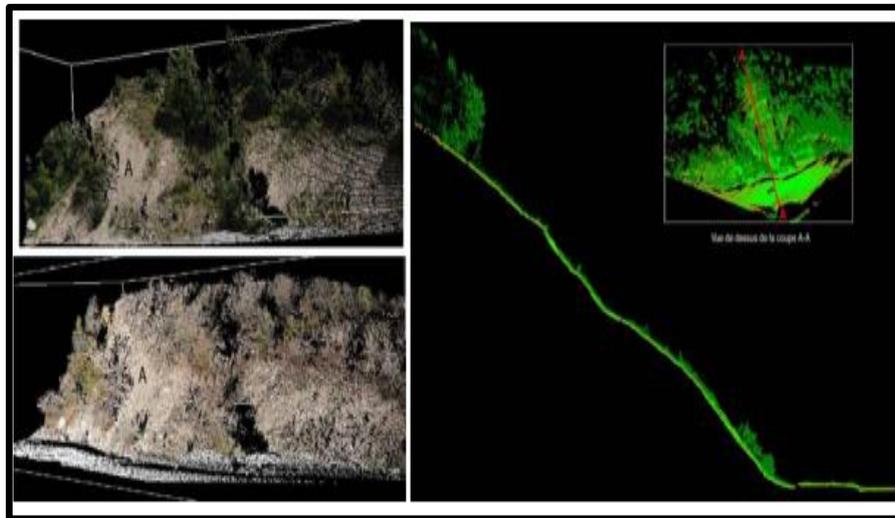


Fig.5.27 Deux acquisitions prises en mai et en octobre de la même année sur le glissement de la Clapière

À l'aide d'un différentiel entre les deux MNT acquis au scanner photogrammétrique, on peut là encore quantifier les mouvements du terrain dans les 3 directions de l'espace.

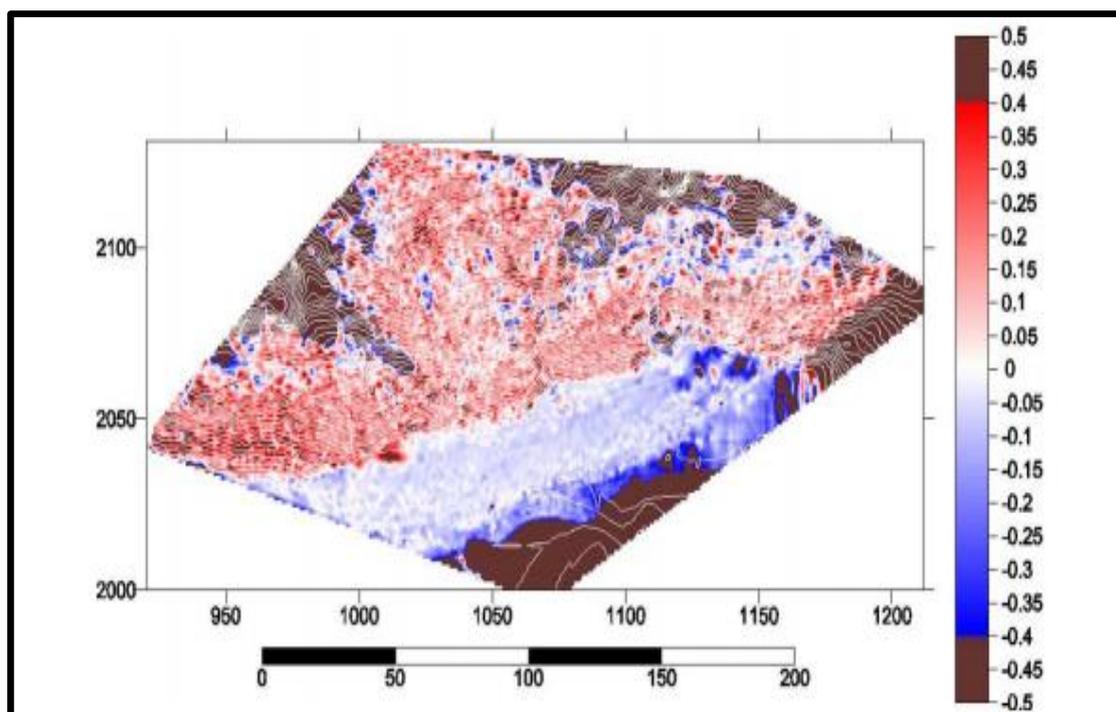


Fig.5.28 Déplacements mesurés entre deux acquisitions au scanner LIDAR photogrammétrique

5.3 les methodes de la télédétection

L’orthophotographies combinées à l’inventaire ‘expert’ ont servis de base à l’étape de photo-interprétation et base au calcul des paramètres d’identification automatique. Les orthophotographies de 04-2018, 11-2018,02 -2019 -05-2021 ont fait l’objet d’un traitement d’image avec PhotoScan pro.

Type de donnée	Nom	date	Résolution /échelle	Secteur géographique
Image	Orthophotographies couleur	04-2018	40m	Didouche Mourad Constantine
		11-2018	50m	
		02-2019	50m	
		05-2021	50m	
Levé topographique	Station topographique de Didouche Mourad Constantine	En cours	Sur tout le site	

Tableau 5.1: Données Sources Utilisées

L’orthophotographies combinées à l’inventaire ont servis de base à l’étape de photo-interprétation.

5.3.1 Hypothèses de départ et méthodologie générale

Un postulat et deux hypothèses de départ ont été établis pour guider les choix méthodologiques :

Postulat : Les indices de reconnaissance sont les mêmes quelle que soit la taille du glissement.

Hypothèse 1 : Les indices de reconnaissance ne sont pas les mêmes suivant les types de glissements. En vertu de cette hypothèse, nous avons mis en place une typologie ‘par photo-interprétation des glissements de terrain.

Hypothèse 2 : Les indices de reconnaissance sont différents pour les glissements en entier que pour les zones d’ablation et d’accumulation. Nous avons donc choisi d’analyser trois types d’entités géomorphologiques à l’échelle régionale : les glissements de terrain en eux-mêmes, les zones d’ablation et les zones d’accumulation.

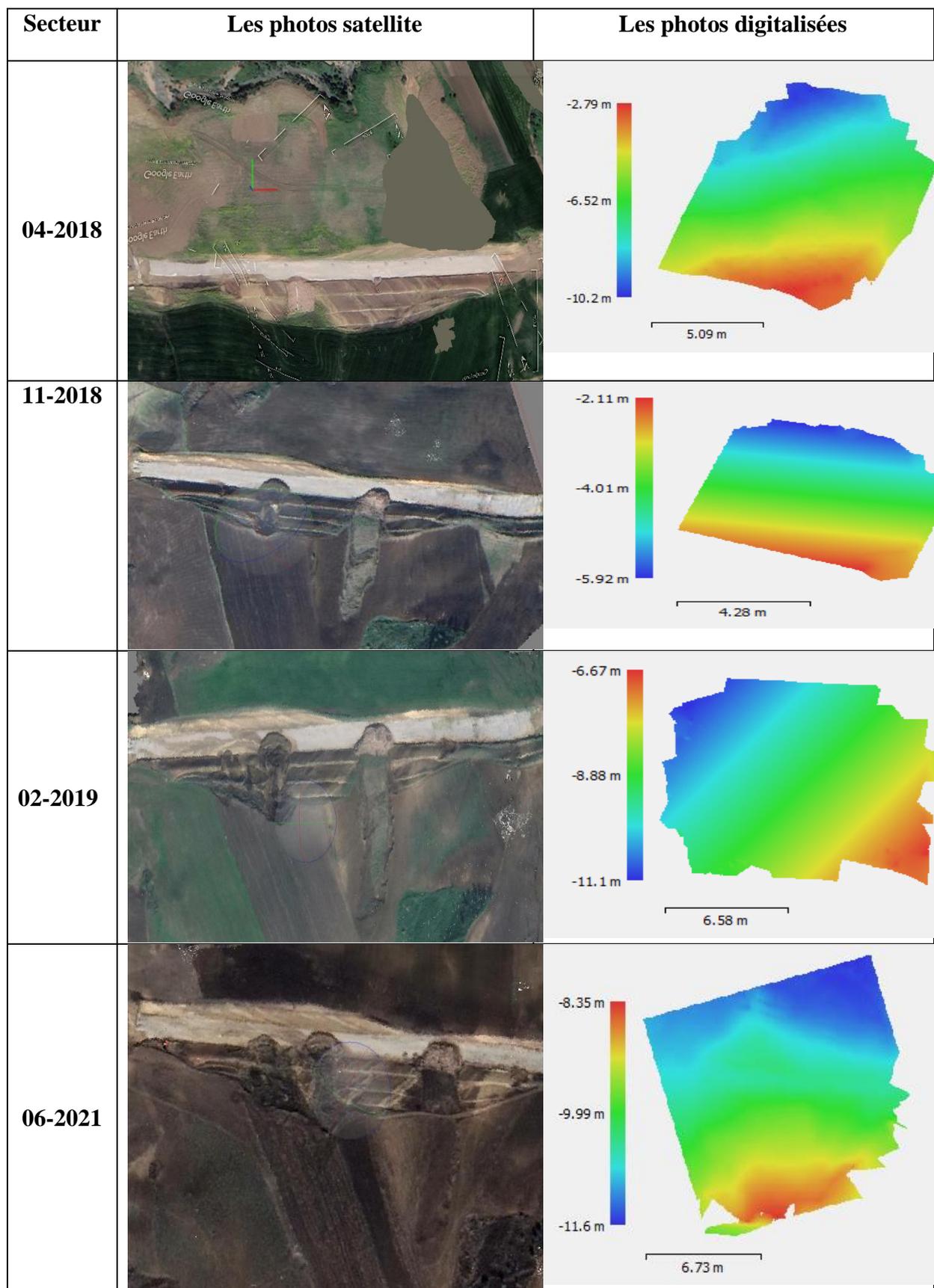


Fig. 5.29 : les photos satellites digitalisé avec PhotoScan pro.

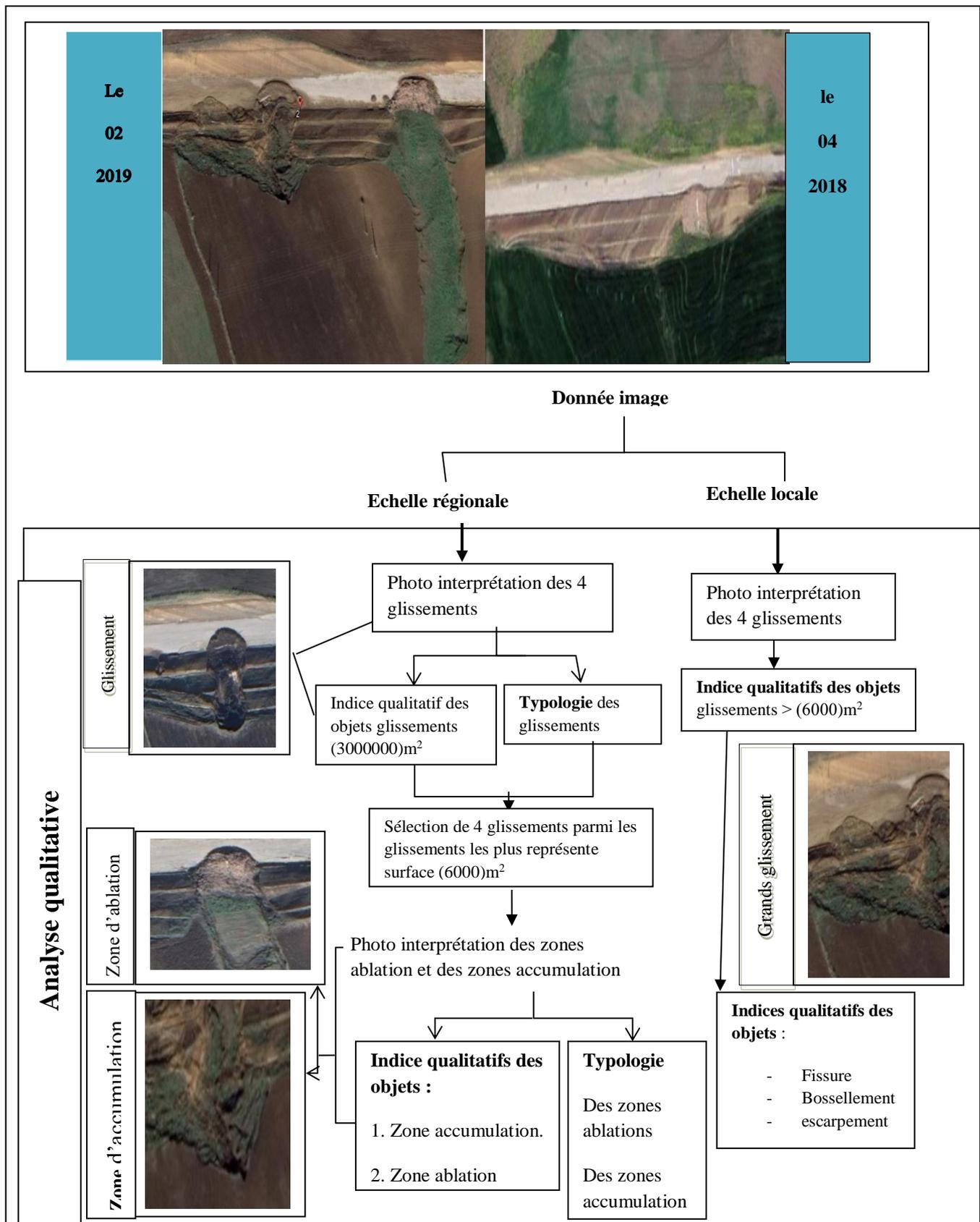


Fig. 5.30: Schéma de présentation de la méthodologie

Dans la présentation de la méthodologie on est passé par trois étapes :

- Détermination d'indices de description des glissements de terrain par photo-interprétation.
- Choix de descripteurs quantitatifs et calcul de valeurs de paramètres correspondants aux descripteurs 'image' pour les glissements de terrain, les zones d'ablations et les zones d'accumulation.
- Définition de règles de classification permettant l'identification automatique des glissements de terrain ou de leurs composantes (zones d'ablation, zones d'accumulation).

Chaque étape est prévue pour pouvoir être réalisée à l'échelle régionale et à l'échelle locale. A l'échelle locale, seule l'étape 1 a été réalisée pour approfondir nos connaissances sur les indices descripteurs de glissements de terrain et repérer les différences à faire par rapport à l'approche régionale. Les étapes 2 et 3 constituent un travail à part entière et pourront être réalisées ultérieurement à cette échelle. A l'échelle régionale, l'ensemble des étapes ont été réalisées et testées.

5.3.1.1 Méthodologie détaillée de l'étape de photo-interprétation (étape 1)

L'étape 1 a consisté à déterminer des **indices qualitatifs** de reconnaissance et de caractérisation des glissements de terrain à partir (1) des **indices descriptifs** des mouvements de terrain recensés dans la littérature scientifique et (2) de la **photo-interprétation** des glissements de terrain sur les orthophotographies couleur de 04-2018 , 11-2018 ,02-2019 ,05-2021 A l'échelle régionale (au vue de l'hypothèse n°2) trois types d'objets ont été analysés : les 'glissements de terrain' dans leur totalité, les 'zones d'ablation' et les 'zones d'accumulation'

5.3.1.1.1 Résultats de l'étape de photo-interprétation

5.3.1.1.2 Indices de glissements de terrain retenus et grilles de photo-interprétation

a) A l'échelle régionale

Deux types d'indices ont été distingués sur chaque grille :

5.3.1.1.2.1 des indices quantitatifs

Récupérés de la base de donnée des caractéristiques morphométriques des glissements et de leurs zones d'ablation et d'accumulation (surface, longueur, largeur, indice de compacité), et des indices qualitatifs.

5.3.1.1.2.2 Les indices qualitatifs

Retenus peuvent être répertoriés en plusieurs catégories :

Des indices d'occupation du sol : pourcentage de couverture de la surface du glissement par un type d'occupation du sol (conifères, feuillus, pelouse, sol nu ou marnes noires) et densité de la végétation.

Des indices descriptifs de l'état de dégradation de la surface (présence de fissures, bossellement) et de texture (homogénéité/hétérogénéité de la réponse spectrale de la surface).

Des indices de visibilité de composantes des glissements de terrain (zone d'ablation, zone d'accumulation, escarpement de tête, escarpement mineur, bourrelets) ou des limites avec

l'environnement ou entre composantes (limite zone d'ablation/zone d'accumulation, limite amont de la zone d'ablation, limite aval de la zone d'accumulation).

Des indices de proximité (proximité à un cours d'eau, proximité à une route).

	Glissements de Didouche Mourad	
	Le 04-2018	Le 05-2021
Présence de végétation	<50	<50
Fissures	Non visible	Visible
Limite zone de glissement	Non visible (limite nette entre les deux zones, marquée soit par une zone de sol nu dans la végétation, soit par un net changement d'occupation du sol d'une zone à l'autre)	Bien visible (limite nette entre les deux zones, marquée soit par une zone de sol nu dans la végétation, soit par un net changement d'occupation du sol d'une zone à l'autre)
Proximité cours d'eau	Aucun cours d'eau à proximité	cours d'eau à proximité

Tableau 5.2 Extrait de la grille de photo-interprétation des deux glissements

b) A l'échelle locale

Le tableau 2 présente un extrait de la grille de photo-interprétation des 'grands glissements'. Les six grandes catégories d'indices recensés dans cette recherche.

1. Pour la **description de l'escarpement de tête**, la dégradation de la couronne, la forme de la couronne et la présence de cônes d'éboulis.
2. Les **éléments du relief** que nous avons retenus pour la grille de photo-interprétation sont le type et la visibilité des ravines ('rills' ou 'bad lands'), la dégradation et la densité des crêtes 'in-situ', la présence d'escarpements secondaires, de glissements secondaires et la présence et l'état de dégradation des levées latérales.
3. **L'état de surface** est décrit par la présence et la densité de blocs, la présence et la densité de fissures transversales et longitudinales, la présence et la densité des zones de bossellement.
4. Les **formations et dépôts de surfaces** sont décrits par les pourcentages de marnes, de marnes blanchies et de couvert morainique et par la visibilité de dépôts de laves torrentielles.
5. Nous avons pu décrire le **couvert végétal** par des pourcentages de couvert herbacé discontinu et de couvert moyennement dense à dense.
6. Pour le **réseau de drainage**, la présence d'écoulements superficiels est visualisable.

Indice	Description des classes			
	G1	G2	G 3	G4
Ravines de type 'rills'	Absence	Visible	visible	Visible
Crêtes : dégradation	Absence	Recouvertes (présence de crêtes dans la zone d'ablation ou émergeant de la coulée dans la zone d'accumulation (in-situ), recouvertes par de la végétation	Recouvertes (présence de crêtes dans la zone d'ablation ou émergeant de la coulée dans la zone d'accumulation	nues, saillantes (crêtes dénudées lisses, de texture homogène)
Fissures transversales	non visibles	visibles, densité moyenne à forte	visibles, densité faible	non visibles
Bossellements	visible, densité faible	visible, densité moyenne à forte	visible, densité faible	absence
Bourrelets latéraux (levées)	Absence	non visibles	non visibles	Visible, émoussé

Tableau 5.3 : Extrait de la grille de photo-interprétation les glissements' (surface > 100000m²).

G1 : le 04-2018

G2 : le 11-2018

G3 : le 02-2019

G4 : le 05-2021

5.3.1.1.3 Typologies photo-interprétation et sélection des 4 glissements représentatifs (échelle locale)

La photo-interprétation des 04 glissements a révélé que quatre grands paramètres permettraient de classer les glissements de terrain par photo-interprétation : la surface, la forme, l'occupation du sol et la texture. Du fait du postulat de départ, nous avons choisi de ne pas utiliser le paramètre surface. Les indices '**occupation du sol**' et '**texture**' ont été utilisés pour mettre en place les trois typologies par photo-interprétation avec 4 types 'pi' de glissements de terrain (tableau 3), 4 types 'pi' de zones d'ablation et 4 types 'pi' de zones d'accumulation.

Le tableau montre la typologie 'pi' des glissements choisis.

Glissement	photo-interprétation (Pi)	Description
04-2018		
11-2018		
02-2019		<p>Couvert végétal des terrains agricole, moyennement dense à dense comportant des zones de sol nu. la surface et le volume de glissements augmentent</p>
05-2021		

Légende

(Pi) : photo-interprétation Zone d'ablation Zone d'accumulation

Tableau 5.4 : Typologie des glissements de terrain par photo-interprétation réalisée à partir de l'observation des 04 glissements.

5.3.1.2 Etape de calcul des paramètres quantitatifs (étape 2)

L'étape 2 a compris deux tâches :

- la traduction des indices qualitatifs déterminés dans l'étape 1 en **indicateurs quantitatifs**.
- Le calcul de paramètres utilisés par le logiciel 'PhotoScan', correspondants aux indicateurs quantitatifs pour les 04 glissements de terrain 'représentatifs'.

5.3.1.2.1 Traduction quantitative des indices qualitatifs

L'indice 'occupation du sol', utilisé pour la photo-interprétation et la typologie lors de l'étape 1, a été caractérisé par des **indicateurs spectraux**, la couleur permettant le mieux de différencier les types d'occupation du sol.

Pour les indices de texture, de densité de végétation et d'état de surface, des indicateurs texturaux nous sont apparus adaptés pour la reconnaissance automatique. La taille des fissures et des zones de bossellement étant trop petite par rapport à la résolution des orthophotographies, nous les avons classés comme des indices d'hétérogénéité et donc aussi caractérisés par des indicateurs de texture.

Indice de photo-interprétation	Indicateur quantitatifs
Surface	Forme
Longueur	
Volume	
Occupation de sol	Caractéristique spectrale
Densité de végétation de sol	
Texture	Texture
Bossellement	
Visible de la zone d'accumulation	Paramètre de voisinage (différence entre l'objet et son environnement)
Visible de la zone d'ablation	
Visible limite zone d'ablation /zone d'accumulation	
Proximité à un cours d'eau	Caractéristique topologique
Proximité à une route	

Tableau 5.5 : Mise en correspondance des indices qualitatifs des grilles de photo-interprétation et des indicateurs quantitatifs utilisables en traitement d'image.

5.3.1.2.2 Calcul des paramètres “Photo Scan”

Glissement Didouche Mourad Constantine	Le modele 3D :04-2018	Le modele 3D :11-2018
		
	Le modele 3D : 02-2019	Le modèle 3D :05-2021
		

Tableau 5.6 : Model de glissement avec Photo Scan pro

L'utilisation du programme PhotoScan pro nous a permis de mesurer la surface et le volume d'effondrement étudiés, ces paramètres sont résumés dans le tableau suivant:

Zone d'étude	date	La surface (m²)	Le volume (m³)
Didouche Mourad Constantine	04.2018	206.57	15.40
	11.2018	212.68	15.86
	02.2019	228.57	17.04
	05.2021	249.34	18.59

Tableau 5.7 : Mesure de la surface et le volume d'effondrement étudiés

5.4 Conclusion

L'étude géotechnique a permis de tracer un levé topographique du site de glissement en plan et en coupe, ce qui a permis de visualiser la morphologie de ces glissements et son prolongement dans le sol.

Nous avons pu obtenir la surface et le volume de glissement préalablement choisi avec le logiciel PhotoScan pro dans différentes périodes, les résultats montrent que ces glissements grandissent chaque année et cela est dû probablement aux facteurs climatiques et aux facteurs anthropiques.

6.1 Introduction

Le passage de l'état de stabilité à l'état d'instabilité d'un terrain en pente a de causes nombreuses et variées : géologiques, morphologiques, physiques et anthropiques ou humaines.

La présente partie, traite la vulnérabilité d'un site sujet à des problèmes d'instabilité qui se trouve entre le profil 241 et le profil 255 qui fait partie du projet de raccordement de la RN03 vers l'échangeur de l'Autoroute Est Ouest au niveau de Didouche Mourad.

6.2 Reconnaissance du site

6.2.1 Situation topographique

Le projet de raccordement s'étale sur 08Km environ. Le tracé est situé au Nord Est de la commune de Didouche Mourad. Il débute à environ 1km au Nord de Mechetat El Guerab et se poursuit au Sud-Ouest, à environ 5Km, de la commune de Zighoud Youcef.

La section, objet de cette étude, est comprise entre le profil 249 et le profil 255. Les coordonnées topographiques correspondantes sont les suivantes :

X249 = 290853m E	X249 = 290652m E
Y249 = 4041565m N	Y249 = 4041545m N

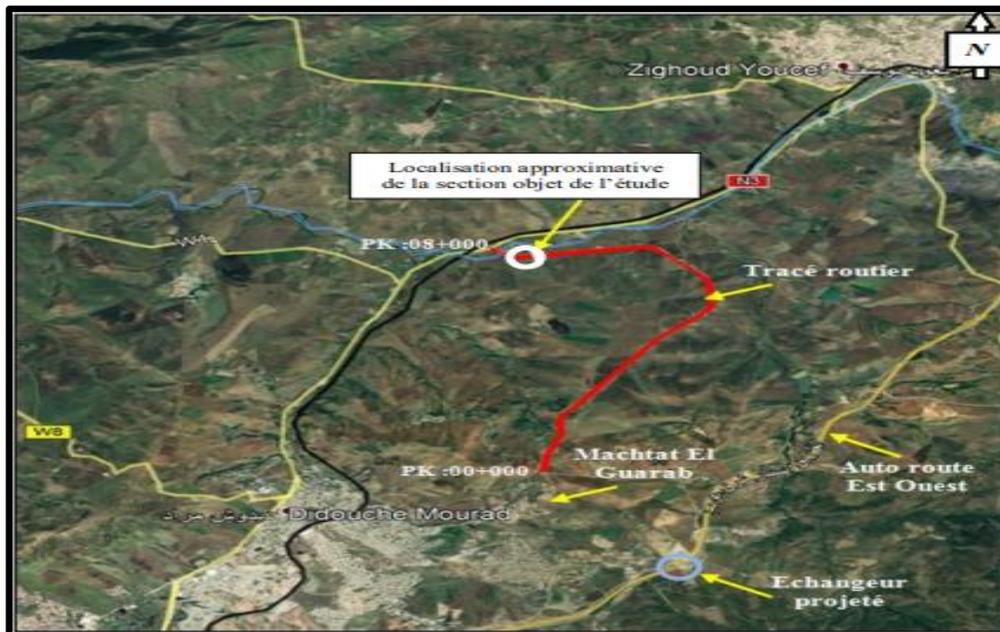


Fig.6.1 Localisation approximative du tracé sur une Photos Google Earth

6.2.2 Contexte géologique et hydrologique

6.2.2.1 Géologie locale

D'après la Carte géologique de Zighoud Youcef au 1/50 000, la région à laquelle appartient le terrain, objet de l'étude, englobe les formations stratigraphiques suivantes :

Argile et grès du Smendou (m_a^1): Alternances d'argiles noires, de calcaires marneux gris bleux et de grès fins jaunâtres. L'ensemble renferme du gypse en abondance.

Alluvions anciennes des vallées actuelles (q^1): terrasses de limons et de cailloux roulés.

Alluvions anciennes des plateaux ($q//$): dépôts caillouteux qui couronnent les collines de la rive gauche de oued Smendou.

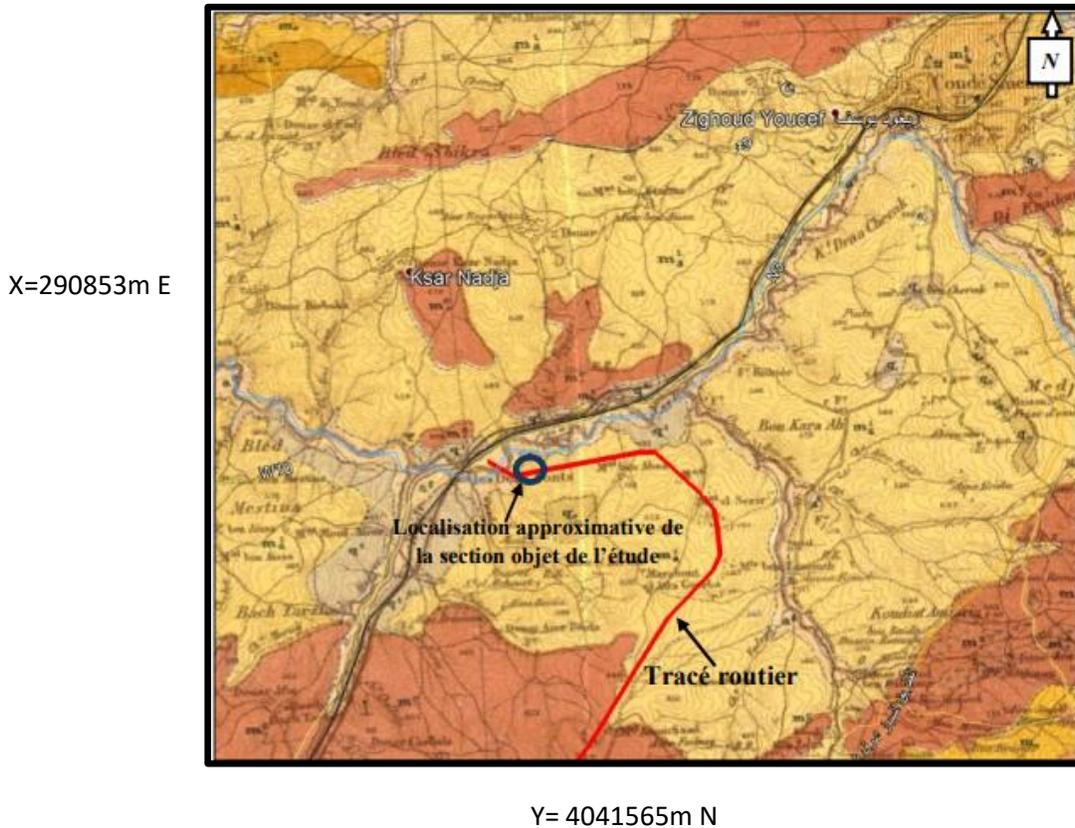
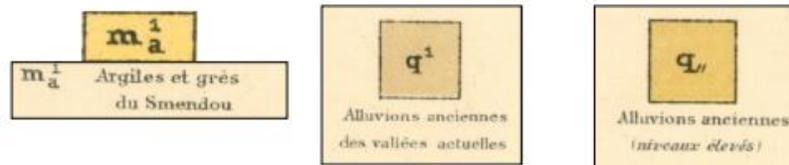


Fig.6.2 Carte géologique de Zighoud Youcef au 1/50 000

Legend



6.2.2.2 Hydrologie locale

D'après la carte topographique de Constantine au 1/50 000ème, le réseau hydrographique de la région est caractérisé par de multiples cours d'eau temporaires qui drainent naturellement le versant. Leur évacuation est assurée par un exutoire naturel (Oued Smendou).

Le site présente un grand bassin de réception des eaux, vu sa localisation en contre bas d'un bassin versant.

Le site est caractérisé par la présence de plusieurs sources (03 sources) qui se succèdent, globalement, sur le même alignement, enregistrées au niveau du versant situé en amont de la zone en désordre. La 1 ère source se situe à environ 700m de celui-ci.

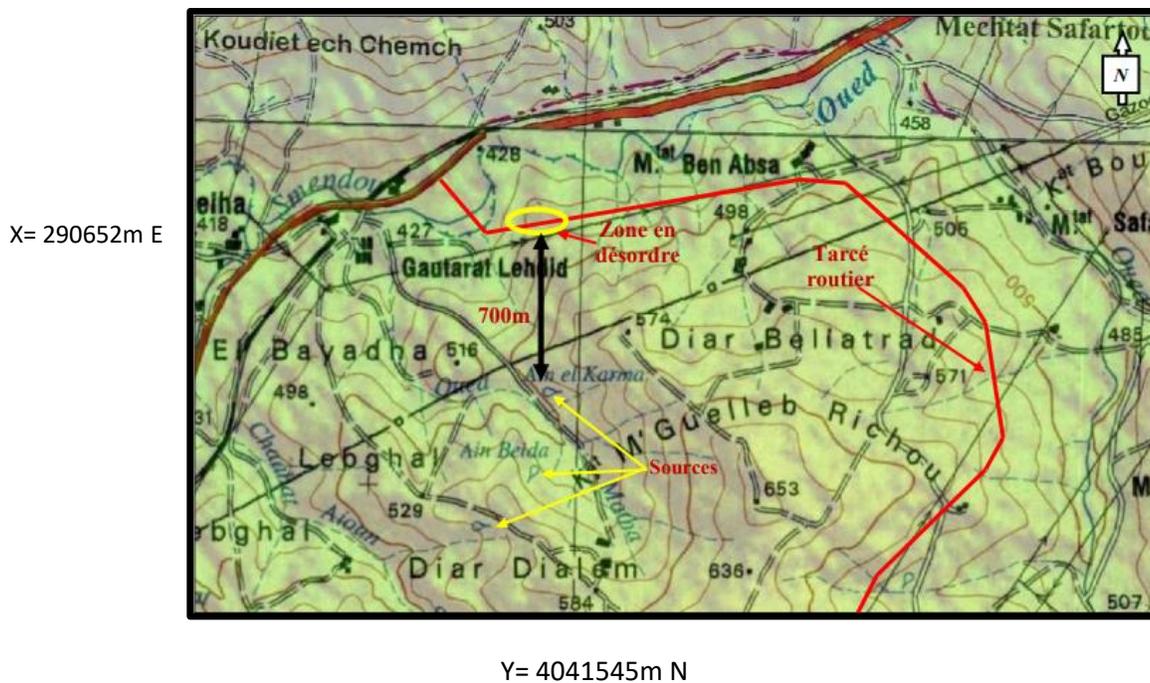


Fig.6.3 Projection du raccordement sur la carte topographique

De Constantine Échelle : 1/50 000

6.3 Reconnaissance visuelle des lieux

6.3.1 Historique du site

Selon la photo Google Earth prise en mois d'Avril 2018, aucun désordre n'a été enregistré après le reprofilage du talus en déblais situé entre le profil 241 et le profil 255.



Fig.6.4 Photo Google Earth prise en mois d'Avril 2018

En Novembre 2018 une déstabilisation ponctuelle de ce talus reprofilé a été enregistrée en premier lieu particulièrement au droit de la zone comprise entre le profil 249 et 250. La déstabilisation s'est étalée, par la suite, sur son flanc gauche et entre le profil 245 et 246 à l'aise apparaître un chemin préférentiel des eaux, qui a créé une dépression dont les abords immédiats ont été déstabilisés par érosion.



Fig.6.5 Photo Google Earth –November 2018

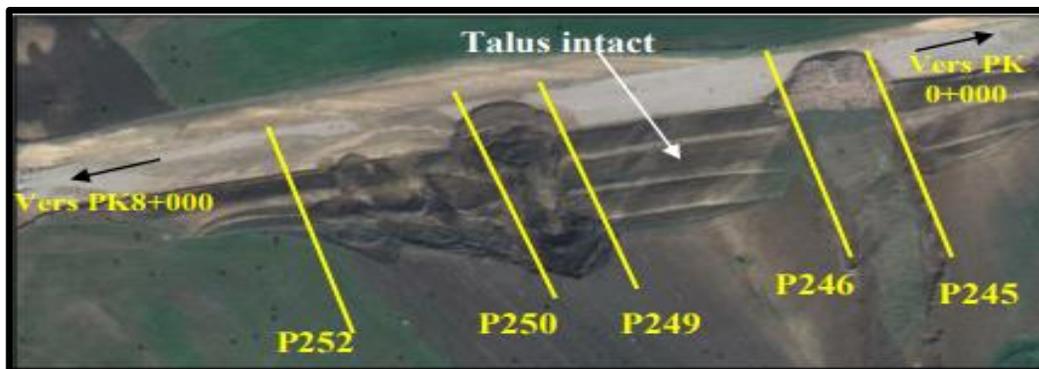


Fig.6.6 Photo Google Earth – Février 2019

La photo Google Earth élevée en Février 2019 met en évidence une P252 Déstabilisation qui s'est élargie, par la suite, jusqu'à atteindre le profil 252.

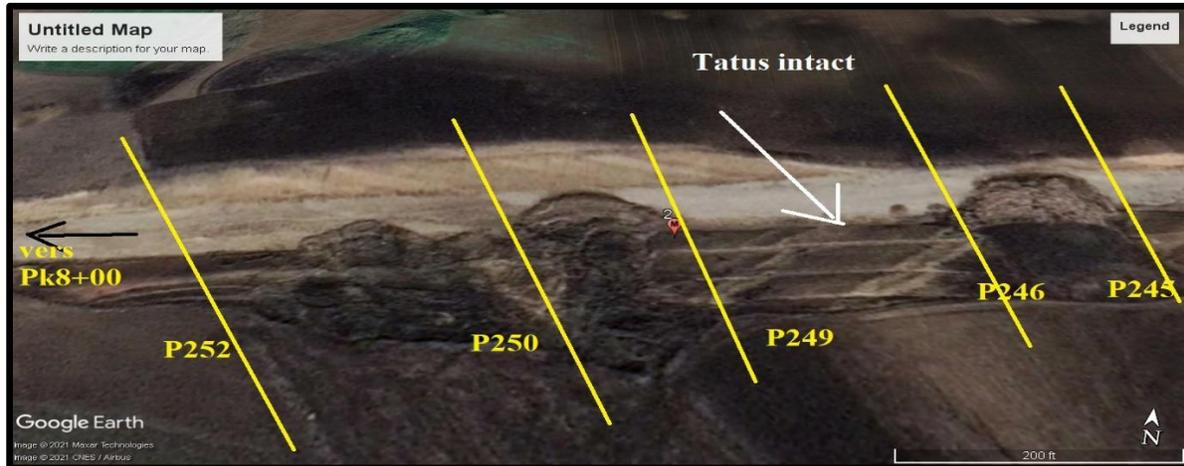


Fig.6.7 Photo Google Earth – Mai 2021

La photo Google Earth élevée en Mai 2021 met en évidence une P252 Déstabilisation qui s'est élargie, par la suite, jusqu'à atteindre le profil 252.

6.4 Aperçu global de la zone en mouvement Google Earth

6.4.1 Constat visuel du site

Détail-A

Le glissement de terrain est matérialisé par l'aperçu sur la dépression (tête de talus) une ligne de rupture qui laisse apparaître un escarpement métrique très important.

Le surcreusement qui apparaît au niveau de cette zone, constitue un cheminement préférentiel des eaux. Il laisse apparaître, de part et d'autre, des érosions de formations de surface.

Une masse de terre très importante a envahie la route projetée.

La concentration particulière de la végétation sur les abords immédiats de la dépression confirme l'écoulement permanent des eaux de ruissellement.

Les tubes en PVC localisés à travers le talus, font apparaître des écoulements d'eau à débit non négligeable. Ces eaux se déversent directement dans le site d'une façon anarchique.

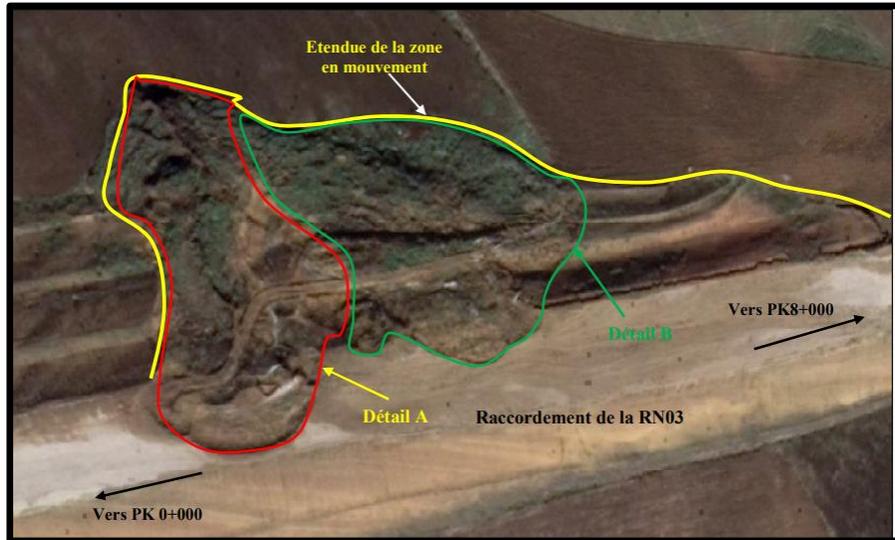


Fig.6.8 Photo détaillé 01

Un glissement régressif affecte le talus en déblais surmonté par des terrains agricoles. Le talus en déblais sujet au glissement de terrain s'étend sur un linéaire de 200m. Les masses de terres glissées inclinées vers l'aval, s'étalent et progressent sur une pente relativement accentuée.

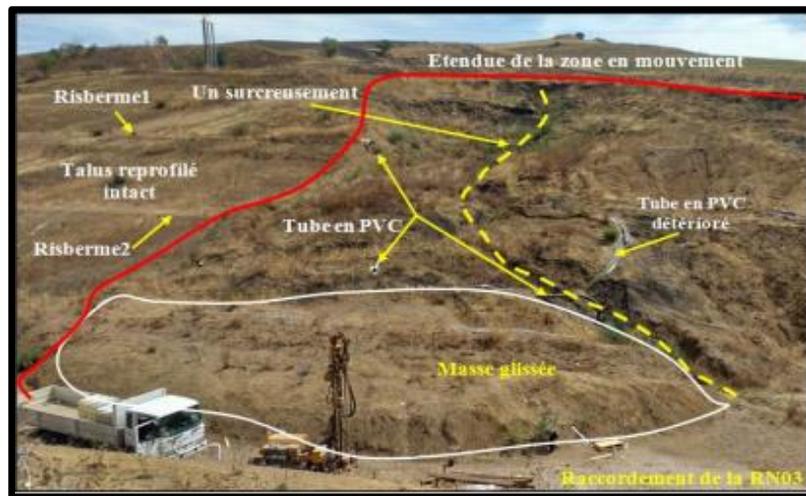


Fig.6.9 Photo détaillé 02

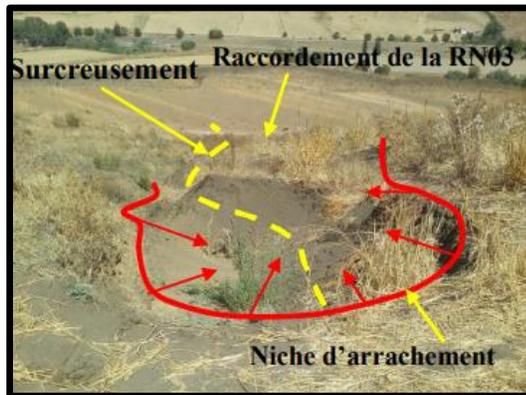


Fig.6.10 la niche d'arrachement (tête de talus)

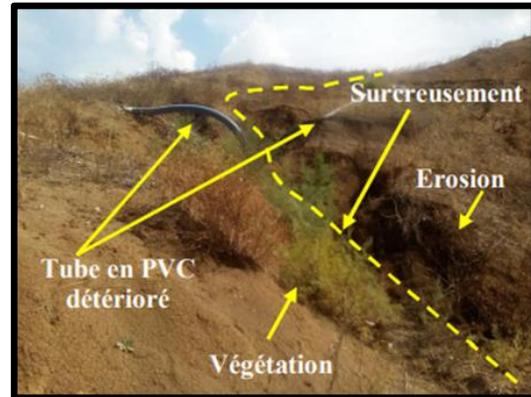


Fig.6.11 la dépression (tête de talus)

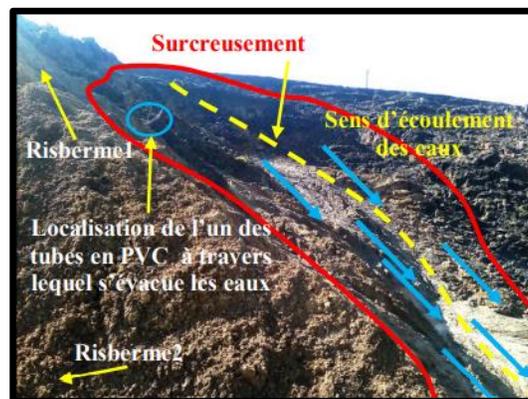


Fig.6.12 Le surcreusement

Le glissement de terrain est matérialisé par l'aperçu sur la dépression (tête de talus) une ligne de rupture qui laisse apparaître un escarpement métrique très important.

Le surcreusement qui apparaît au niveau de cette zone, constitue un cheminement préférentiel des eaux.

Il laisse apparaître, de part et d'autre, des érosions de formations de surface. Une masse de terre très importante a envahi la route projetée.

La concentration particulière de la végétation sur les abords immédiats de la dépression confirme l'écoulement permanent des eaux de ruissellement.

Les tubes en PVC localisés à travers le talus, font apparaître des écoulements d'eau à débit non négligeable. Ces eaux se déversent directement dans le site d'une façon anarchique.

Détail-B

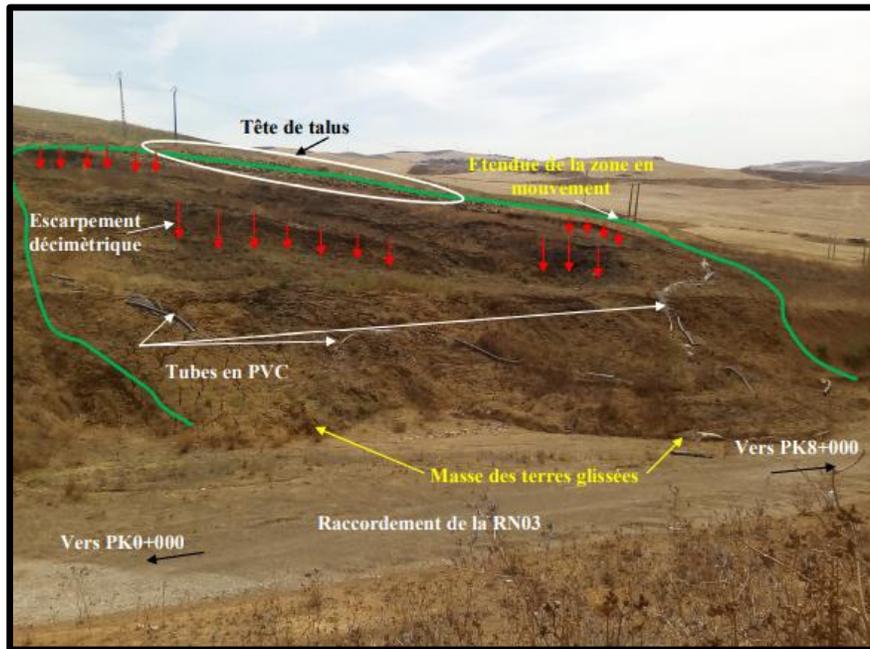


Fig.6.13 Photo détaillé

Le glissement s'est effectué suivant la topographie en pente du talus en déblais. La rupture assez étendue (ligne de rupture principale N°1), au droit de cette zone, se manifeste par un escarpement décimétrique par endroit et métrique par d'autre. Présence de végétations témoignant la présence d'eau. Aucun système de drainage n'existe à travers tout le site. Les eaux de surface se collectent anarchiquement et se déversent directement au pied de talus. Les masses des terres glissées envahie la route projetée.

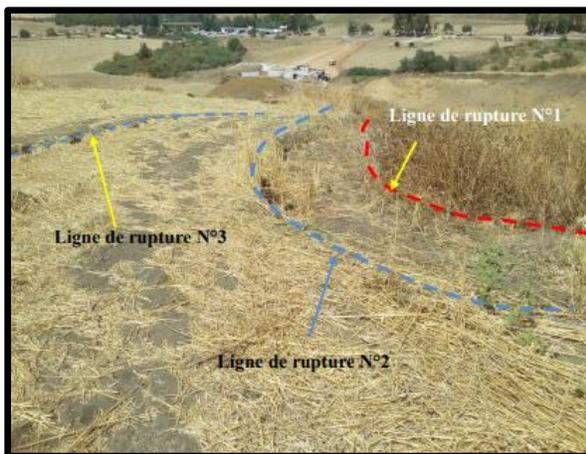


Fig.6.14 Aperçu sur la tête de talus

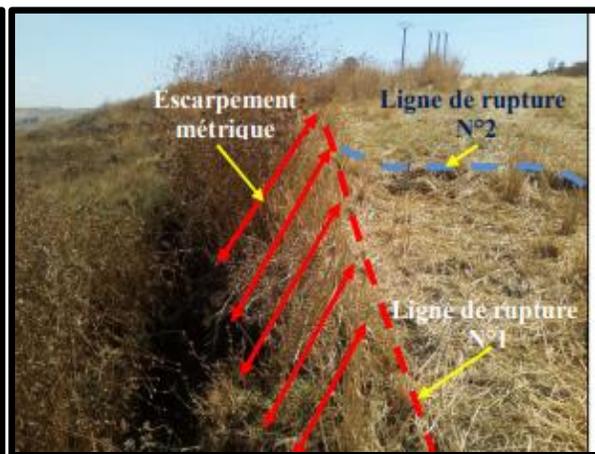


Fig.6.15 Vu de près de la Ligne de rupture- 1- et -2-



Fig.6.14 Vu de près de la ligne de rupture-3-

La tête de talus comprise entre le profil 250 et le profil 252 fait apparaître, en plus de la ligne de rupture principale N°1, deux autres lignes de rupture qui correspondent à des fissures de traction qui remontent jusqu'aux terres agricoles mitoyennes.

6.4.2 Reconnaissance géotechnique du site

6.4.2.1 Organisation de la reconnaissance géotechnique

6.4.2.1.1 In situ

Il a été réalisé :

Un (01) sondage carotté (SC1), implanté en tête de talus (profil 250), de 45m de profondeur, équipé par un tube piézométrique.

Un (01) sondage carotté (SC2), implanté en pied de talus (profil 250), de 30m de profondeur, équipé par un tube piézométrique.

Un (01) sondage pressiométrique (SP1), implanté en pied de talus (profil 250), de 30m de profondeur.

Celui-ci est jumelé avec le sondage carotté (SC1).

6.4.2.1.1.1 Les essais pressiométriques ont été effectués chaque 1m

La reconnaissance par sondages carottés a pour but de :

Déterminer la nature du sous-sol, afin d'établir un profil géologique.

Prélever des échantillons paraffinés pour la réalisation des essais en laboratoire (physiques, chimiques et mécaniques).

Détecter le niveau des fluctuations des eaux par mesures piézométriques. Vérifier la stabilité du Profil 250.

La reconnaissance par sondage préssiométrique a pour but de : Apprécier à travers les caractéristiques mécaniques in situ déduites, le niveau probable de couches de moindre résistance et celui du substratum. Déterminer la capacité portante et les tassements correspondants.

SC SP	Type d'investigation	Profondeur (m)	Equipement	Coordonnées	
				X	Y
SC1 – SP1	SC : Sondage carotté SP : Sondage Pressiométrique	30	Piézomètre	290808	4041588
SC2		50		290839	4041483

Tableau 6.1 Tableau récapitulatif



Légende:

-  Sondages carottés équipés par piézomètre.
-  Sondage pressiométrique.

Fig.6.15 Plan d'implantation de l'investigation géotechnique In situ

6.4.2.1. 2 En laboratoire

Les échantillons paraffinés et remaniés extraits des sondages carottés ont été soumis aux essais physiques, mécaniques et chimiques réalisés tous selon les normes en vigueur au LTP Est.

a-Essais physiques

Teneurs en eau naturelle (NF P 94. 050)

Analyses granulométriques (NF 94.056)

Analyses granulométriques des sols fins par sédimentométrie (NF 94.057)

Densités sèches et humides (NF P 94. 053)

Limites d'Atterberg (NF P 94. 051)

Analyses chimiques sommaires du sol (NF P 94. 048)

b- Essais mécaniques

Essais de cisaillement à la boîte de casagrande de type UU (mode opératoire), afin de déterminer :

La cohésion apparente : C_u (bars).

L'angle de frottement interne : ϕ_u (°).

Essais de cisaillement à la boîte de casagrande de type CD (NF P 94. 071), afin de déterminer:

La cohésion effective: C' (bars).

L'angle de frottement effectif : ϕ' (°).

Essais de Compressibilité à l'Oedomètre (NF P 94. 090-1), afin de déterminer :

Le coefficient de compressibilité (C_c),

Le coefficient de gonflement (C_g),

La pression de consolidation (P_c).

Gonflement libre à l'Oedomètre , afin de déterminer :

La pression de gonflement (P_g).

6.4.2 Résultats de la reconnaissance géotechnique

6.4.2.1 In situ

a/ Sondages carottés

a-1/ Description lithologique des sondages carottés

Les coupes lithologiques des sondages carottés, ont révélé la présence des formations géologiques suivantes :

SC N°	Profondeur (m)	Lithologie
SC 1	0.00 – 1.70	Remblai composé de gravier et de cailloux.
	1.70 – 6.00	Argile brunâtre, limoneuse, peu sableuse, gypseuse, à débris de coquille.
	6.00 – 12.30	Argile marneuse brunâtre, limoneuse, sableuse, peu graveleuse et gypseuse. On note la présence d'un passage d'argile graveleuse entre (9.60-10.00)m.
	12.30 – 18.80	Marne argileuse limoneuse, compacte, jaunâtre à brunâtre. On note la présence d'un passage argileux entre (13.00-13.60)m.
	18.80 – 30.00	Argile marneuse brunâtre, limoneuse, peu sableuse, gypseuse.
SC 2	0.00 – 1.00	Terre végétale.
	1.00 – 2.00	Argile noire à débris de coquilles.
	2.00 – 6.50	Argile jaunâtre à brunâtre, limoneuse, peu sableuse, à débris de coquilles. On note la présence d'un passage d'argile noire avec une dense présence de débris de coquilles entre (5.00-6.00) m.
	6.50 – 9.0	Marne argileuse limoneuse, compacte, brunâtre à grisâtre
	9.00 – 15.00	Argile marneuse brunâtre, limoneuse, peu sableuse.
	15.00 – 18.20	Marne argileuse limoneuse, compacte, jaunâtre à brunâtre. On note la présence d'un passage d'argile brune à débris de coquilles entre (17.40-17.80) m.
	18.20 – 21.00	Argile marneuse brunâtre, limoneuse
	21.00 – 28.00	Marne argileuse limoneuse, ferme à compacte, brunâtre à grisâtre, gypseuse.
	28.00 – 39.40	Argile marneuse brunâtre à rougeâtre, limoneuse, peu sableuse, gypseuse.
39.40 – 45.00	Argile marneuse limoneuse rougeâtre gypseuse, compacte.	

Tableau 6.2 Description lithologique des sondages carottés

Les coupes lithologiques établies à partir des sondages carottés réalisés, montrent que le sol étudié est constitué de deux (02) formations, à savoir:

- Argile plus ou moins marneuse, à débris de coquilles en surface (jusqu'à 6m environ).
- Marne argileuse.

L'ensemble est surmonté par endroit soit par une couche de remblai de 1.70m d'épaisseur, soit par une couche de terre végétale de 1.00m d'épaisseur.

NB : Les logs des coupes lithologiques sont joints en annexe.

6.4.2.2.1.2 Mesures piézométriques

Les mesures piézométriques effectuées sur site durant la période comprise entre le 01/09/2020 et le 29/09/2020, ont indiqué un niveau d'eau variant globalement entre (-1.10m) et (-4.85m) :

Entre 1.10m et 1.45m au droit du sondage SC1.

Entre 3.90m et 4.85m au droit du sondage SC2

Dates	SC		Observations
	N° Niveau d'eau (m)		
	SC1	SC2	
01/09/2020	En surface	\	Période pluviale
09/09/2020	1.10	3.90	
15/09/2020	1.20	4.05	Période sèche
29/09/2020	1.45	4.85	

Tableau 6.3 Mesures piézométriques

6.4.2.2.2 Profil géologique

La coupe lithologique a été réalisée à partir des points de sondages carottés réalisés sur site, selon le plan ci-dessous

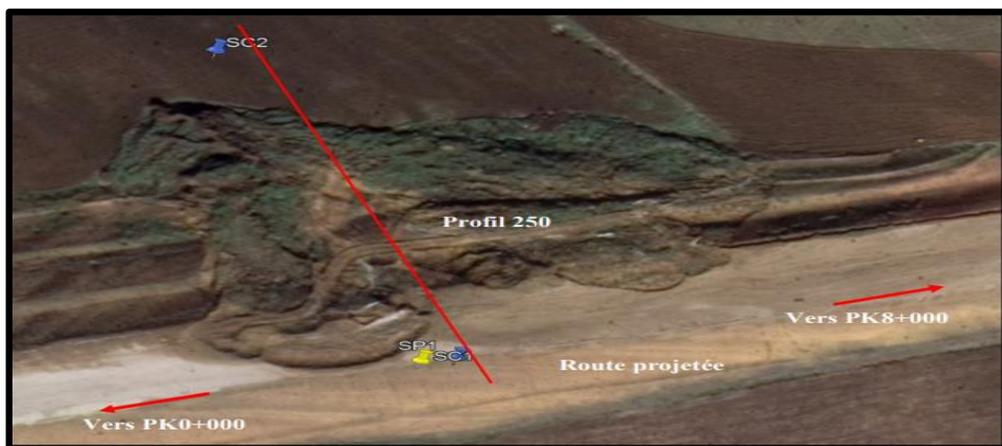


Fig.6.16 Identification du profil géologique

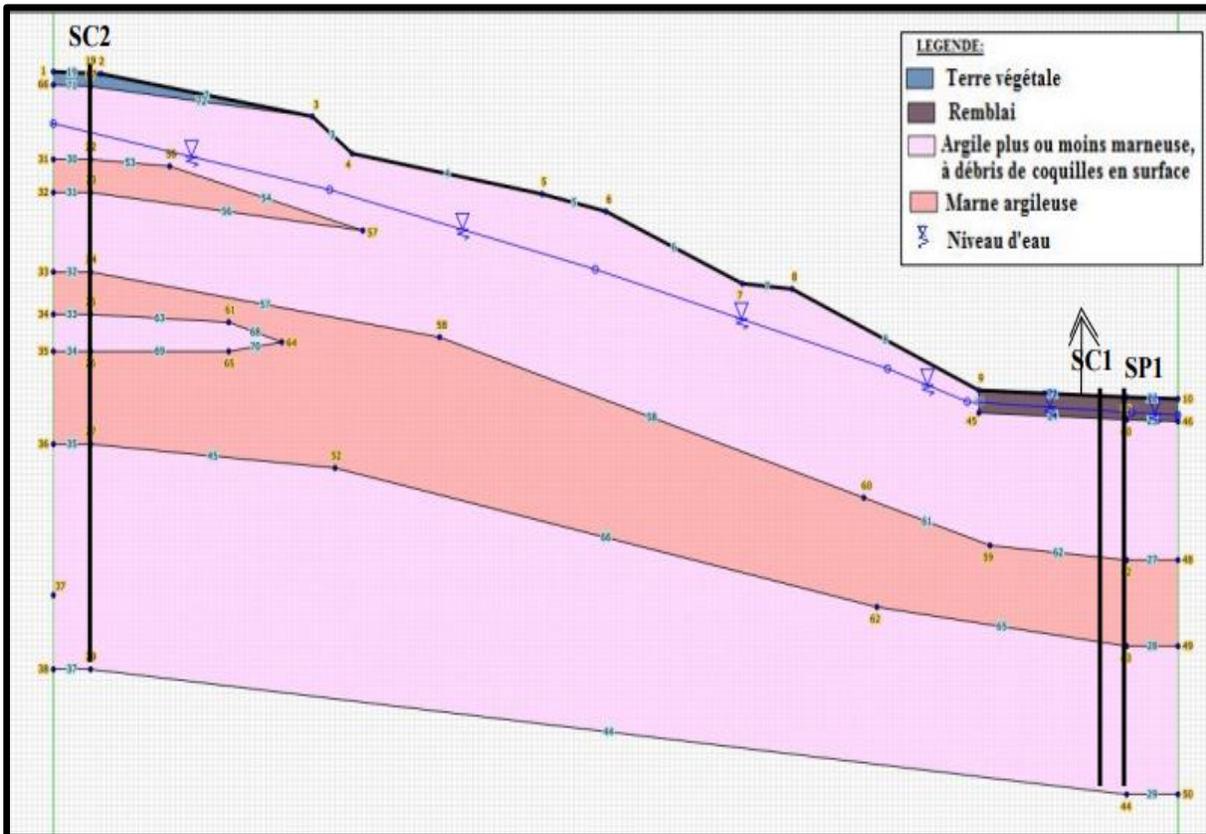


Fig.6.17 Profil géologique N°250

6.4.2.2.3 Sondages pressiométriques

L'essai pressiométrique est essentiellement un essai de chargement in situ, effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage.

L'analyse de chacun des diagrammes de chargement (effort – déformation) permet de déterminer les caractéristiques pressiométriques suivantes :

Module pressiométrique (E) définissant le comportement élastique du sol.

Pression limite nette (PL*) définissant la résistance du sol à la rupture

La pression de fluage (PF) définissant la limite entre la phase élastique et la phase Plastique.

Le rapport du module pressiométrique à la pression limite E/PL

NB : Le profil synoptique est joint ci-après

Profondeur (m)	SP 01					
	E (bar)	PL (bar)	PL* (bar)	PF (bar)	PF (bar)	E/PL
1	92.50	4.80	4.70	1.80	1.80	19.27
2	62.50	5.00	4.80	1.90	1.90	12.50
3	180.00	6.00	5.70	3.30	3.30	30.00
4	270.00	13.00	12.60	6.80	6.80	20.77
5	153.60	7.30	6.90	3.40	3.40	21.04
6	328.20	12.30	11.80	4.90	4.90	26.68
7	330.30	14.30	13.60	7.30	7.30	23.10
8	301.60	13.90	13.20	6.30	6.30	21.70
9	411.90	10.70	9.80	2.80	2.80	38.50
10	65.10	6.90	6.00	3.20	3.20	9.43
11	304.60	12.40	11.40	6.00	6.00	24.56
12	382.20	14.90	13.80	6.40	6.40	25.65
13	290.50	12.30	11.10	4.30	4.30	23.62
14	234.90	15.40	14.10	4.20	4.20	15.25
15	119.90	12.70	11.30	3.90	3.90	9.44
16	86.70	10.00	8.60	3.10	3.10	8.67
17	371.50	10.10	8.50	3.60	3.60	36.78
18	365.80	12.90	11.30	5.20	5.20	28.36
19	374.40	21.50	19.80	6.40	6.40	17.41
20	161.10	17.00	15.20	4.80	4.80	9.48
21	353.60	17.30	15.40	6.50	6.50	20.44
22	410.30	20.80	18.80	8.50	8.50	19.73
23	717.60	22.70	20.60	8.10	8.10	31.60
24	857.60	31.90	29.70	8.30	8.30	26.88
25	800.30	31.00	28.80	9.10	9.10	25.82
26	779.70	32.00	29.60	8.20	8.20	24.37
27	378.40	42.60	40.10	16.10	16.10	8.88
28	1334.50	50.00	47.50	39.20	39.20	26.69
29	1628.60	50.00	47.40	39.10	39.10	32.57
30	1036.80	50.00	47.30	50.00	47.30	20.74

Tableau 6.4 Sondages pressiométriques

Les essais pressiométriques, réalisés sur site, ont mis en évidence des valeurs de modules de déformation (E) et de pressions limites nettes (PL*) faibles en surface et moyennes à élevées à relativement très élevés en profondeur (fin de sondage). Cependant, la variation en profondeur fait ressortir cinq horizons, à savoir:

Horizon N°01 (1.00-5.00) m: caractérisé par des pressions limites et des modules de déformation faibles, avec :

$$* 62.50 \leq E \text{ (bars)} \leq 270.00$$

$$* E_{moy} \text{ (bars)} = 151.72$$

$$* 4.70 \leq PL^* (\text{bars}) \leq 6.90$$

$$* PL^* \text{moy} (\text{bars}) = 6.94$$

Horizon N°02(6.00-18.00) m: caractérisé par des pressions limites et des modules de déformation moyennes, avec :

$$* 86.70 \leq E (\text{bars}) \leq 411.90$$

$$* E_{\text{moy}} (\text{bars}) = 276.40$$

$$* 8.60 \leq PL^* (\text{bars}) \leq 14.10$$

$$* PL^* \text{moy} (\text{bars}) = 11.11$$

Horizon N°03 (19.00-23.00) m: caractérisé par des pressions limites et des modules de déformation assez élevés, avec :

$$* 161.10 \leq E (\text{bars}) \leq 717.60$$

$$* E_{\text{moy}} (\text{bars}) = 403.40$$

$$* 15.20 \leq PL^* (\text{bars}) \leq 20.60$$

$$* PL^* \text{moy} (\text{bars}) = 17.96$$

Horizon N°04 (24.00-26.00)m: caractérisé par des pressions limites et des modules de déformation élevés, avec :

$$* 779.70 \leq E (\text{bars}) \leq 857.60$$

$$* E_{\text{moy}} (\text{bars}) = 812.53$$

$$* 28.80 \leq PL^* (\text{bars}) \leq 29.70$$

$$* PL^* \text{moy} (\text{bars}) = 29.36$$

Horizon N°04 (27.00-30.00) m: caractérisé par des pressions limites et des modules de déformation très élevés, avec :

$$* 378.40 \leq E (\text{bars}) \leq 1628.60$$

$$* E_{\text{moy}} (\text{bars}) = 1094.57$$

$$* 40.10 \leq PL^* (\text{bars}) \leq 47.50$$

$$* PL^* \text{moy} (\text{bars}) = 45.57$$

6.4.2.3.1 En laboratoire

Sur les échantillons paraffinés et remaniés prélevés au droit des sondages carottés, des essais physiques, mécaniques et chimiques ont été réalisés afin de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du sous-sol.

6.4.2.3.2 Essais physiques

Identifications :

Identifications :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau récapitulatif suivant :

CHAPITRE VI RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE ET ANALYSE DE LA STABILITE

Sondage N°	Profondeur (m)	Identification				Limites d'Atterberg			Granulométrie						Classification Casagrande
		γ_d t/m ³	γ_h t/m ³	W (%)	Sr (%)	WL (%)	WP (%)	IP (%)	% Gravier	% Gros Sable	% Sable fin	% Limon	% Argile	%	
SC 1	3.5 – 3.9	1.60	1.94	21.53	86.8	68.3	34.59	33.7	\	\	06	16	78	100	Lt
	6.50– 6.8	1.61	1.88	17.13	69.7	50.6	25.69	24.9	07	07	20	15	51	75	At
	11.5 – 11.9	1.69	1.97	16.69	77.5	64.1	32.80	31.3	\	\	16	18	66	100	At
	16.0– 16.3	1.98	2.21	11.86	92.5	60.9	30.35	30.5	\	\	14	26	60	100	At
	21.0 – 21.5	1.66	1.94	17.03	75.1	64.5	32.55	32.0	\	\	08	22	70	100	At
	29.1 – 29.5	1.74	2.00	15.28	77.2	65.9	33.31	32.4	\	\	08	20	72	100	At
SC 2	1.00 – 2.00	\	\	\	\	52.87	26.94	25.93	01	11	22	15	51	80	At
	4.3 – 5.0	1.49	1.89	27.27	93.0	65.47	33.33	32.14	\	\	14	18	68	100	At
	7.6 – 8.0	1.58	1.94	23.12	90.4	70.33	34.43	35.90	\	\	08	16	76	100	At
	13.5 – 14.0	1.79	2.07	15.89	87.1	55.99	28.73	27.26	\	\	10	20	70	100	At
	15.4 – 16.0	1.87	2.12	13.52	285.3	54.59	27.80	26.78	\	\	12	18	70	100	At
	18.2 – 18.8	1.90	2.15	13.34	88.87	58.94	29.79	29.15	\	\	08	20	72	100	At
	21.0 – 23.0	\	\	\	\	60.41	31.04	29.36	\	\	08	28	64	100	At
	26.4 – 26.8	1.91	2.17	13.69	92.65	48.34	23.40	24.94	\	\	26	24	50	100	Ap
	33.2 – 33.55	1.57	1.95	24.22	93.76	71.75	35.39	36.36	\	\	06	20	74	100	At
	38.0 – 38.4	1.69	1.97	17.05	79.35	71.13	36.04	35.09	\	\	08	18	74	100	At
41.0 – 42.0	\	\	\	\	61.48	31.44	30.04	\	\	06	20	74	100	At	

Légende : γ_h : densité humide γ_d : densité sèche **Wn** : teneur en eau naturelle **Sr** : degré de saturation **IP** : indice de plasticité
WL : limite de liquidité **WP** : limite de plasticité

Tableau 6.5 Tableau récapitulatif

Les valeurs de la densité sèche définissent un sol dense à très dense dans l'ensemble. Elles varient entre 1.57 t/m^3 et 1.98 t/m^3 . Au droit du sondage carotté SC2 à 4.30m on a enregistré une valeur de la densité sèche qui définit un sol peu dense (1.49 t/m^3), ce qui correspond à la formation de surface (argile à débris de coquille).

Les valeurs du degré de saturation indiquent un sol humide à saturé. Elles varient entre 69.71% et 93.96%. Le pourcentage des éléments inférieurs à 80μ est supérieur à 50%. Ceci nous met en présence d'un sol fin. La classification faite selon l'abaque de casa grande définit un sol très plastique.

a-2 Analyses chimiques sommaires

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau récapitulatif suivant:

SC N°	Profondeurs (m)	Teneur exprimé en (%) par rapport au matériau sec		
		Insolubles (%)	Carbonates (%)	Sulfates (%)
SC1	3.50 – 3.90	58.70	30.21	11.00
	6.50 – 6.80	53.50	32.77	13.28
	11.50 – 11.90	59.00	29.94	11.00
	16.30 – 16.70	51.40	42.17	Néant
	21.00 – 21.50	53.60	23.80	18.08
SC2	4.30 – 5.00	57.40	31.53	Néant
	7.60 – 8.00	57.50	34.61	
	13.50 – 14.00	60.60	30.76	
	18.20 – 18.80	57.30	30.76	
	21.00 – 23.00	59.00	35.60	
	26.10 – 26.40	52.80	34.84	5.50
	38.00 – 38.40	59.00	20.45	5.90
	41.00 – 42.00	66.80	28.00	Néant

Tableau 6.6 Tableau récapitulatif

Le taux de carbonates varie selon le type de formation rencontrée sur site, à savoir :

Entre 34.61% et 42.17%, ce qui confirme la nature du sous-sol (Marne argileuse).

Entre 20.45% et 32.77%, ce qui confirme la nature du sous-sol (Argile plus om moins marneuse, à débris de coquilles en surface).

∞ Le taux de présence des sulfates varie entre 5.50% et 13.28%, ce qui dénote un sol très fortement agressif (selon la norme française P18-011).

6.4.2.2.3.3 Essais mécaniques

6.4.2.2.3.3.1 Essais de cisaillement rectiligne de type UU

Les essais de résistance au cisaillement à la boîte de casa grande de type non consolidé non drainé (UU) a mis en évidence un sol, globalement, peu cohérent à cohérent et frottant à très frottant.

SC N°	Profondeur (m)	ϕ_u (°)	Cu (bars)
SC 1	3.50 – 3.90	05	0.628
	6.50 – 6.80	25	0.513
	11.50 – 11.90	14	0.317
	21.00 – 21.50	23	0.111
	29.10 – 29.50	11	0.271
SC 2	4.30 – 5.00	07	0.783
	7.60 – 8.00	16	0.212
	13.50 – 14.00	28	0.622
	18.20 – 18.80	Essai annulé vu la nature du matériau (consolidé)	
	20.00 – 21.00	39	1.361
	23.35 – 23.80	37	0.669
	26.40 – 26.80	Essai annulé vu la nature du matériau (feuilleté)	
	33.20 – 33.55	Essai annulé vu la nature du matériau (consolidé)	
38.00 – 38.40	16	0.281	

ϕ_u : Angle de frottement interne. , Cu : Cohésion du sol

Tableau 6.7 Essais de cisaillement à la boîte de casa grande de type non consolidé non drainé (UU)



Fig.6.18 SC2 (18.20 – 18.80) m



Fig.6.19 SC2 (26.40 – 26.80) m

Des valeurs de l'angle de frottement interne et de la cohésion apparente ont été estimées, à titre indicatif, dans la formation de tuf argileux et la formation d'argile grise, à partir des corrélations de Simon et Biarrez:

$$\text{tg } \phi' = 0.1 + [16.8/(19 + \text{IP})]$$

$$\text{Cu}' = (0.11 + 0.0037 \text{ IP}) \times \text{Po}$$

Avec :

φ' : Angle de frottement déduit. φ : Angle de frottement interne entre les grains.
 I_p : indice de plasticité en %. C_u' : Cohésion réduite. C_u : Cohésion du sol.
 P_o : C'est une contrainte horizontale ($P_o = 2bars$).

SC N°	Profondeur (m)	I_p (%)	C_u (bars)	Φ_u (°)
SC1	3.50 – 3.90	33.78	0.469	08
	1.00 – 2.00	25.93	0.274	08
	4.30 – 5.00	32.14	0.457	07
	15.40 – 16.00	26.78	0.278	17
	18.20 – 18.80	29.15	0.435	16
	21.00 – 23.00	29.36	0.291	16
	26.40 – 26.80	24.94	0.269	17
	33.20 – 33.55	36.36	0.489	22

Tableau 6.8 Tableau détaillé

6.4.2.2.3.3.2 Essais de résistance au cisaillement type CD

Les essais de résistance au cisaillement à la boîte de casagrande de type consolidé drainé (CD) a mis en évidence un sol, globalement, peu cohérent et frottant à très frottant.

SC N°	Profondeur (m)	Φ' (°)	C' (bars)
SC 1	3.50 – 3.90	24	0.225
	11.50 – 11.90	24	0.350
	21.00 – 21.50	29	0.268
SC 2	7.60 – 8.00	18	0.201
	20.00 – 21.00	44	0.348
	26.10 – 26.40	Essai annulé vu la nature du matériau (consolidé)	

Φ' : Angle de frottement effectif. , C' : Cohésion effective du sol

Tableau 6.9 Essais de résistance au cisaillement type CD

6.4.2.2.3.3.3 Essais de compressibilité à l'oedomètre

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

SC N°	Profondeur (m)	P_c (bars)	C_c	C_g
SC 1	9.00 -9.30	1.64	0.169	0.020
	11.50 – 11.90	1.65	0.194	0.029
	29.10 – 29.50	1.77	0.176	0.031
SC 2	13.50 – 14.00	3.30	0.114	0.018

Avec : P_c : Pression de consolidation, C_c : Coefficient de compressibilité., C_g : Coefficient de gonflement

Tableau 6.10 Essais de compressibilité à l'oedomètre

Les essais de compressibilité à l'oedomètre ont mis en évidence la présence d'un sol moyennement compressible et peu gonflant.

6.4.2.2.3.3.4 Essais de gonflement libre à l'oedomètre

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

SC N°	Profondeur (m)	Pg (bars)
SC 1	21.00 – 21.50	1.75
SC 2	38.00 – 38.40	0.50

Avec : Pg : Pression de gonflement.

Tableau 6.11 La pression de gonflement varie entre 0.50bars et 1.75bars

6.4.2.2.3.4 Profils géotechnique

Le profil géotechnique a été identifié sur la base des résultats des essais pressiométriques et la lithologie extraite des sondages carottés réalisés.

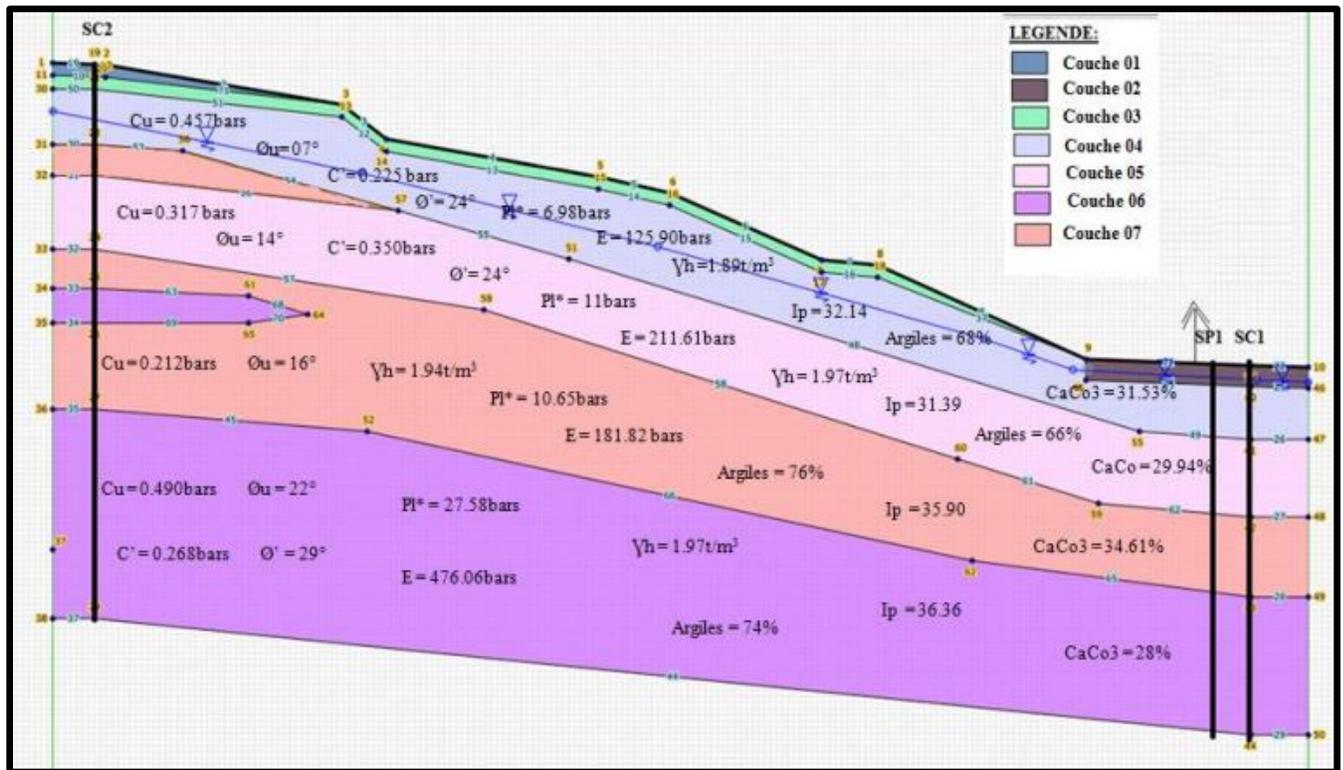


Fig.6.20 Profil géotechnique N°250

6.5 Vérification de la stabilité du talus

La vérification a été effectuée, selon la demande du client, pour un seul profil (N°250) selon trois cas de figures:

A l'état actuel du terrain.

Après renforcement par un rideau de pieux.

Après renforcement par un mur de soutènement sur pieux. Le profil N°250 a été établi par le topographe de l'ENGOA et transmis, par la suite au LTP/EST.

6.5.1 Méthode de calcul de stabilité

Le calcul de stabilité a été effectué à l'aide de la méthode de BISHOP suivant le logiciel Talren V5.

Cette méthode consiste à découper le volume de sol en un certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux et à étudier l'équilibre individuel de chaque tranche à part.

Les forces agissantes sur la tranche sont :

Poids du sol (poids de la tranche).

Réaction du milieu sous adjacent sur les arcs de ces tranches.

Effort de cisaillement le long de la base de la tranche.

Le coefficient de sécurité F est défini comme le rapport

$F = \text{Moment résistant} / \text{Moment moteur}$

$F = \sum [c' b_i + (W_i - \mu_i b_i) \text{tg} \phi'] [1 / \cos \alpha_i (1 + \text{tg} \alpha \text{tg} \phi' / F_s)] / \sum W_i \sin \alpha_i$, avec :

Le moment moteur, est dû au poids des terres.

Le Moment résistant correspond aux forces de cisaillement.

Selon l'Eurocod sismique un terrain est considéré comme stable si le coefficient de sécurité $F_s \geq 1.00$.

6.5.1.1 Hypothèses de calcul pour la vérification de la stabilité

6.5.1.1.1 Définition des paramètres physiques et mécaniques par couche

Etat actuel :

La répartition des couches a été effectuée en corrélation avec les résultats obtenus à partir des essais en laboratoire, des essais pressiométriques et la lithologie extraite des sondages carottés réalisés.

Couches	Densité (t/m ³)	A court terme	
		Angle de frottement (φ°)	Cohésion(Cu) (bars)
1	1.30	03	0.150
2	2.00	20	0.010
3	1.60	08	0.274
4	1.89	07	0.457
5	1.97	14	0.317
6	1.97	22	0.490
7	1.94	16	0.212

Tableau 6.12 La répartition des couches

B/ Après renforcement par un rideau de pieux

Le calcul a été effectué pour des pieux de 12m de longueur et de diamètre Ø=1,20m, dont l'espacement entre deux pieux successifs est égale à 1.50m.

Après renforcement par par mur de soutènement sur pieux

Le calcul a été effectué pour mur de soutènement de 4m de hauteur fondé sur un rideau de pieux de 12m de longueur et de diamètre Ø=1,20m, dont l'espacement entre deux pieux successifs est égale à 1.50m. Les terres situées derrière ce mur seront constituées par un matériau noble (couche 8), d'où les caractéristiques physiques et mécaniques considérées les calculs:

Couches	Densité (t/m ³)	A court terme	
		Angle de frottement (φ°)	Cohésion(Cu) (bars)
08	1.80	32	0.01

Tableau 6.13 les caractéristiques physiques et mécaniques considérées les calculs

NB : Le type de confortement (Mur de soutènement sur pieux a été préconisé par le client)

Niveau d'eau:

Sondage N°	Niveau d'eau (m)
SC 1	1.20
SC 2	4.05

Tableau 6.14 Niveau d'eau

Etat actuel du terrain

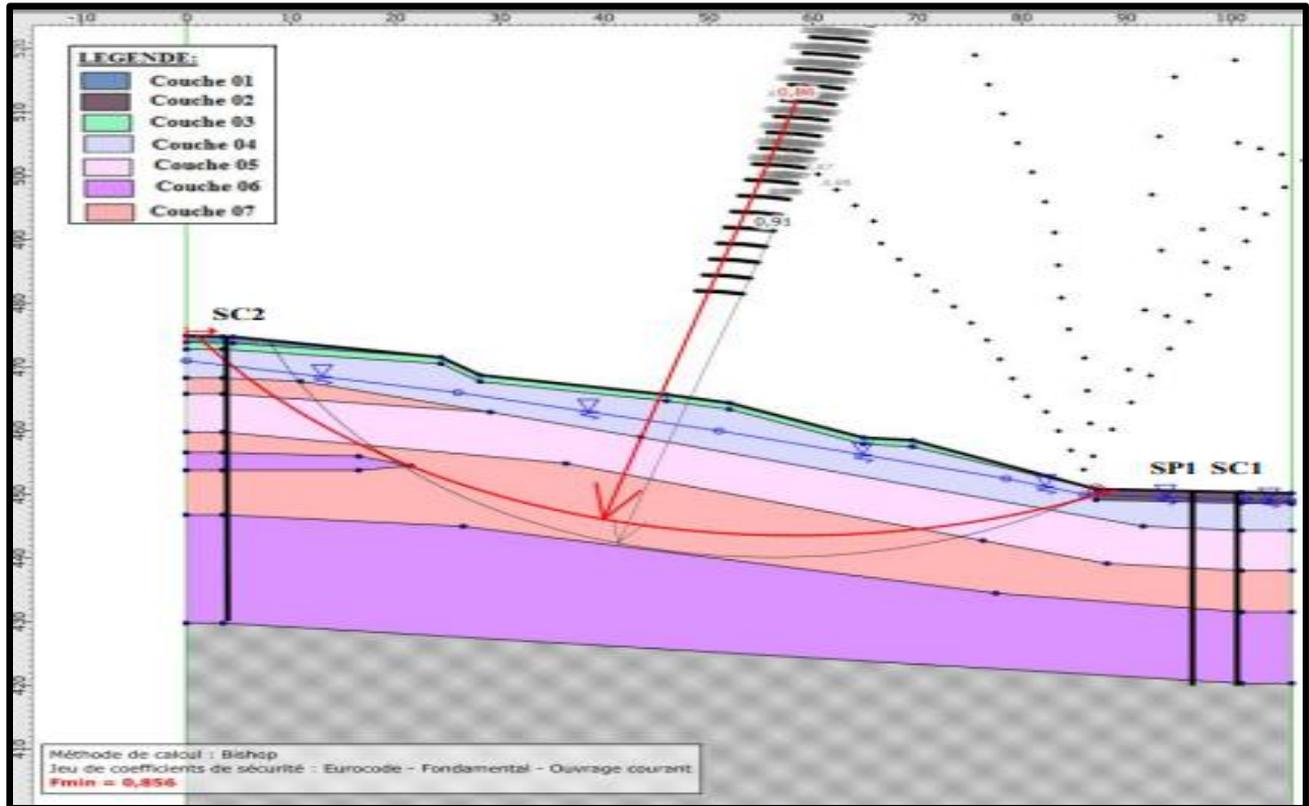


Fig.6.21 Etat actuel du terrain

Commentaire:

Les résultats de calcul de stabilité effectués selon le profil géotechnique ont donné un facteur de sécurité minimal $F_s=0.86$, selon la méthode utilisée. Ceci nous permet de qualifier la situation du terrain à son état actuel, comme instable.

Le cercle de rupture le plus profond se situe à environ 10m à partir du pied de talus qui correspond à un $F_s = 0.91$.

Après renforcement par un rideau de pieux

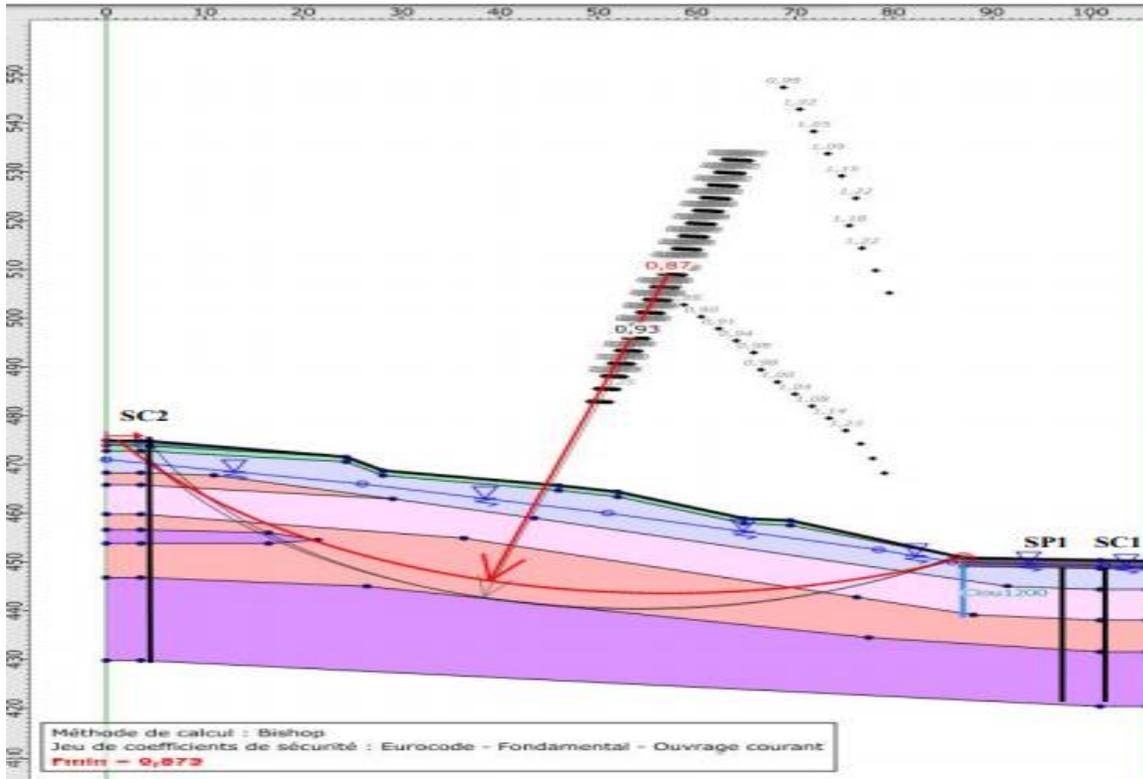


Fig.6.22 Après renforcement par un rideau de pieux

Commentaire:

Les résultats de calcul de stabilité effectués selon le profil géotechnique ont donné un facteur de sécurité minimal $F_s=0.87$, selon la méthode utilisée. Ceci nous permet de qualifier la situation du terrain après renforcement par un rideau de pieux, comme instable.

Le cercle de rupture le plus profond se situe à environ 10m à partir du pied de talus qui correspond à un $F_s = 0.93$.

Après renforcement par mur de soutènement sur pieux

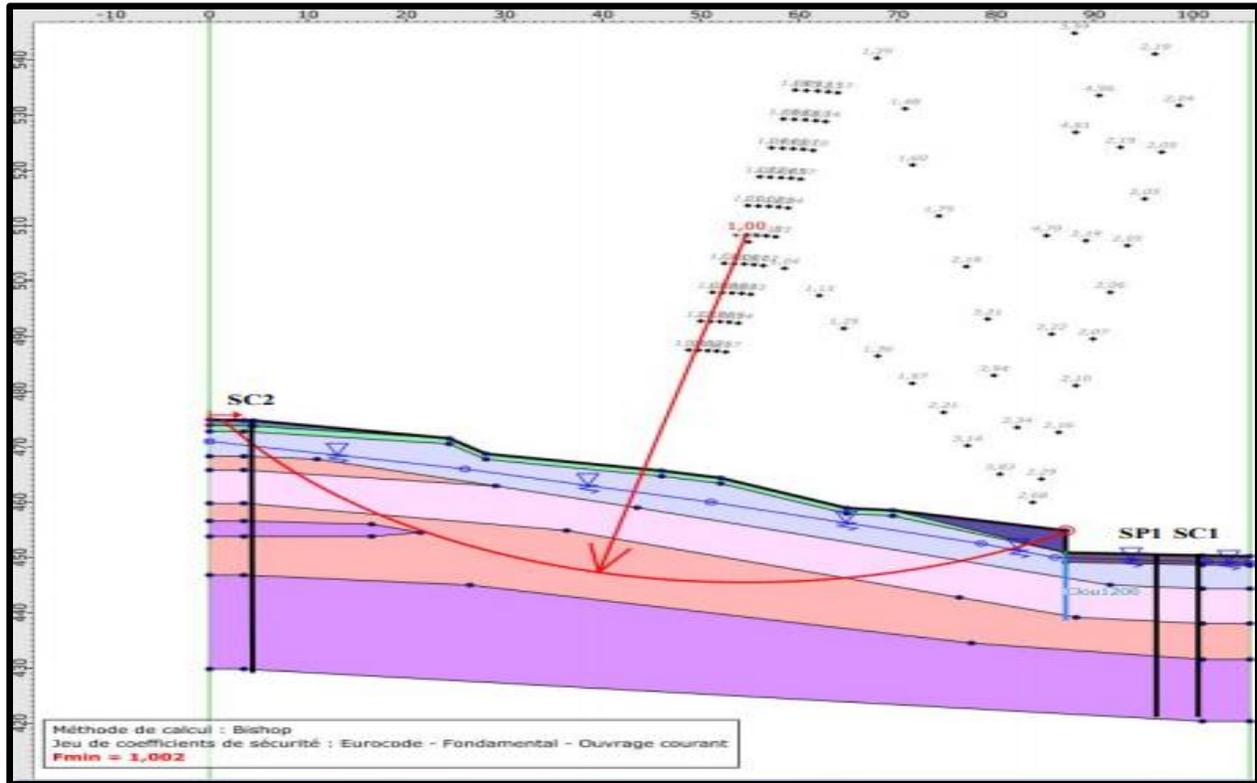


Fig.6.23 Après renforcement par mur de soutènement sur pieux

Commentaire

Les résultats de calcul de stabilité effectués selon le profil géotechnique ont donné un facteur de sécurité minimal $F_s=1.00$, selon la méthode utilisée. Ceci nous permet de qualifier la situation du terrain après renforcement par mur de soutènement sur pieux, comme stable.

Le cercle se situe à 5m à partir du pied de talus.

D'après les visites de site effectuées par le Ltp/est, nous avons constaté que la ligne de glissement est plus ou moins superficielle, c'est presque une coulée boueuse. Aucun indice d'instabilité n'a été enregistré au niveau de la route projetée ni au niveau du talus en déblais de la rive droite de cette route. L'instabilité enregistrée concerne des points particuliers du talus profilé correspondant, qui s'étend entre le profil 241 et le profil 255. Dans ce cas de figure, on peut prendre aussi comme hypothèse de calcul ce qu'on appelle les conditions de passage, qui tiennent compte de l'état d'instabilité du terrain enregistré sur site. Celui-ci laisse apparaître, clairement, un glissement de surface des formations. La vérification de la stabilité a été donc effectuée à :

L'état actuel du terrain en appliquant la condition de passage et le séisme. Après renforcement par un rideau de pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.

Après renforcement par mur de soutènement sur pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.

Etat actuel du terrain en appliquant la condition de passage et le séisme.

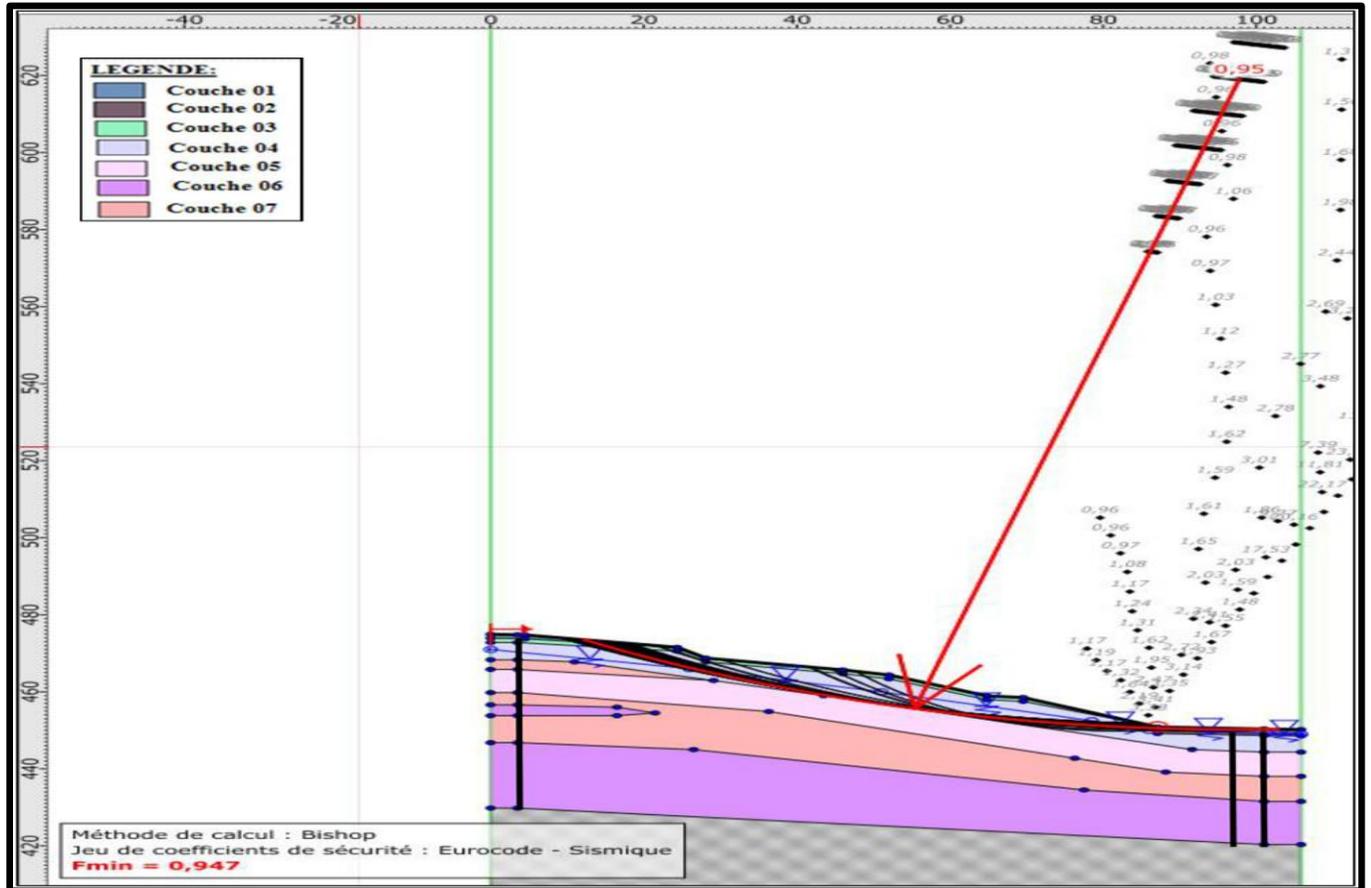


Fig.6.24 Etat actuel du terrain en appliquant la condition de passage et le séisme

Commentaire

Les résultats de calcul de stabilité effectués selon le profil géotechnique ont donné un facteur de sécurité minimal $F_s=0.95$, selon la méthode utilisée. Ceci nous permet de qualifier la situation du terrain à son état actuel en appliquant la condition de passage et le séisme, comme instable.

Après renforcement par un rideau de pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.

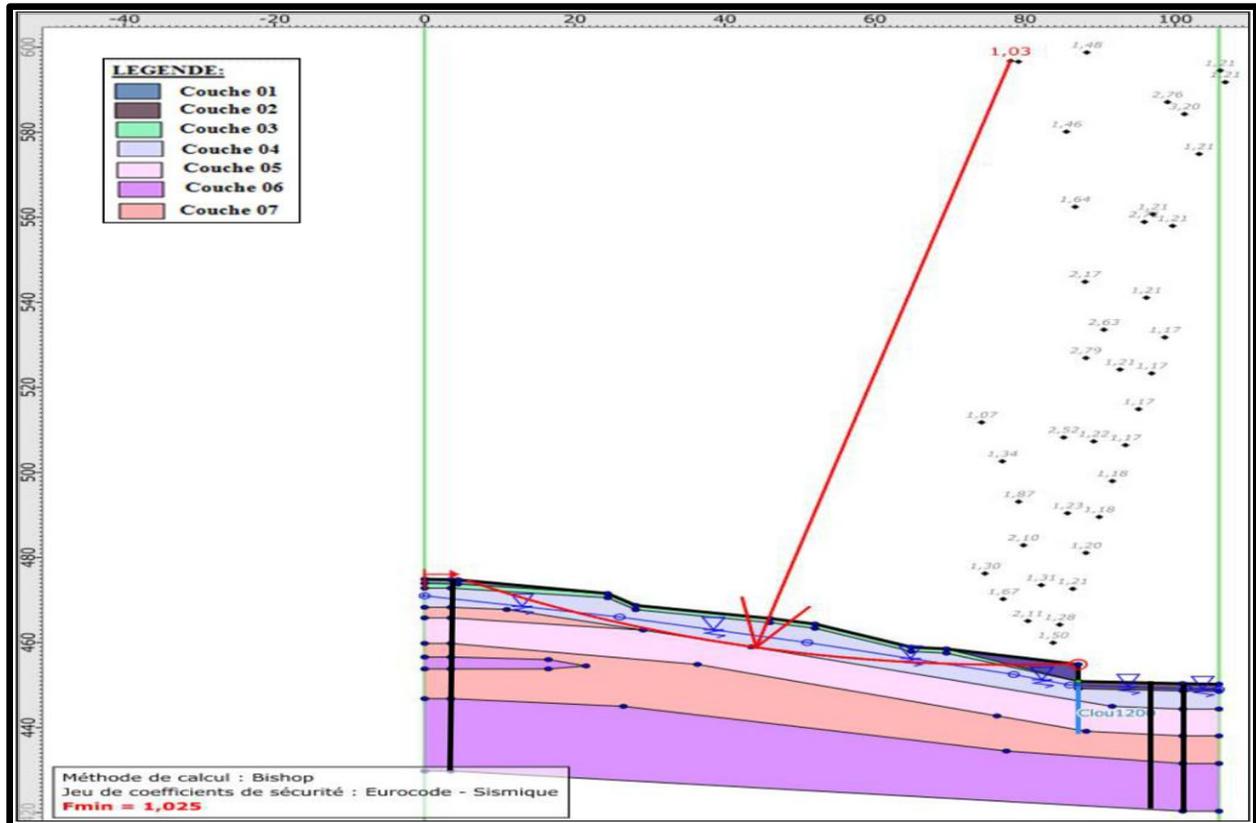


Fig.6.25 Après renforcement par un rideau de pieux en appliquant la condition de passage et le séisme

Commentaire:

Les résultats de calcul de stabilité effectués selon le profil géotechnique ont donné un facteur de sécurité minimal $F_s=1.03$, selon la méthode utilisée. Ceci nous permet de qualifier la situation du terrain après renforcement par mur de soutènement sur pieux en appliquant la condition de passage et le séisme, comme stable.

pointe. K : facteur de portance. S : la section du pieu (m^2). f_u : le frottement unitaire. p : périmètre du pieu (m).

Conclusion

Les mouvements constatés entre le profil 249 et le profil 252 relèvent de la combinaison de plusieurs facteurs entre autres:

Les surpressions interstitielles qui peuvent être l'une des principales causes des désordres enregistrés sur site vu l'existence des résurgences d'eau, à travers celui-ci

La présence de plusieurs sources (03 sources) qui se succèdent, globalement, sur le même alignement, enregistrées au niveau du versant situé en amont de la zone en désordre.

La 1ère source se situe à environ 700m de celui-ci.

L'évolution de ce mouvement est lié à la présence d'une concentration particulière de circulation des eaux qui a créé une dépression relativement large.

L'érosion de ces berges constitue le principal facteur déstabilisateur du site, en plus de la présence de plusieurs tubes en PVC qui passent en travers le talus dont certains sont détériorés et d'autres évacuent les eaux collectées à débit non négligeable directement sur le talus.

La saturation continue des formations géologiques rencontrées (argiles et marnes) par écoulement permanent (même à faible débit) participe à la déstabilisation du site par ramollissement d'où la réduction des caractéristiques physico- mécaniques qui induit à la perte de résistance.

Le taux très élevé de gypse dans le sol et sa dissolution, en présence d'une concentration permanente des eaux, modifie la portance du sol et le rend ainsi vulnérable par perte des caractéristiques mécaniques initiales.

La vérification de la stabilité a été effectuée en 1er lieu

A l'état actuel du terrain.

Après renforcement par un rideau de pieux.

Après renforcement par un mur de soutènement sur pieux.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Le talus est considéré comme instable à son état actuel, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=0.86$.

Sécurité minimal $F_s=0.86$.

Le cercle de rupture le plus profond se situe à environ 10m à partir du pied de talus qui correspond à un $F_s = 0.91$.

Le talus est considéré comme instable après renforcement par un rideau de pieux de 1.20m de diamètre et une fiche de 12m, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=0.87$.

Le cercle de rupture le plus profond se situe à environ 10m à partir du pied de talus qui correspond à un $F_s = 0.93$.

Le talus est considéré comme stable après renforcement par mur de soutènement de 40cm d'épaisseur et de 4m de hauteur, fondé sur pieux 12m de profondeur, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=1.00$.

La vérification de la stabilité a été effectuée en 2ème lieu :

A l'état actuel du terrain en appliquant la condition de passage et le séisme.

Après renforcement par un rideau de pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.

Après renforcement par un mur de soutènement sur pieux en appliquant la condition de passage et le séisme.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Le talus est considéré comme instable à son état actuel en appliquant la condition de passage et le séisme, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=0.95$.

Le talus est considéré comme instable après renforcement par un rideau de pieux de 1.20m de diamètre et une fiche de 12m en appliquant la condition de passage et le séisme, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=0.96$.

Dans ces deux cas de figures, l'instabilité affecte, seulement les formations de surface. Le talus est considéré comme stable après renforcement par mur de soutènement de 40cm d'épaisseur et de 4m de hauteur, fondé sur pieux 12m de profondeur en appliquant la condition de passage et le séisme, avec un facteur de sécurité minimal $F_s=1.03$.

La vérification du système de confortement préconisé par le client (mur de soutènement sur pieux) a été vérifié à l'aide du logiciel K-rea V4 0.20, à savoir la vérification de défaut de butée et la stabilité du massif à l'ELU à court terme et à long terme (voir page 39 et40).

La contrainte admissible pour des fondations profondes réalisées sur des pieux de diamètre

$\varnothing = 1.20\text{m}$ avec une fiche de 12m est indiquée dans le tableau suivant:

Type de fondation	Diamètre (m)	Fiche du pieu (m)	Force nominale (tf)	Contraintes admissibles (bars)
(pieux forés)	1.20	12.00	292.45	29.84

Recommandations :

- Il est impérative de réaliser une tranchée drainante derrière le mur, afin d'éviter toute circulation d'eau pour assurer la stabilité du talus.
- Ces tranchées devront être équipées par de drains perforés en PVC , dont la pente doit être orientée vers un exutoire principal.
- Le fond de la tranchée drainante doit faire l'objet de mise en place d'une membrane de géotextile.
- Le matériau de remblai qui doit être mis derrière le mur doit être sélectionné. L'idéal serait un matériau drainant contenant très peu de fines.
- Pour ne pas saturer le sol d'assise, collecter les eaux provenant à travers des barbacanes prévues au niveau du mur, en réalisant une cunette en aval et tout le long du mur de soutènement. Elle sera orientée vers un exutoire gravitaire. La pente doit être étudiée pour faciliter l'écoulement et éviter ainsi la stagnation des eaux.
- Procéder au drainage superficiel par la réalisation de fossés bétonnés en amont du mur de soutènement. La pente correspondante doit être orientée vers un exutoire principal.
- Procéder à la reprise ou à la réfection des tubes en PVC existants dans le site

Conclusion générale et recommandations

Ce modeste travail nous a donné l'opportunité de mettre en pratique les connaissances acquises durant notre parcours universitaire et nous a permis de nous imprégner d'un des phénomènes importants que traite la géotechnique. Nous avons ainsi pu nous confronter à la réalité du terrain et connaître les étapes essentielles à suivre lors de l'étude d'un glissement de terrain.

Constantine est l'un des villes d'Algérie caractérisée par la présence de nombreuses pentes, et par conséquent une géomorphologie très complexe, elle fait partie des régions soumises à un double régime climatique avec un réseau hydrographique dense.

Elle présente une couverture post-nappes MioplIOCène et quaternaire conglomératique, la tectonique néogène post-nappes et quaternaire, se distingue par des plis d'échelle kilométrique à grand rayon de couverture, et des failles à rejet vertical important.

L'étude climatologique de la région d'étude permet de dire que la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride où l'hiver est pluvieux et froid et l'été sec et chaud. Les variations des valeurs de précipitations mensuelles et l'irrégularité des données interannuelles d'une période à une autre dépendent de l'altitude et la latitude

Les glissements de terrains sont très souvent des accidents graves et de grande ampleur, qui provoquent des dégâts matériels considérables et peuvent causer des pertes en vies humaines.

L'étude géotechnique a permis de tracer un levé topographique du site de glissement en plan et en coupe, ce qui a permis de visualiser la morphologie de ces glissements et son prolongement dans le sol.

Nous avons pu obtenir la surface et le volume de glissement préalablement choisi avec le logiciel PhotoScan pro dans différentes périodes, les résultats montrent que ces glissements grandissent chaque année et cela est dû probablement aux facteurs climatiques et aux facteurs anthropiques.

L'analyse de stabilité a permis de ressortir les points suivants :

Les mouvements constatés entre le profil 249 et le profil 252 relèvent de la combinaison de plusieurs facteurs entre autres:

- Les surpressions interstitielles qui peuvent être l'une des principales causes des désordres enregistrées sur site vu l'existence des résurgences d'eau, à travers celui-ci
- La présence de plusieurs sources (03 sources) qui se succèdent, globalement, sur le même alignement, enregistrées au niveau du versant situé en amont de la zone en désordre.
- La 1ère source se situe à environ 700m de celui-ci.
- L'évolution de ce mouvement est lié à la présence d'une concentration particulière de circulation des eaux qui a créé une dépression relativement large.

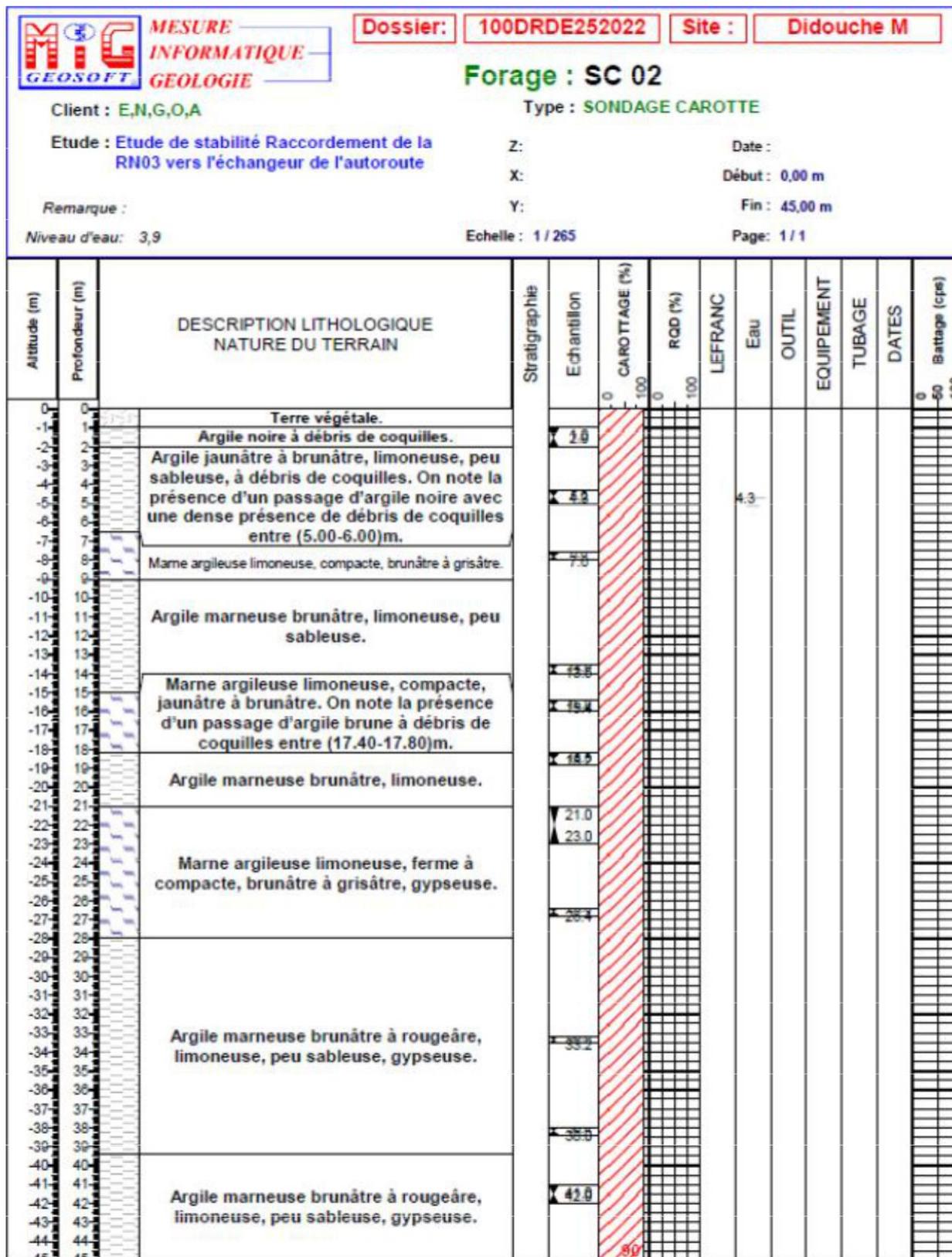
- L'érosion de ces berges constitue le principal facteur déstabilisateur du site, en plus de la présence de plusieurs tubes en PVC qui passent en travers le talus dont certains sont détériorés et d'autres évacuent les eaux collectées à débit non négligeable directement sur le talus.
- La saturation continue des formations géologiques rencontrées (argiles et marnes) par écoulement permanent (même à faible débit) participe à la déstabilisation du site par ramollissement d'où la réduction des caractéristiques physico- mécaniques qui induit à la perte de résistance.
- Le taux très élevé de gypse dans le sol et sa dissolution, en présence d'une concentration permanente des eaux, modifie la portance du sol et le rend ainsi vulnérable par perte des caractéristiques mécaniques initiales.

Recommandations :

- Il est impérative de réaliser une tranchée drainante derrière le mur, afin d'éviter toute circulation d'eau pour assurer la stabilité du talus.
- Ces tranchées devront être équipées par de drains perforés en PVC , dont la pente doit être orientée vers un exutoire principal.
- Le fond de la tranchée drainante doit faire l'objet de mise en place d'une membrane de géotextile.
- Le matériau de remblai qui doit être mis derrière le mur doit être sélectionné. L'idéal serait un matériau drainant contenant très peu de fines.
- Pour ne pas saturer le sol d'assise, collecter les eaux provenant à travers des barbacanes prévues au niveau du mur, en réalisant une cunette en aval et tout le long du mur de soutènement. Elle sera orientée vers un exutoire gravitaire. La pente doit être étudiée pour faciliter l'écoulement et éviter ainsi la stagnation des eaux.
- Procéder au drainage superficiel par la réalisation de fossés bétonnés en amont du mur de soutènement. La pente correspondante doit être orientée vers un exutoire principal.
- Procéder à la reprise ou à la réfection des tubes en PVC existants dans le site

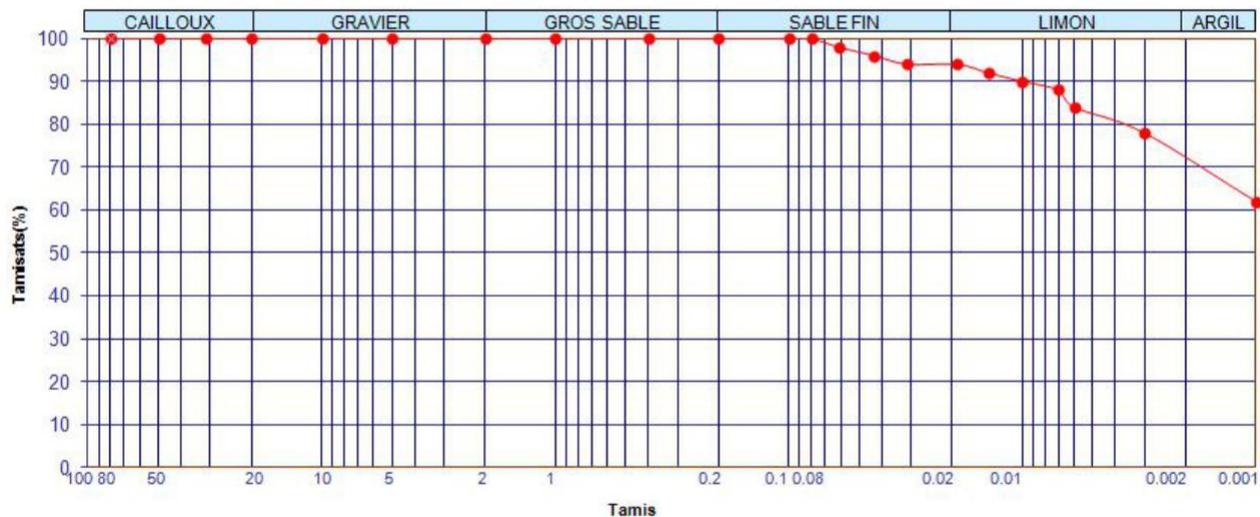
- AMIRECHE H., 2001** : L'eau, le substrat, la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du Tell Nord Constantinois (Algérie)., Thèse de doctorat, Univ. Mentouri Constantine, 226 p.
- ARIS Y., 1994** : Etude tectonique et micro tectonique des séries jurassiques à plio-quadernaires du Constantinois central (Algérie nord orientale) caractérisation des différentes phases de déformations. Doctorat d'université, Nancy I, 215p.
- BENABBAS C., 1991** : Etude néotectonique du Caucase oriental. PhD, Univ. Lomonossov, Moscou, 147p.
- BOUAFIA.A (2009)** : Conception et calcul des ouvrages géotechniques. Edition pages bleus, Alger, 386p.
- BENYAHIA. M et DJILALI BEN FERDJS (2010)** : Analyse et modélisation d'un glissement de terrain.
- BENABBAS C., 2006** : Evolution Mio-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale : apport de la photogéologie et analyse morpho structurale. Thèse de doctorat, Univ. Mentouri Constantine, 256 p.
- BOUILLIN J P., 1977** : Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de "Collo" et "d'EI Milia" (Algérie). Thèse SC., Paris VI, 551 p., 127 fig., 2 pl.h.t.
- BOUNIF M O A., 1990** : Etudes sismotectoniques en Algérie du nord : contribution à l'étude d'un tronçon de la chaîne tellienne à partir des répliques du séisme de Constantine du 27 octobre 1985. Thèse de Magister, U.S.T.H.B, Alger, 152p.
- BLONDEAU F., KHIZARD JIAN J.P,** Glissement d'un remblai sur versant à Monnetier-Mornex Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées N° Spécial "La stabilité des talus" – 1976.
- Cartier G. (1986)** : La stabilisation des pentes instables par clouage. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Bulletin de liaison des LPC, 141, 45-56.
- CHADI M., 1991** : Etude géologique de monts de Ain Mila (Algérie orientale). Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy1, 191p
- CHADI M., 2004** : Cadre géologique et structural des séries créacées néritiques du constantinois (Est-Algérien). Thèse de doctorat d'Etat. Univ. Constantine, 219 p.
- COIFFAIT P E., 1992** : Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sciences. Nancy I.P.502.
- CHERGUI Youcef,2011** : Etude de glissement de terrain de l'extension de la capacité de la RN1 PK 82+700 (Médéa) avec proposition de solution de stabilisation, projet fin d'étude. École national supérieure des travaux publics.
- DURVILLE.J-LetSEVE.(1996)** : Stabilité des pentes Glissement en terrain meuble. Editions Techniques de l'ingénieur, réf. C254, 16p
- DELEAU P., 1938** : Etude géologique des régions de Jemmapes « Hammam Meskoutine » et du col des oliviers. Ibid (2). N°.14. T.1. 55P.Alger
- DURAND DELGA M., 1955** : Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Publ. serv. Carte géol. Algérie, Bull. n° 24, 533 p., 143 fig., 16 pl., 10 pl.h.t.
- DURAND DELGA M., 1963** : Essai sur la structure des domaines émergés autour de la Méditerranée occidentale. Geologische Rundschau, Bd 53. DURAND DELGA M., 1969 : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie.
- Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39, pp 89-131, 9 fig.120**
- FARAH A S., 1991** : Etude du comportement hydro chimique d'un Oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques : l'Oued Rhumel, Constantinois Algérie. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans. France.
- GELARD J P., 1969** : Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch Mauritanien (Grande Kabylie). Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XI, pp. 676-686, 3 fig., 1 pl.

- GUELLAL S. et AL. 1973** : Permis d'Ain Reggada, rapport interne. (BEICIP-SONATRACH), 19 fig., 27 pl. 167p.
- GUIRAUD R., 1973** : Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sc. Univ. Nice, 270p. 114 fig. 12 pl. h.t.
- HARBI A., 2006** : Evaluation de l'Aléa Sismique en Algérie du Nord par la Modélisation de l'Input Sismique dans les Zones Urbaines et L'Etablissement d'un Catalogue. Doctorat F.S.T.G.A.T/USTHB, Alger, 222p.
- Hamidi M , (1994)** : Etude géotechnique de la stabilité des talus dans le quartier de Zerga de la mine d'Ouenza. Mémoires de Magistère. ENP. Alger. 162 p.
- HOLTZAPFFEL T., 1985** : Les minéraux argileux, préparation, analyse diffractométrique et détermination. Publication n°12 Société géologique du nord. I.S.S.N. 0291-3062. Villeneuve d'Ascq. France.
- JOLEAUD L., 1912** : Etude géologique de la chaîne numidique des monts de Constantine. MontPellier, Montane, Sicardiet, Valentin Ed. Thèse. Paris.
- KOSTENKO N P., 1971** : Evolution du relief des pays montagneux. (En langue russe). Edition Missle, Moscou, 367p.
- MARRE A., 1987** : Etude géomorphologique du Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne. Thèse d'état, Aix-Marseille II, 559p.
- MAHDJOUR Y. et MERLE O., 1990** : Cinématique des déformations tertiaires dans le massif de la Petite Kabylie (Algérie orientale). Bull. Soc. Géol. France.
- RAOULT J F., 1974** : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord - Constantinois, Algérie). Mém. Soc. Géol. Fr., N.S., t. LIII, n°121, 164 p., 62 fig., 11 pl.h.t. Rapport interne, pp 1-31.
- R.M Faure**, l'évolution des méthodes de calcul en stabilité des pentes (centre d'étude des tunnels 25. Avenue François Mitterant) . • Samba S, (1991). Etude de la stabilité des talus de la carrière de Bouzareah. Mémoire de PFE. ENP. Alger. 114 p.
- SLIMANI Mohamed Salah Eddine ; BOUHALIT Ettahir, 2016** : Etude d'un glissement de terrain en zone urbain à Skikda, mémoire pour diplôme d'ingénieur d'état. Ecole national supérieure des travaux publics.
- SAVORNIN J., 1920** : Etude géologique de la région du Hodna et du plateau setifien. Bull. du S.C.G.A., 2ème série stratigraphie, descriptions régionales N° 7.
- VILA J. M., 1980** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens. Thèse Sc. Univ. Paris VI, 3 vol, 663 p., 199 fig., 40 pl., 7 pl.h.t.
- WILDI W., 1983** : La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. géog. Phys., (24), 3, pp 201-297.





Dossier : DL DE RG 81 20 89
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur: 3.50-3.90 m
 Date : 02/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057

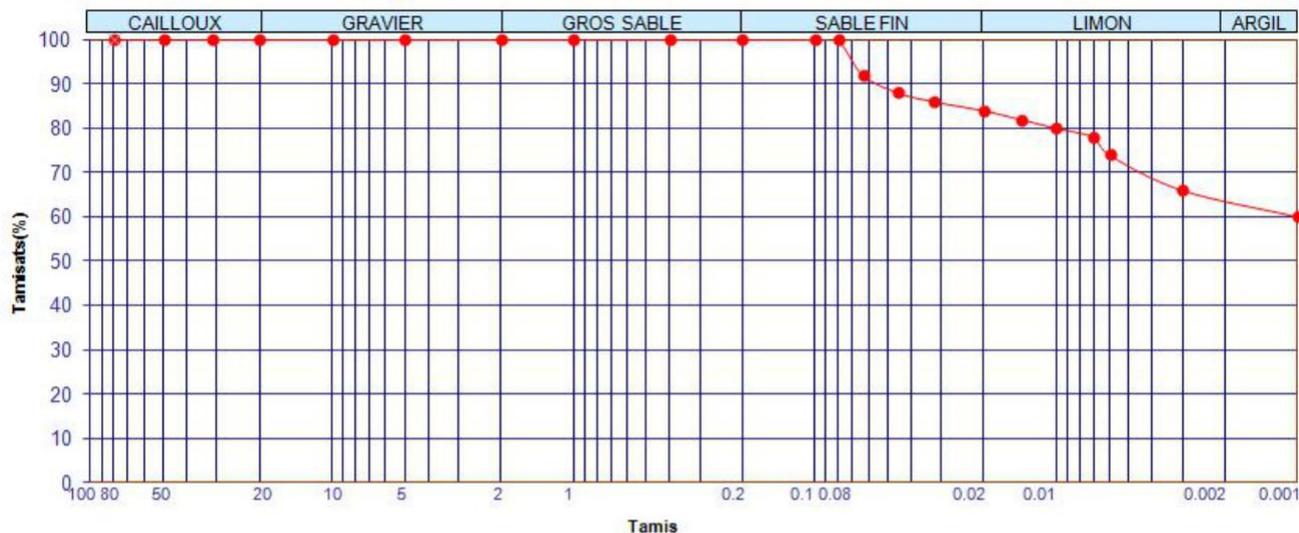


Dossier : DL DE RG 81 20 89
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur: 6.50-6.80 m
 Date : 02/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057

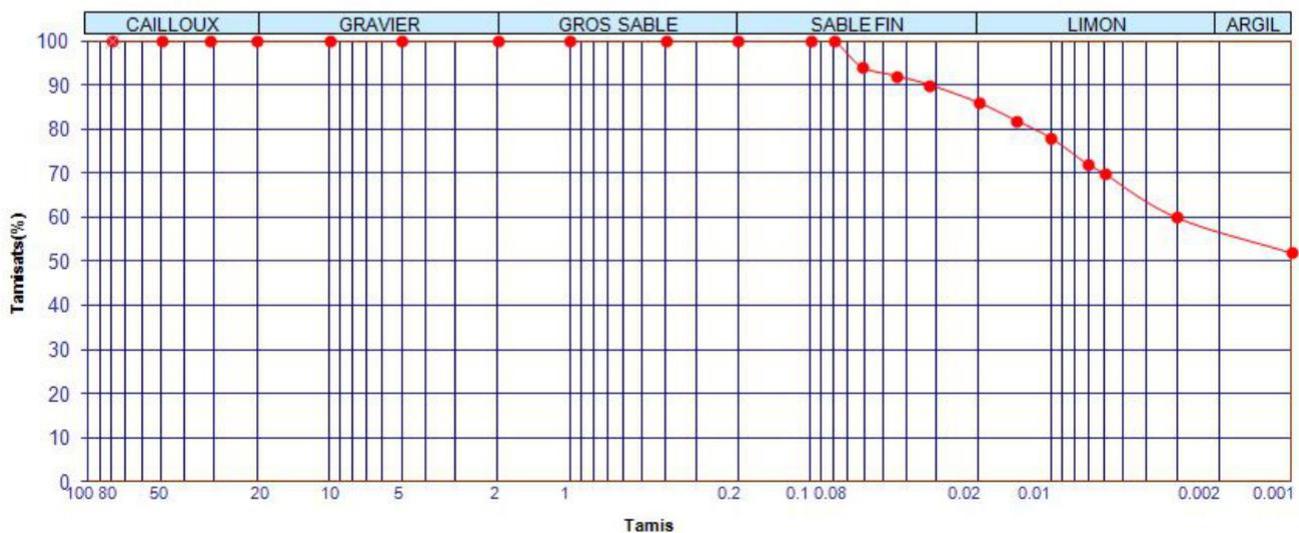




Dossier : DL DE RG 81 20 89
 Provenance : Glissement de terrainsur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur:11.50-11.90 m
 Date : 07/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057

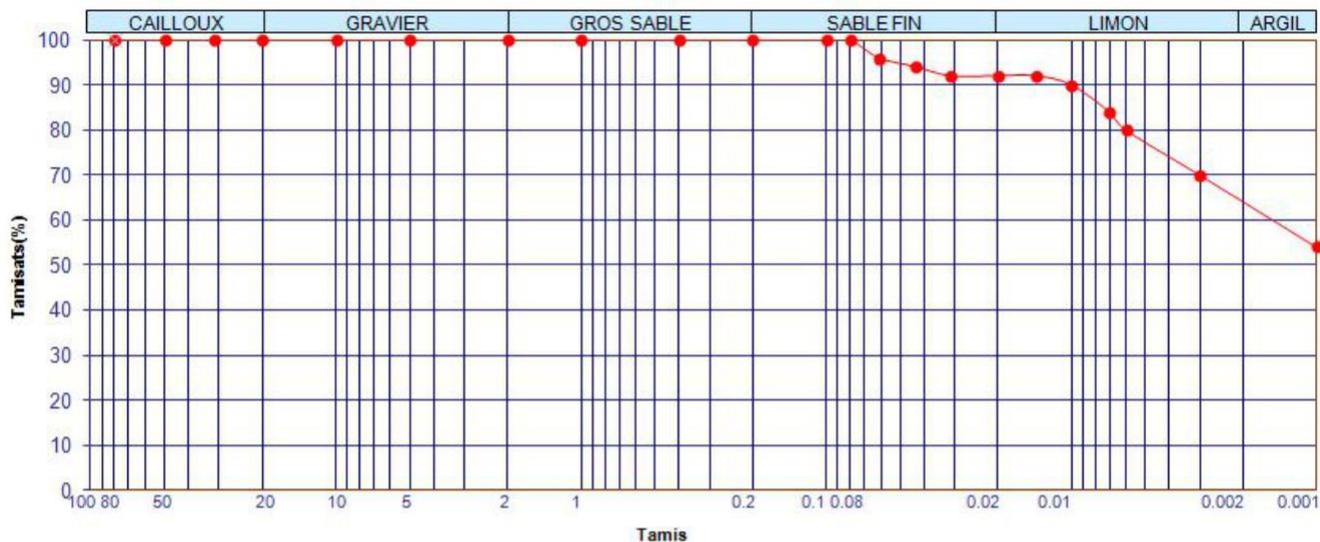


Dossier : DL DE RG 87 20 94
 Provenance : Glissement RN3 profil 250 Didouche - zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur:16.00-16.30 m
 Date : 06/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057

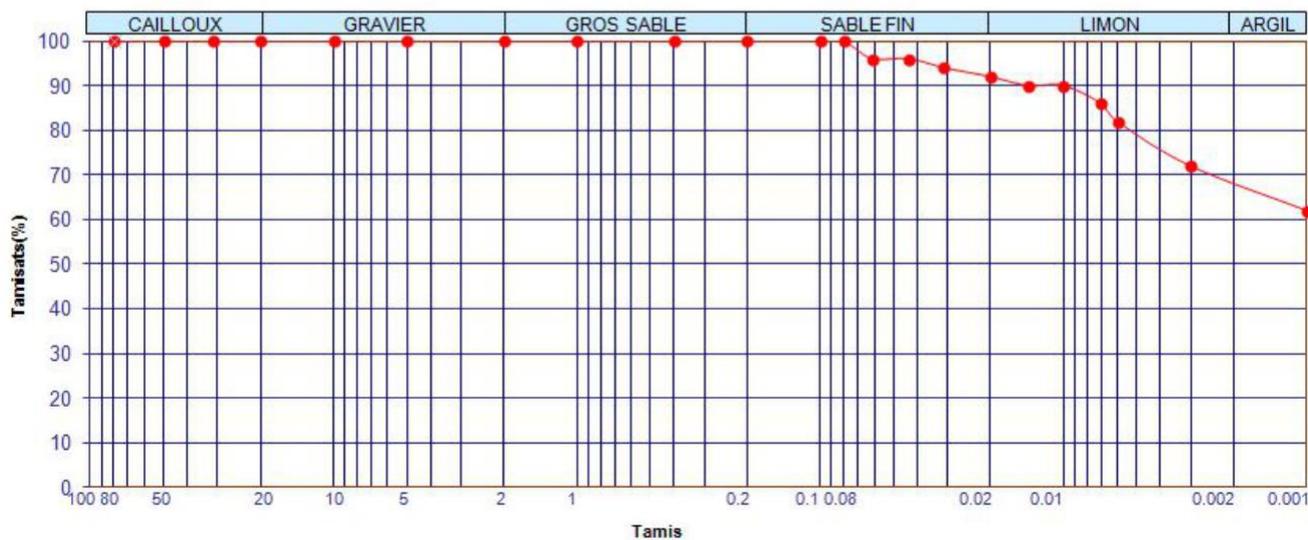


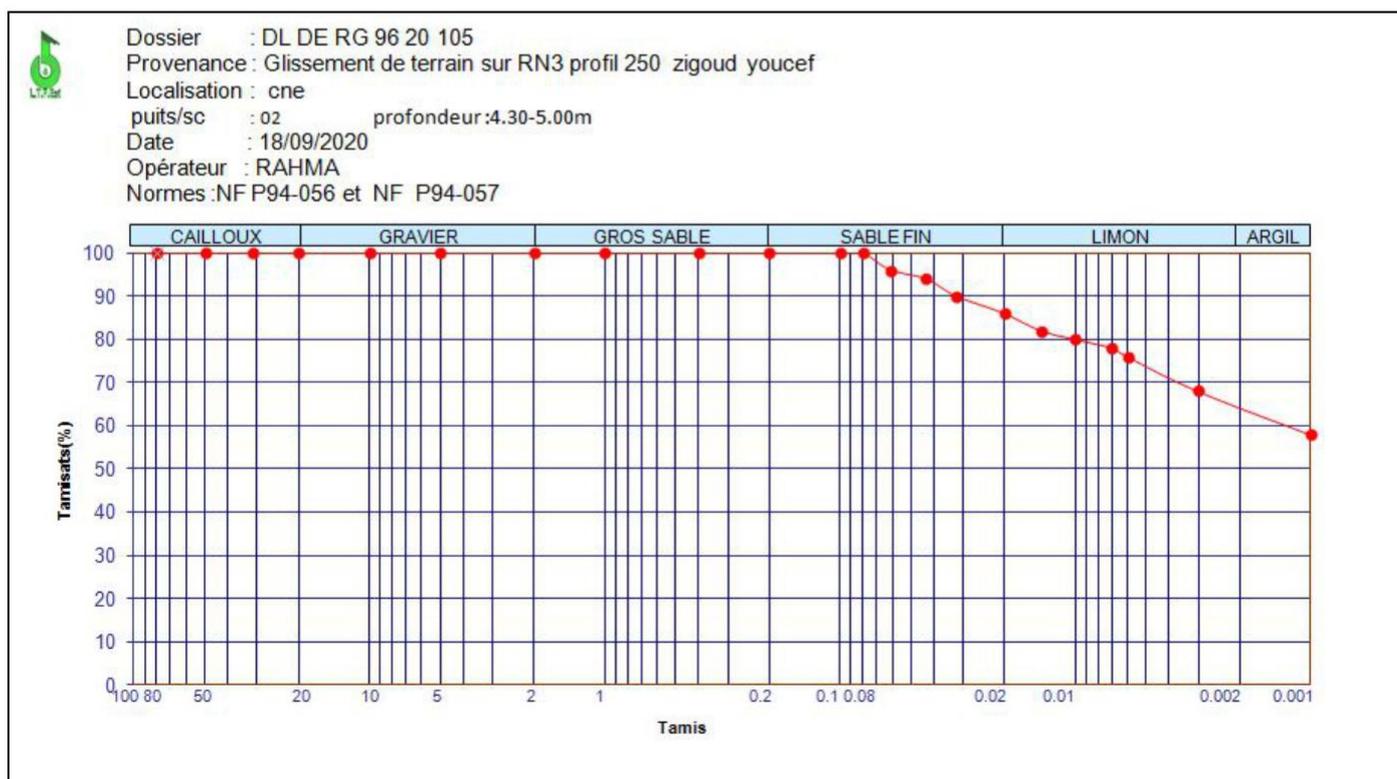
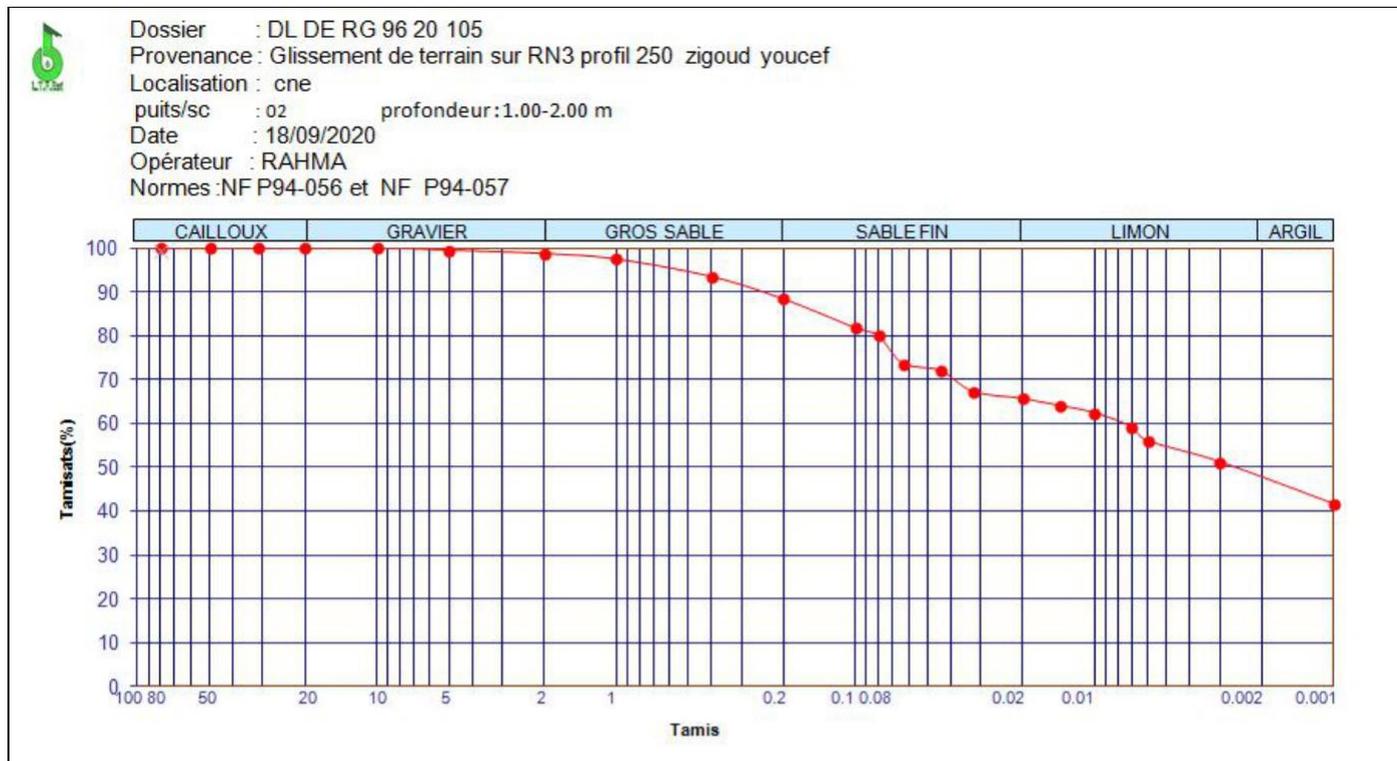


Dossier : DL DE RG 87 20 94
 Provenance : Glissement RN3 profil 250 Didouche - zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur : 21.00-21.50 m
 Date : 06/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057



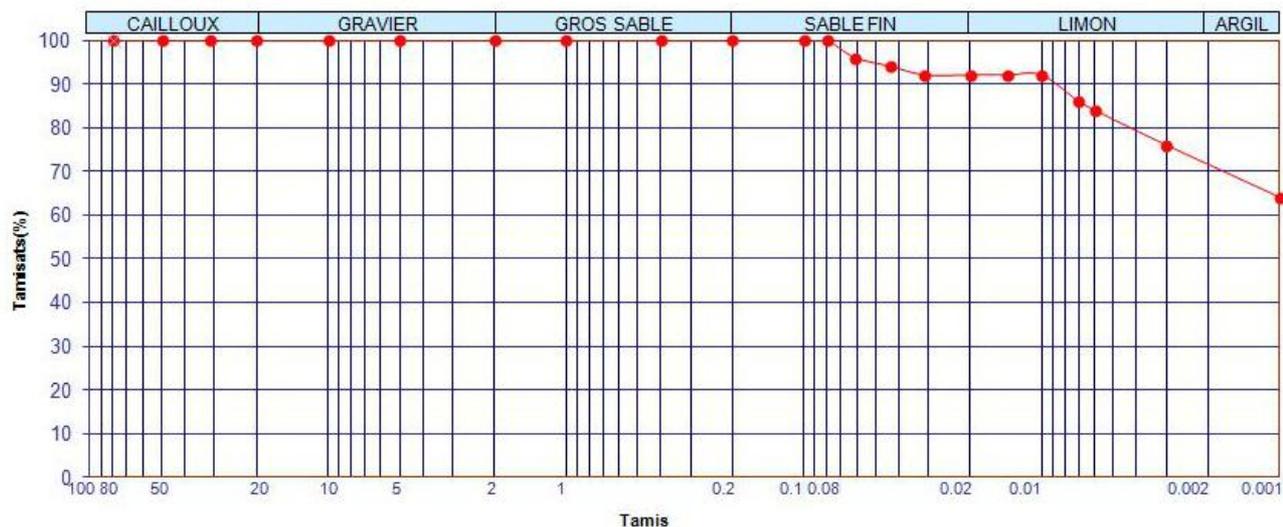
Dossier : DL DE RG 87 20 94
 Provenance : Glissement RN3 profil 250 Didouche - zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 01 profondeur : 29.10-29.50 m
 Date : 06/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057



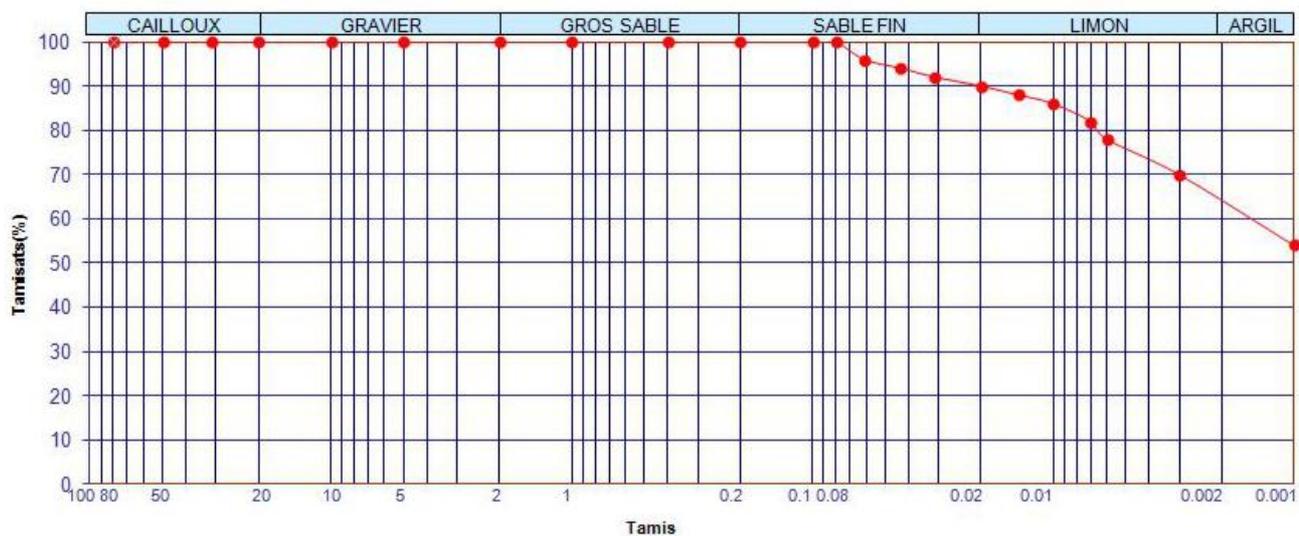




Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur:7.60-8.00 m
 Date : 16/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057

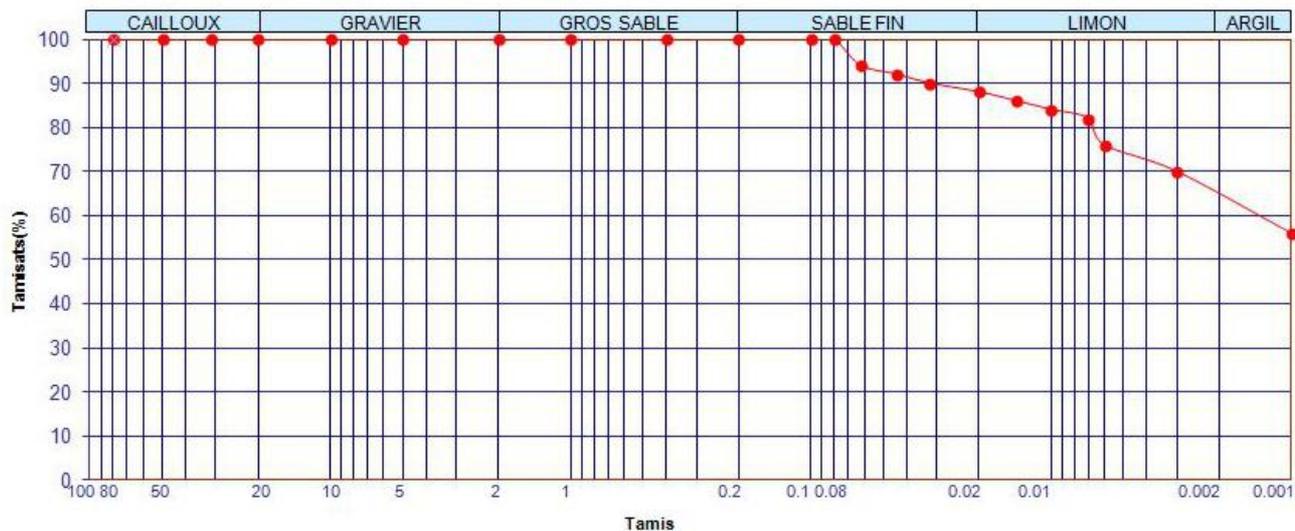


Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur:13.50-14.00 m
 Date : 18/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057

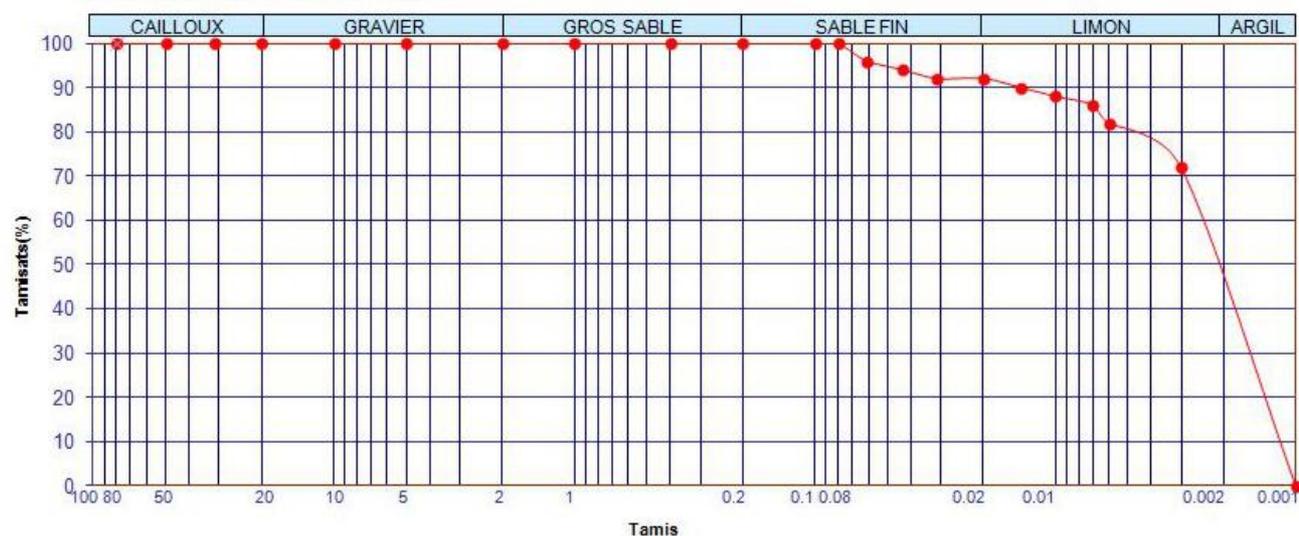




Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur: 15.40-16.00 m
 Date : 16/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057

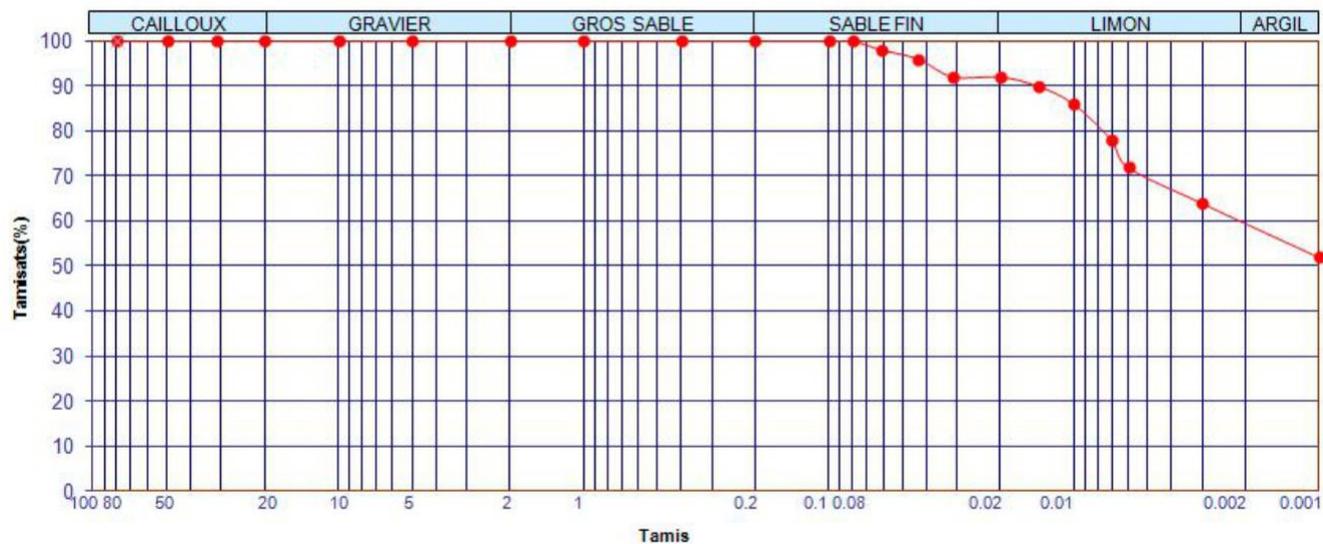


Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur: 18.20-18.80m
 Date : 18/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes : NF P94-056 et NF P94-057

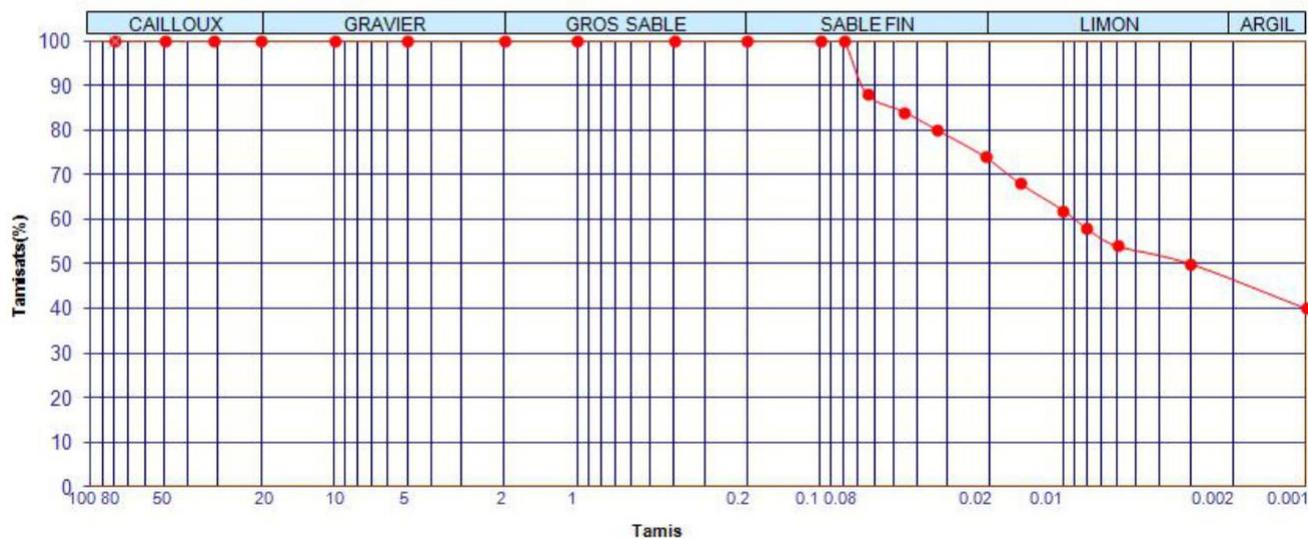


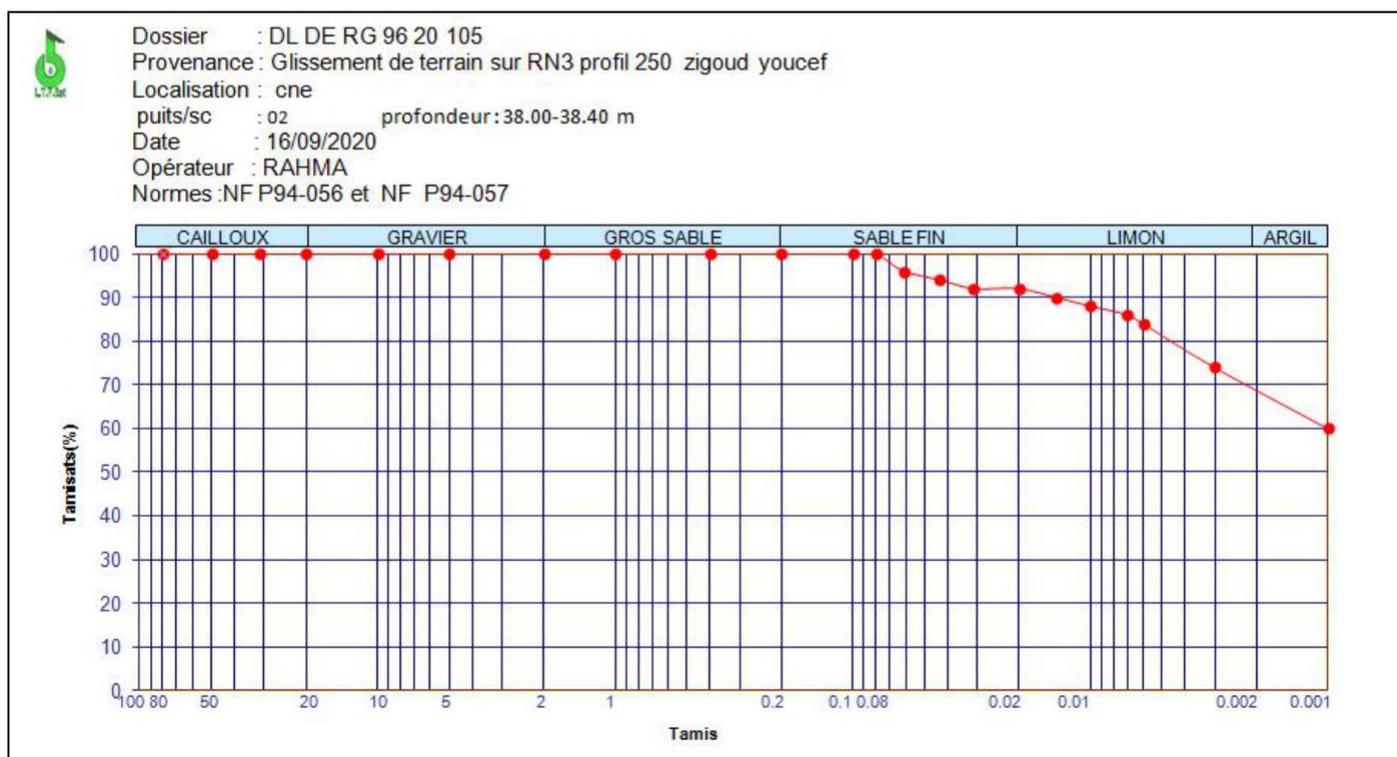
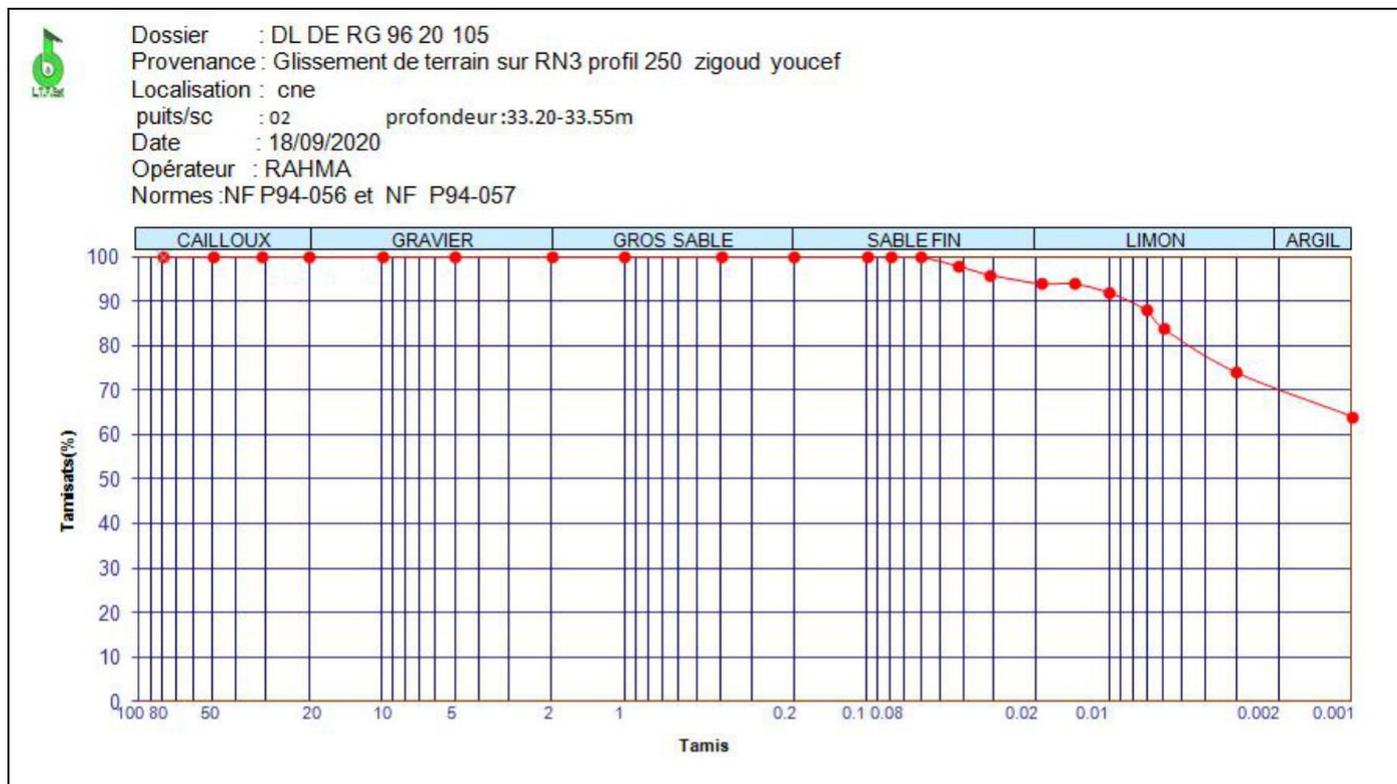


Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur:21..00-23.00m
 Date : 18/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057



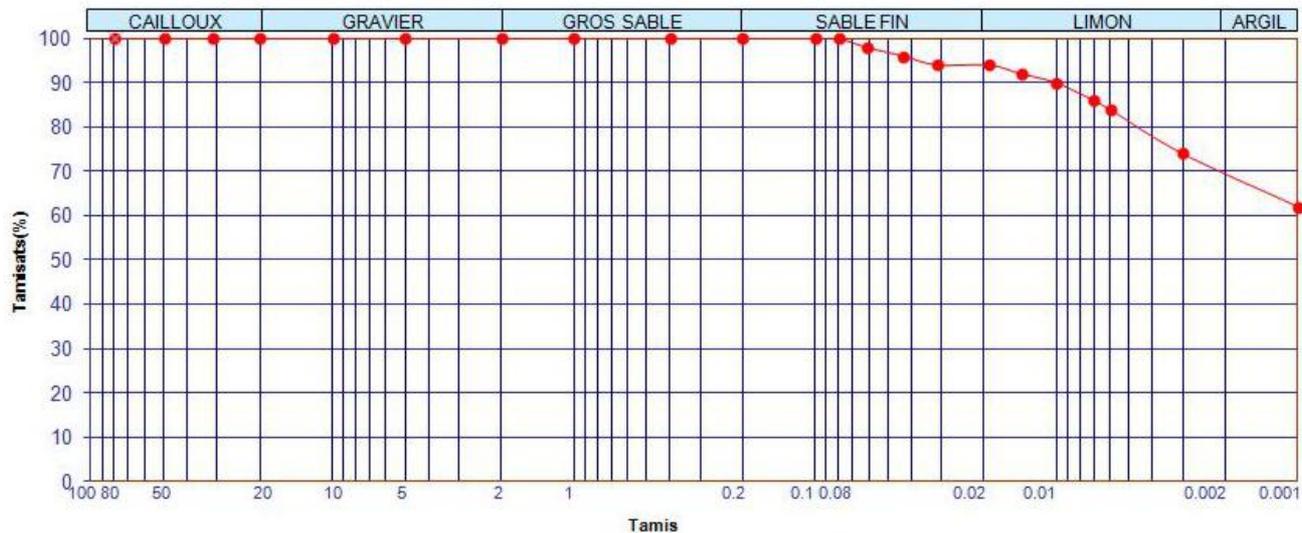
Dossier : DL DE RG 96 20 105
 Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
 Localisation : cne
 puits/sc : 02 profondeur:26.40-26.80m
 Date : 18/09/2020
 Opérateur : RAHMA
 Normes :NF P94-056 et NF P94-057

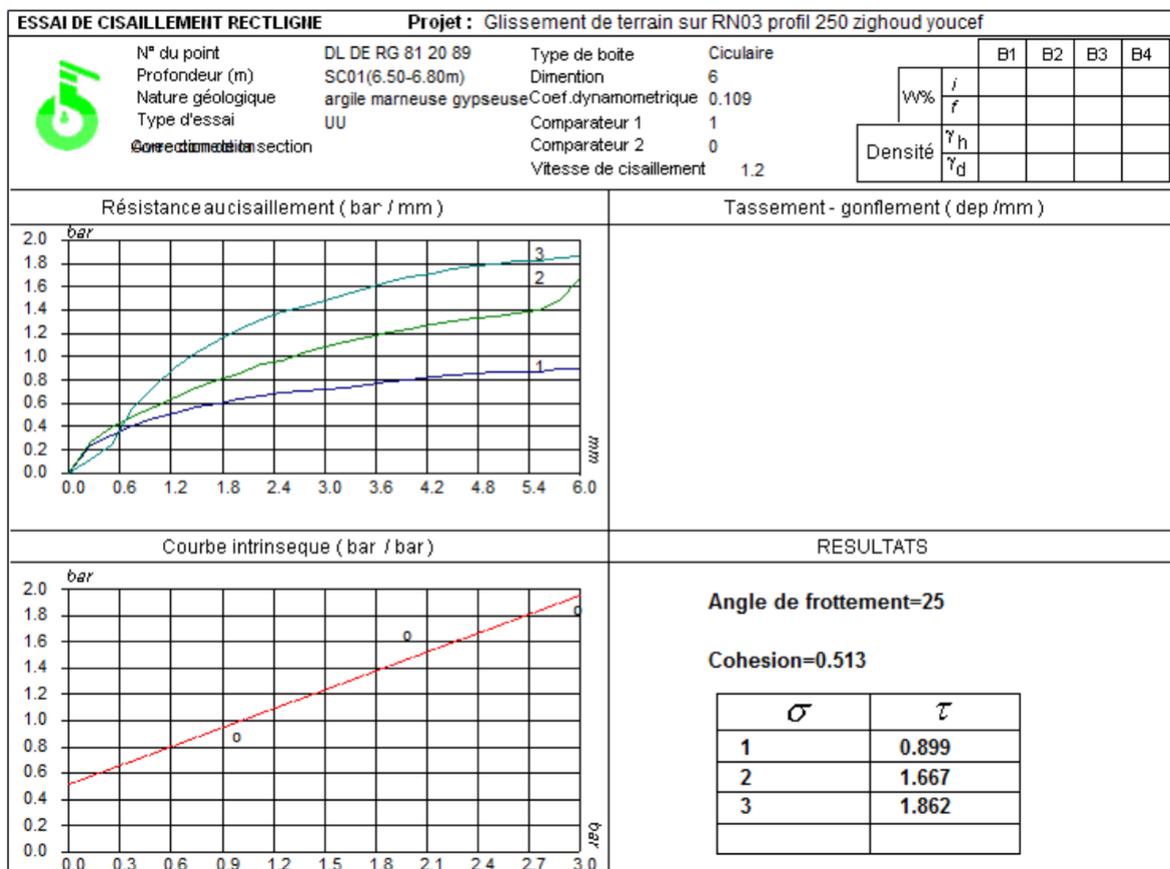
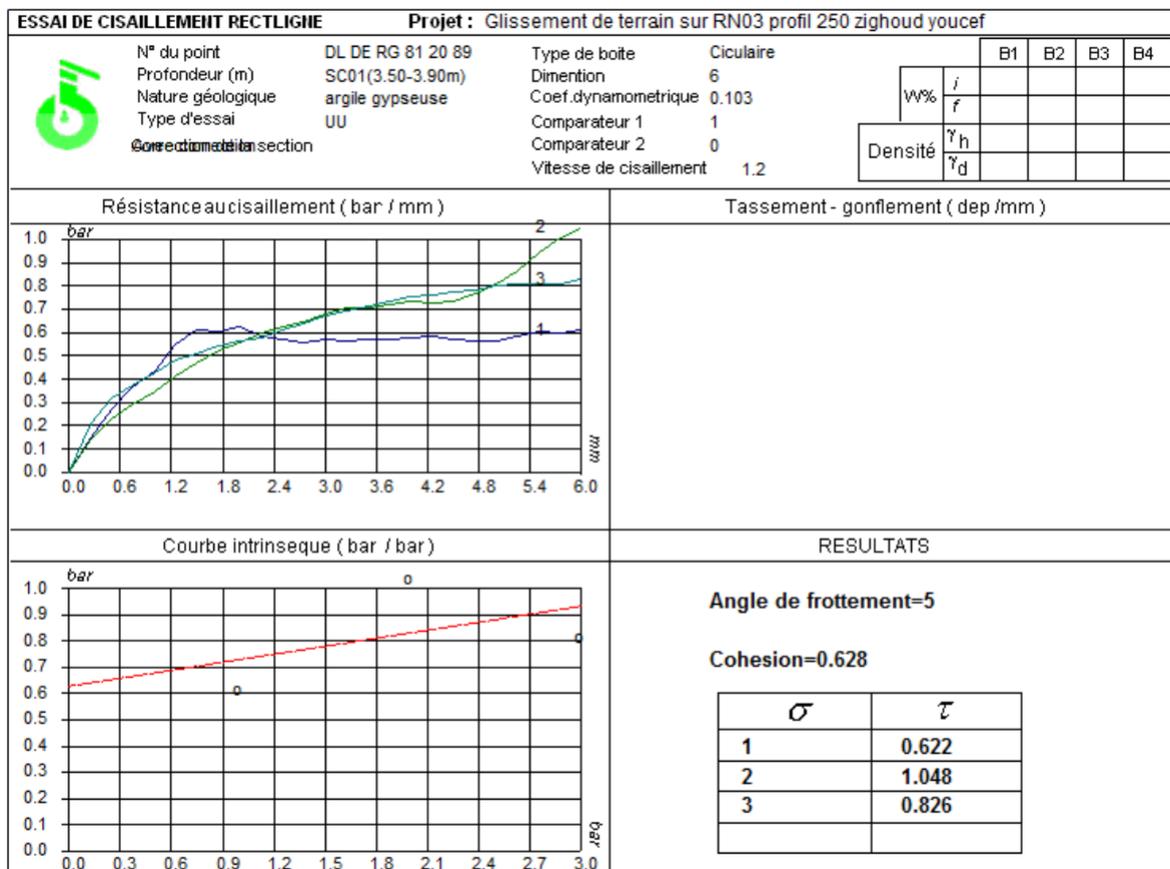


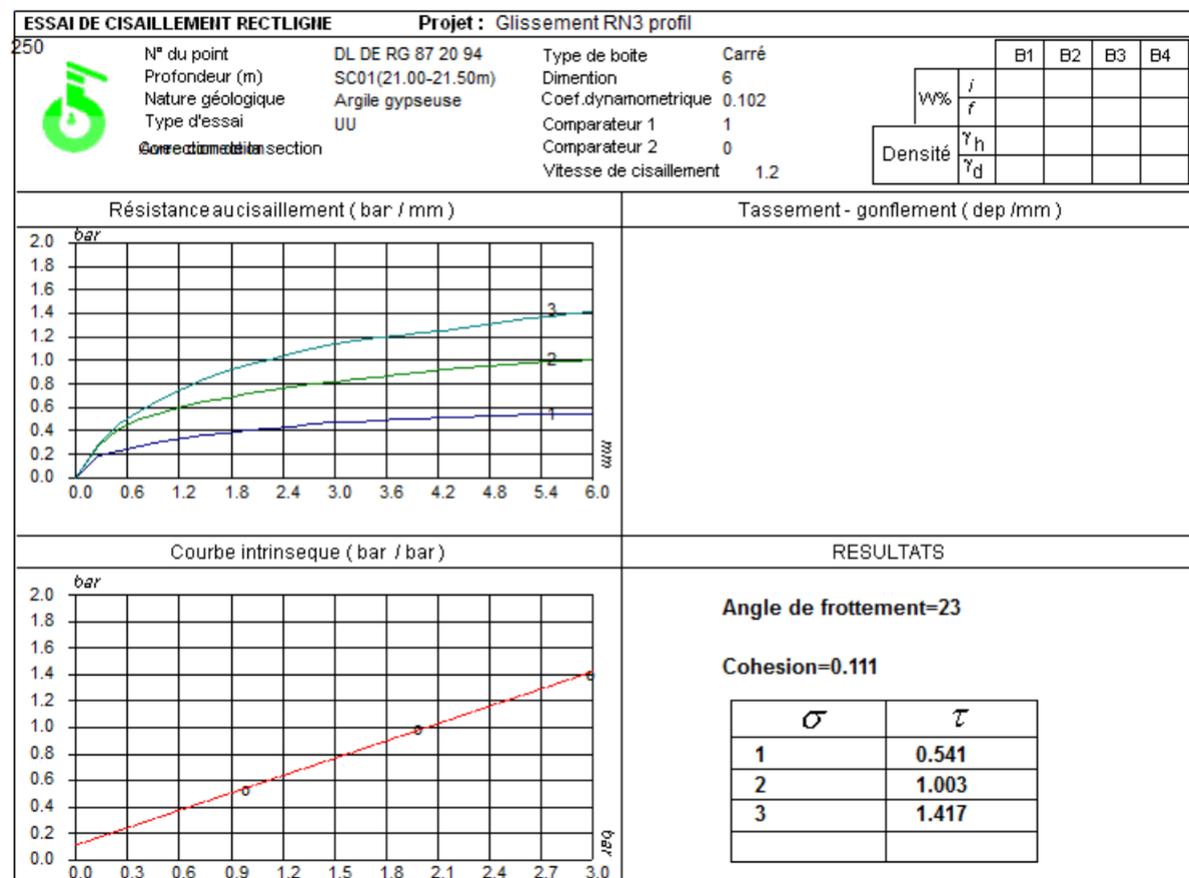
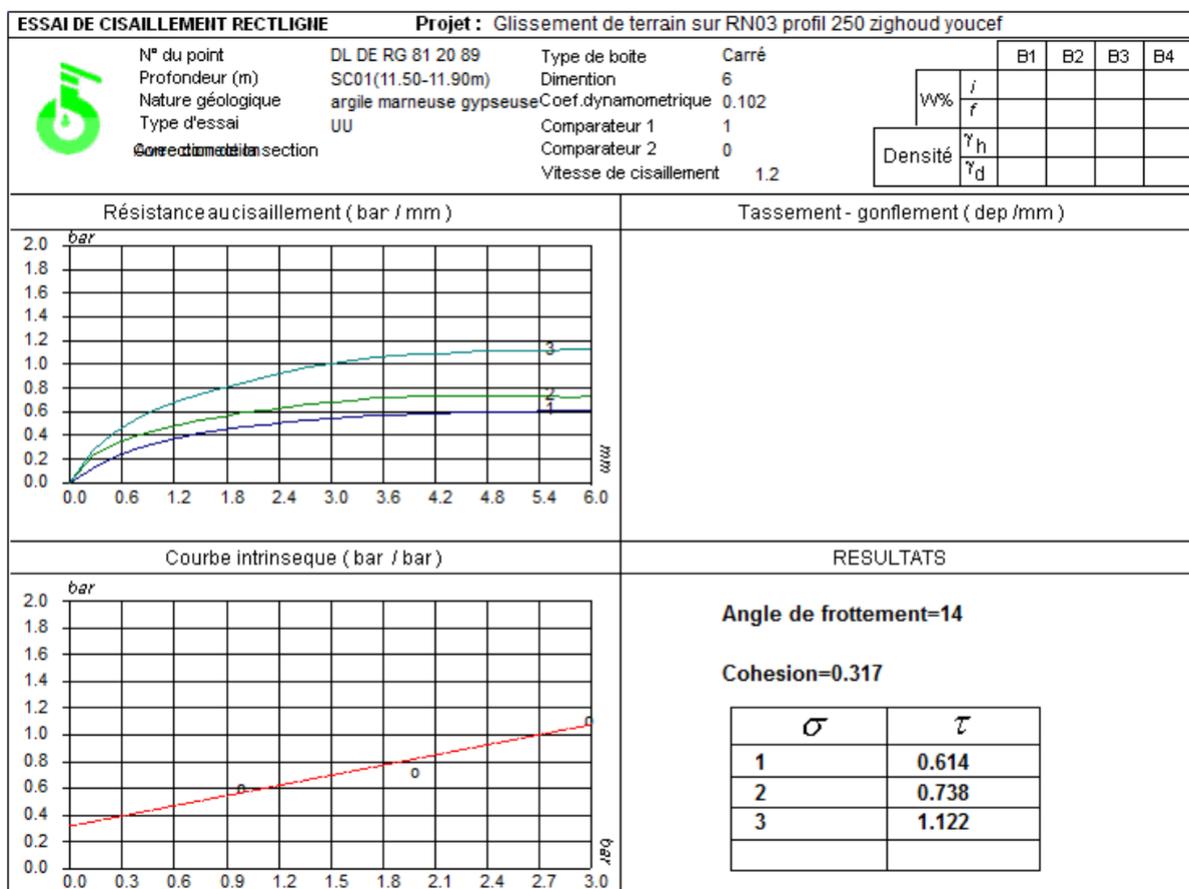


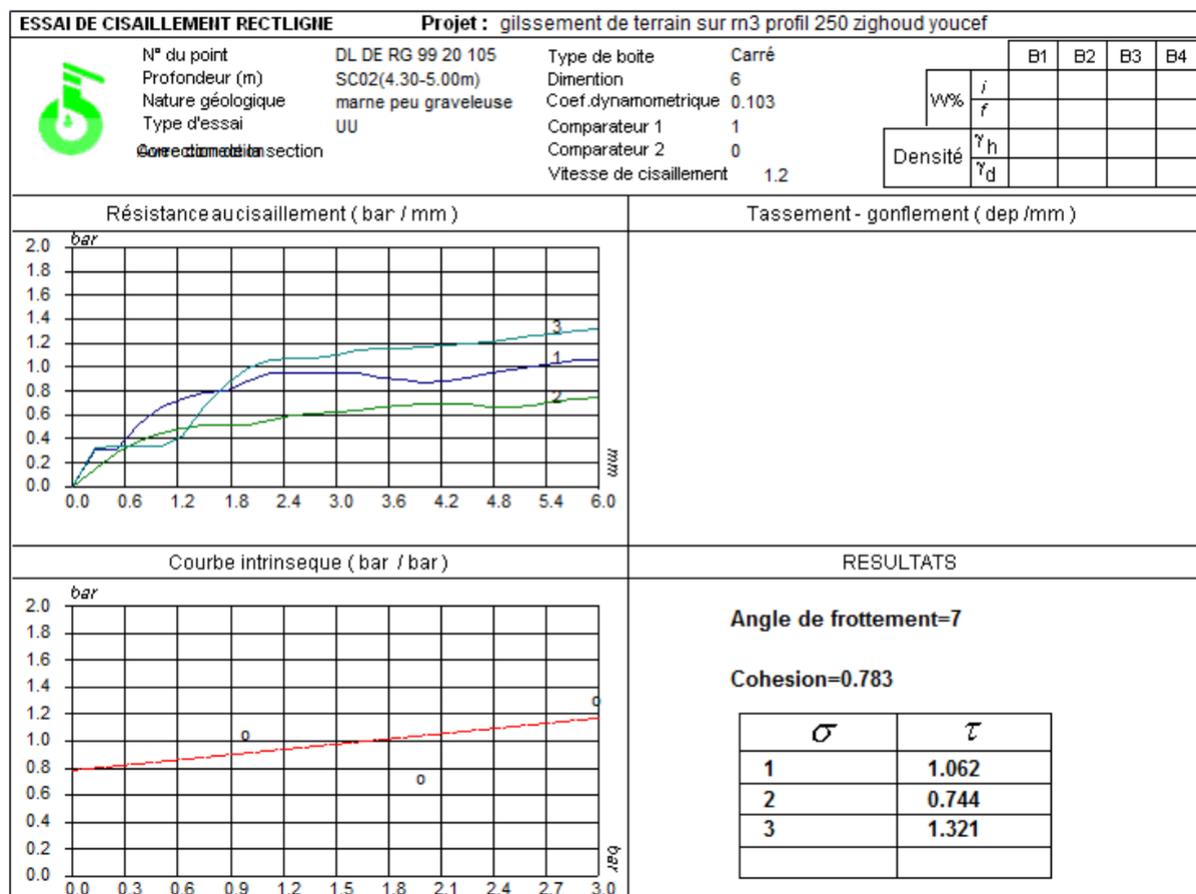
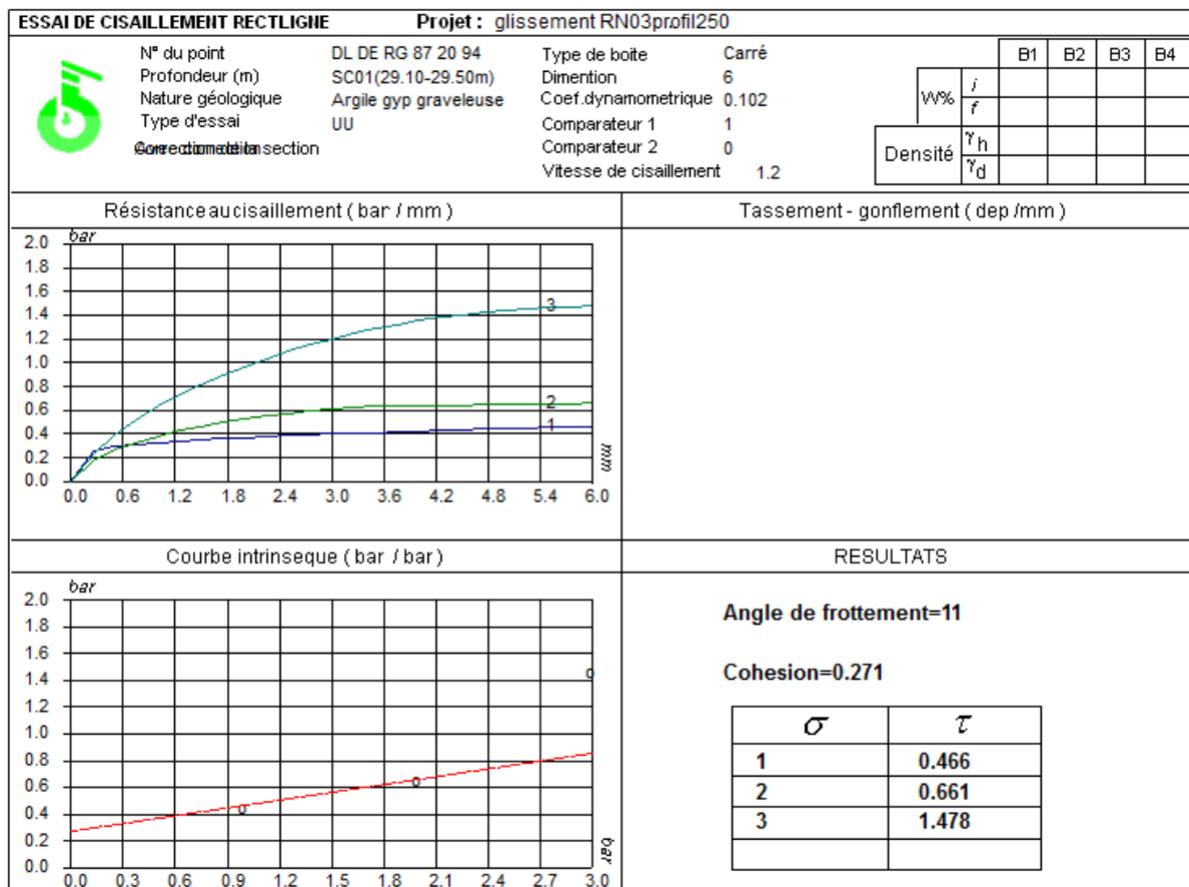


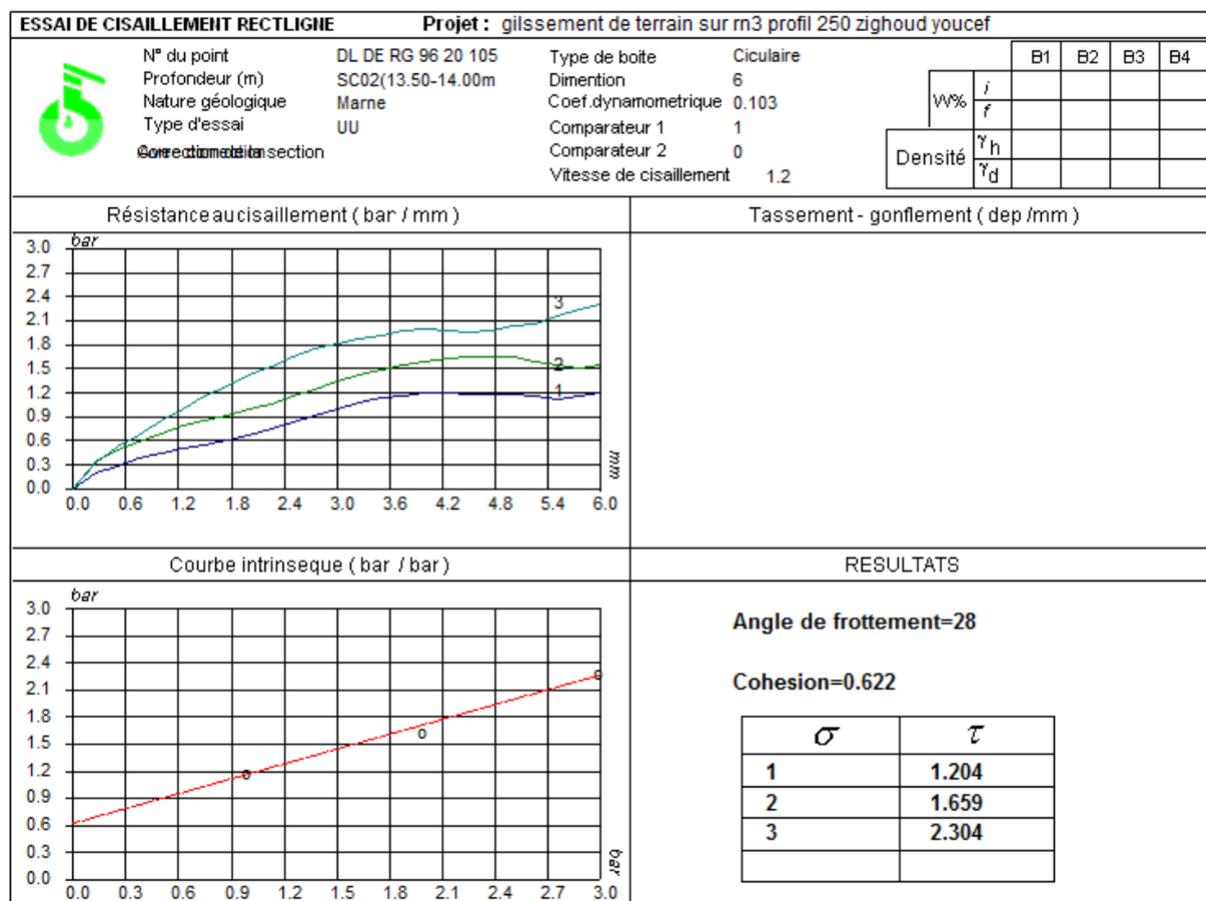
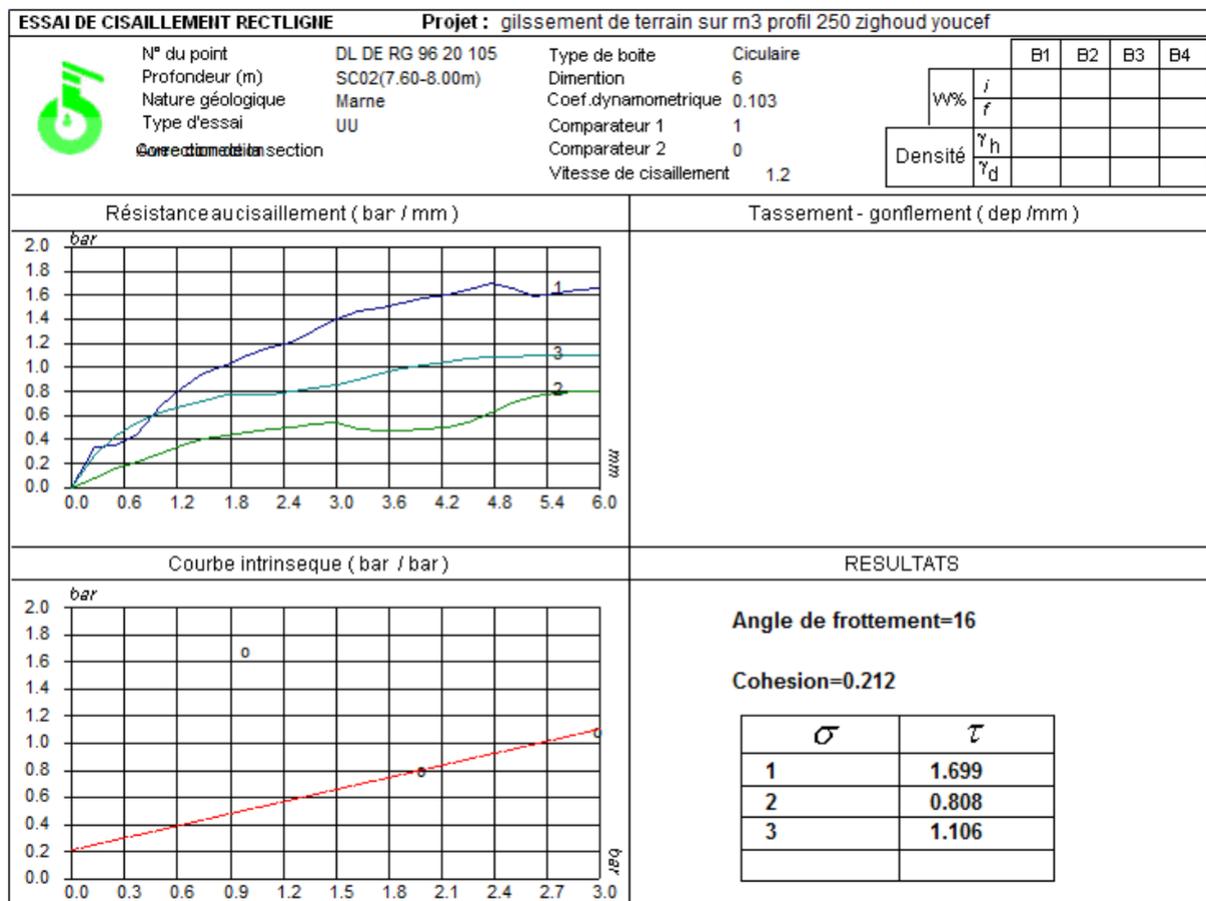
Dossier : DL DE RG 96 20 105
Provenance : Glissement de terrain sur RN3 profil 250 zigoud youcef
Localisation : cne
puits/sc : 02 profondeur:41.00-42.00m
Date : 18/09/2020
Opérateur : RAHMA
Normes :NF P94-056 et NF P94-057

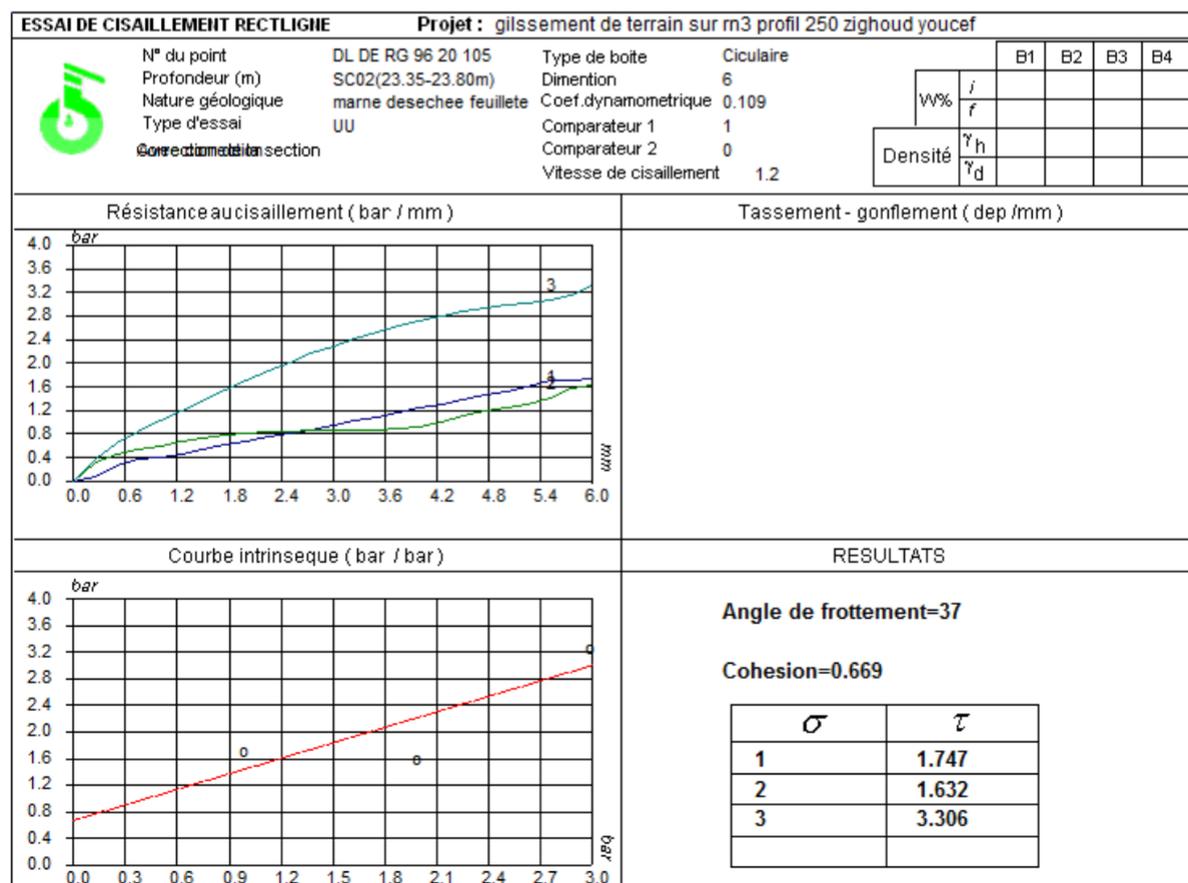
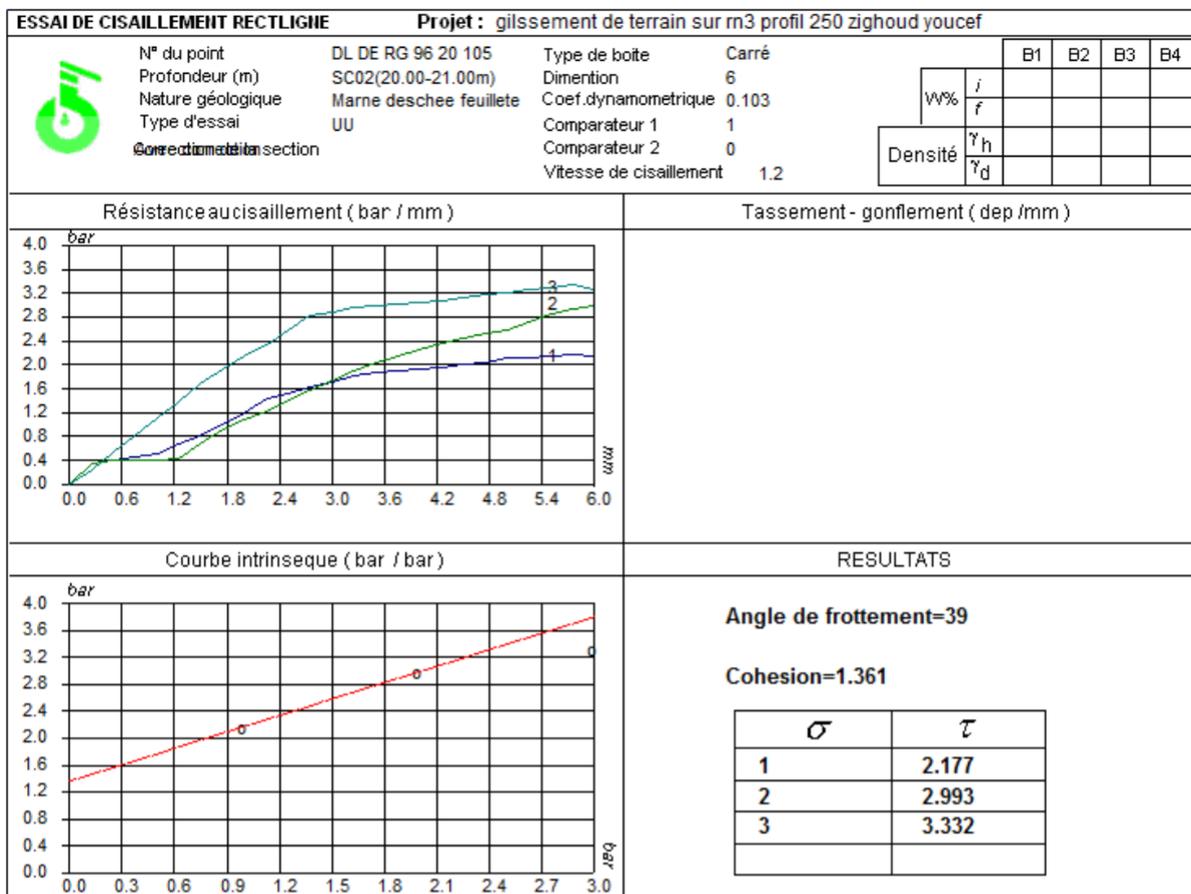


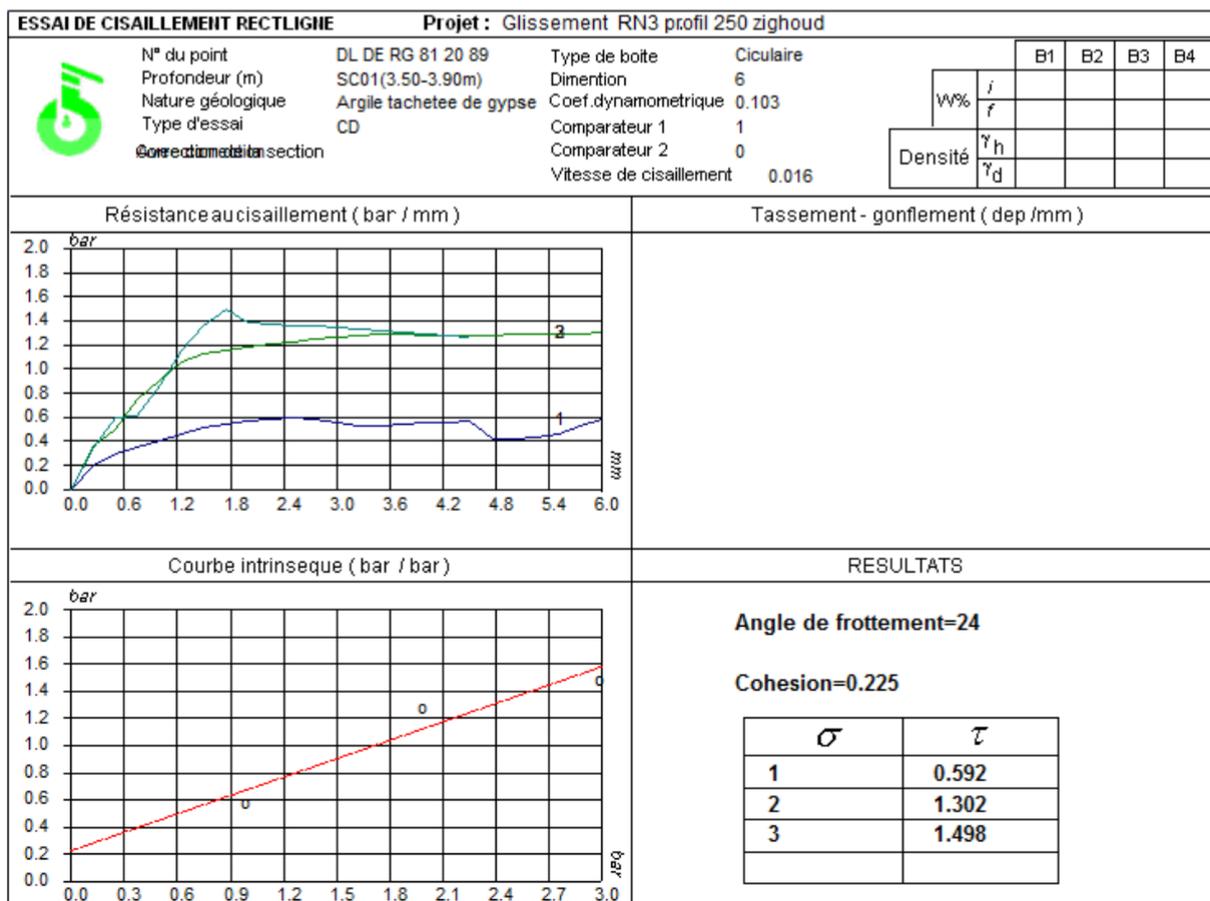
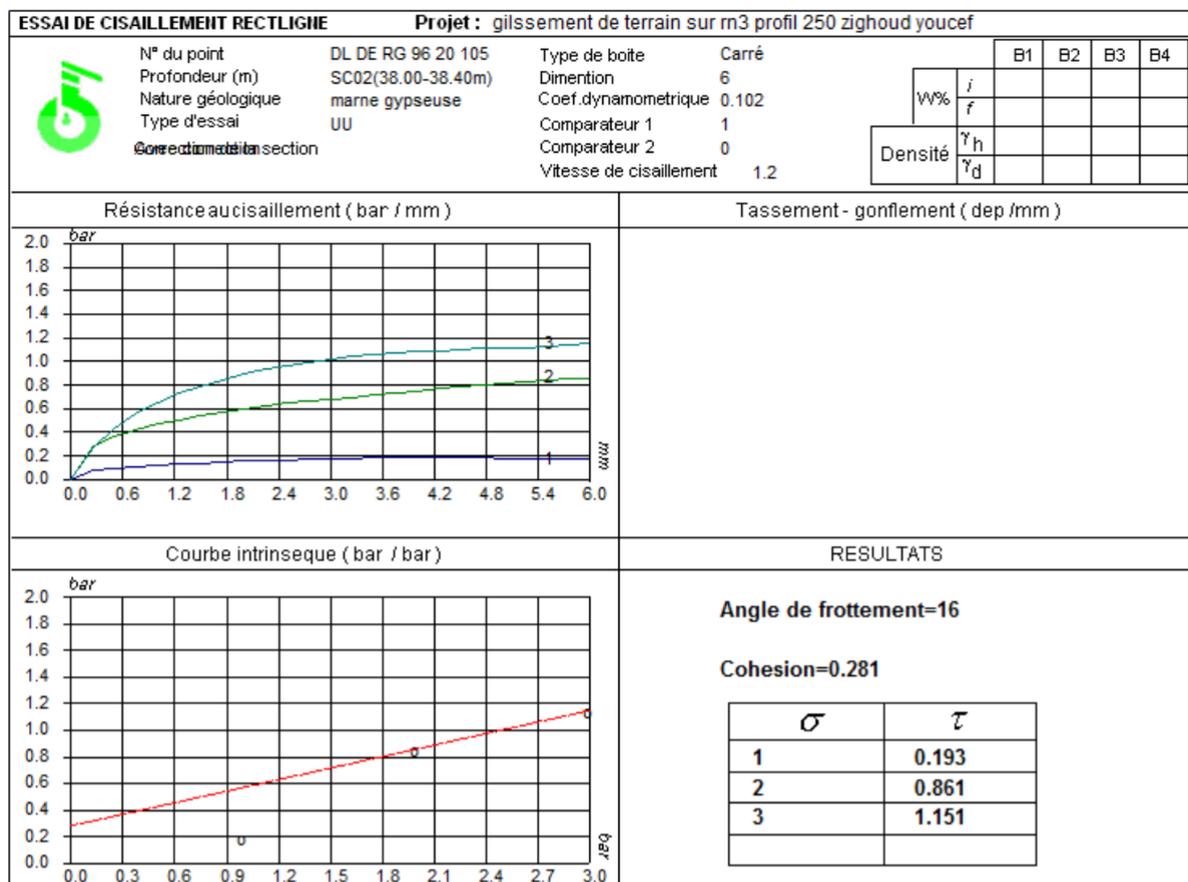


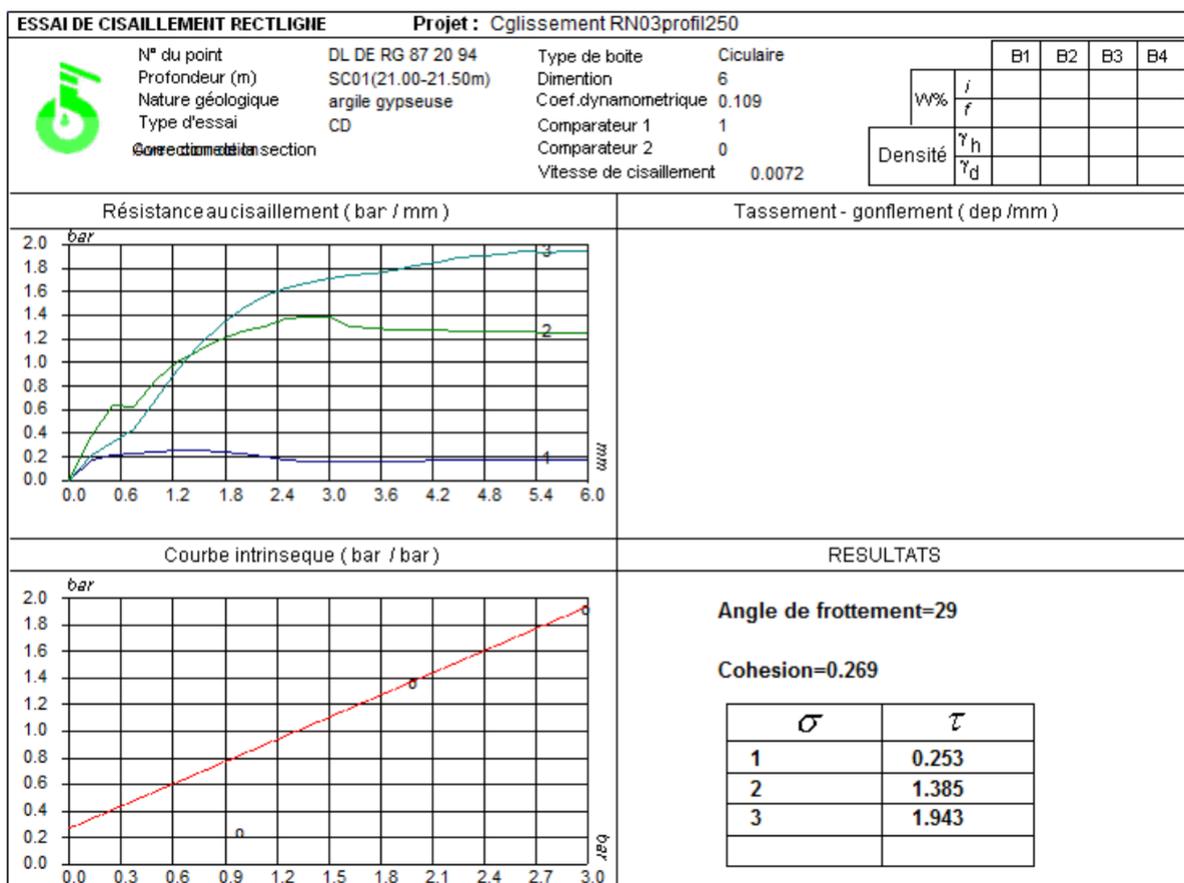
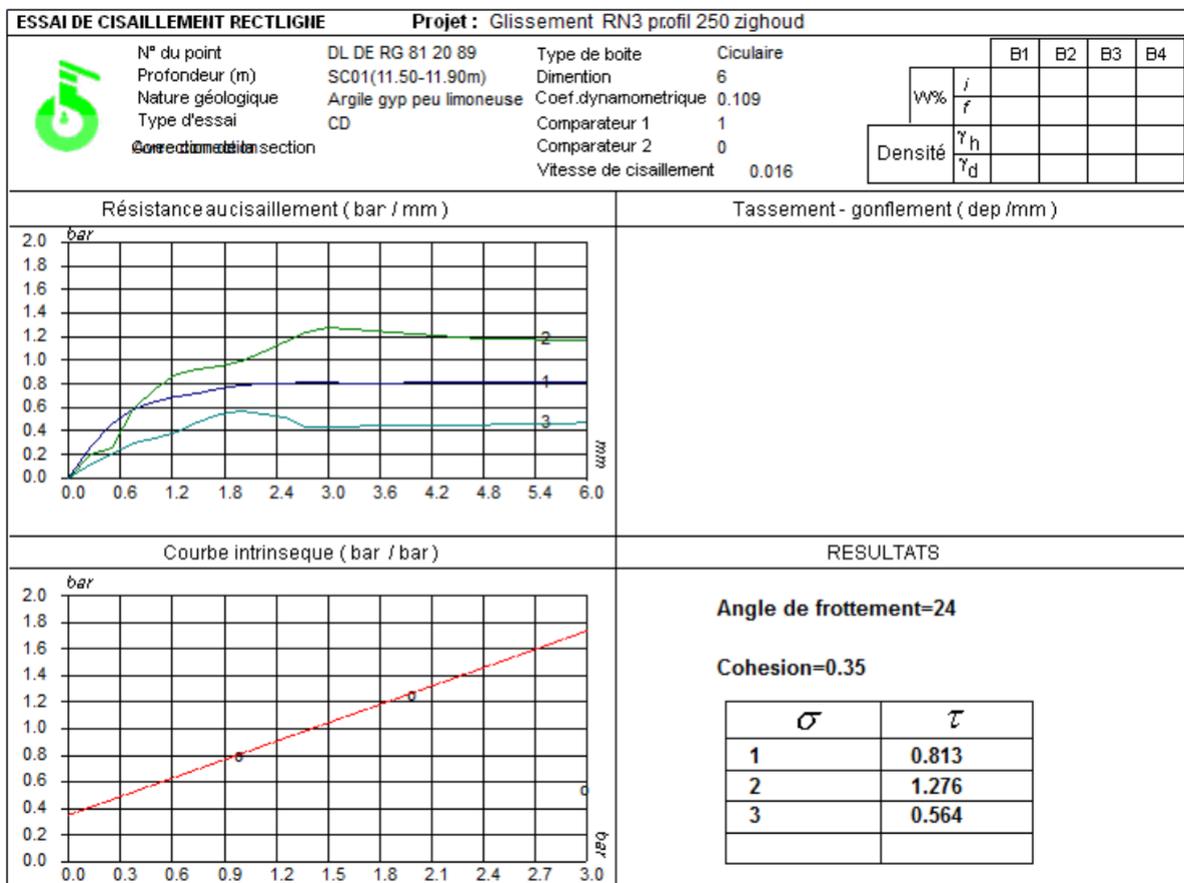


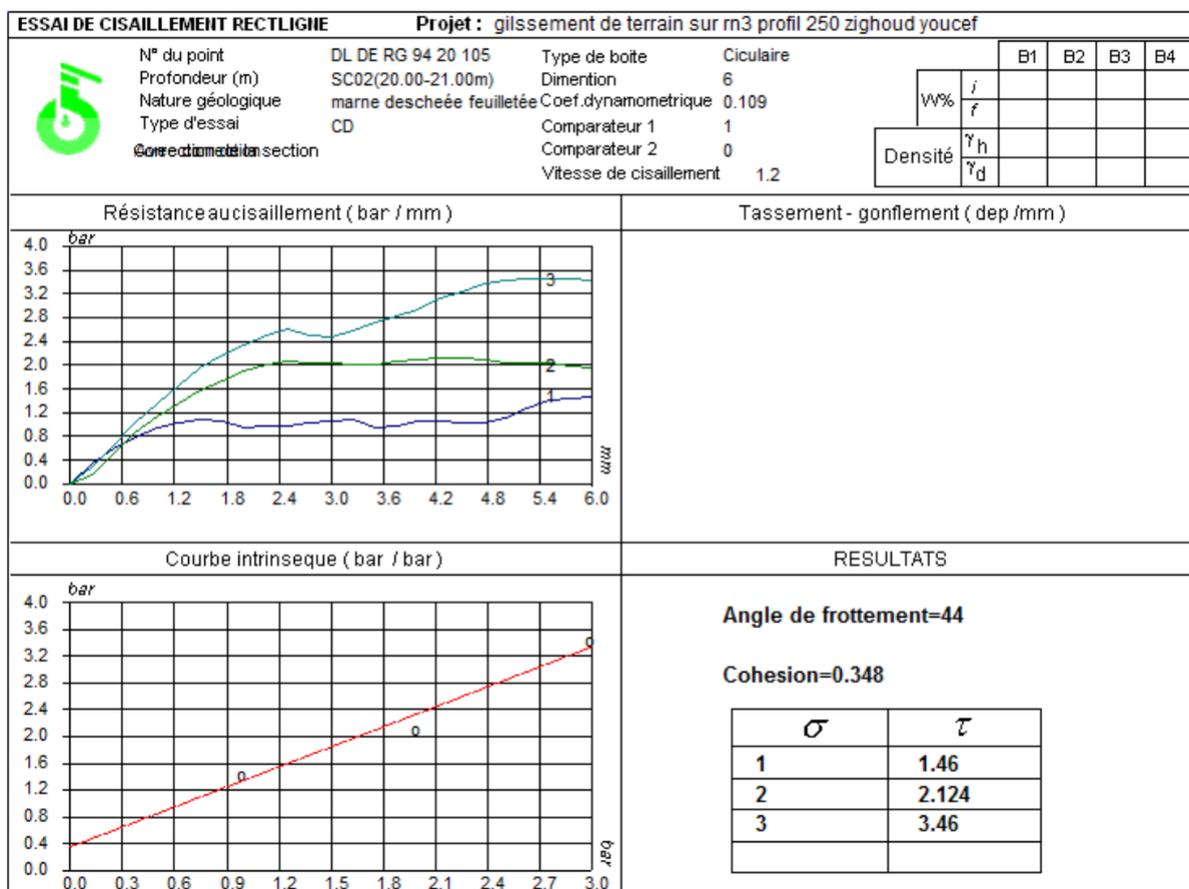
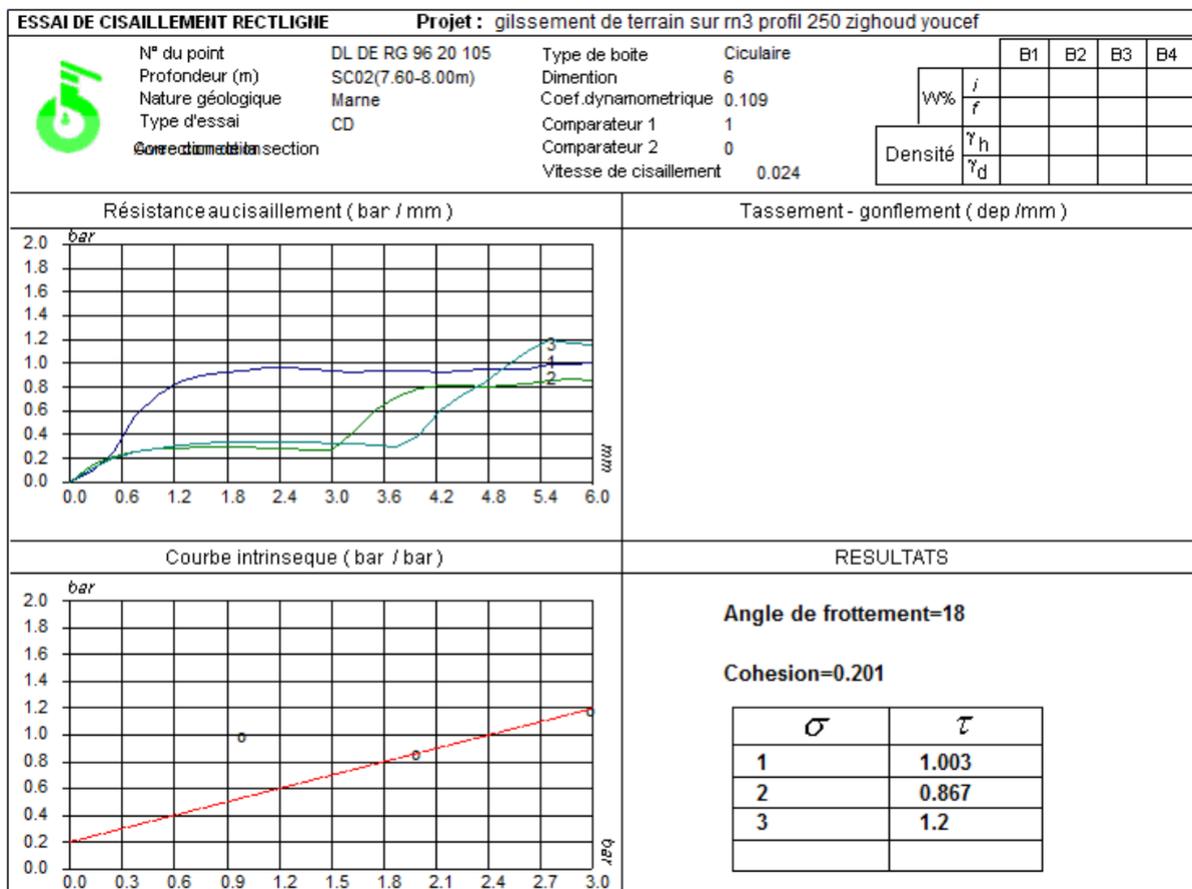


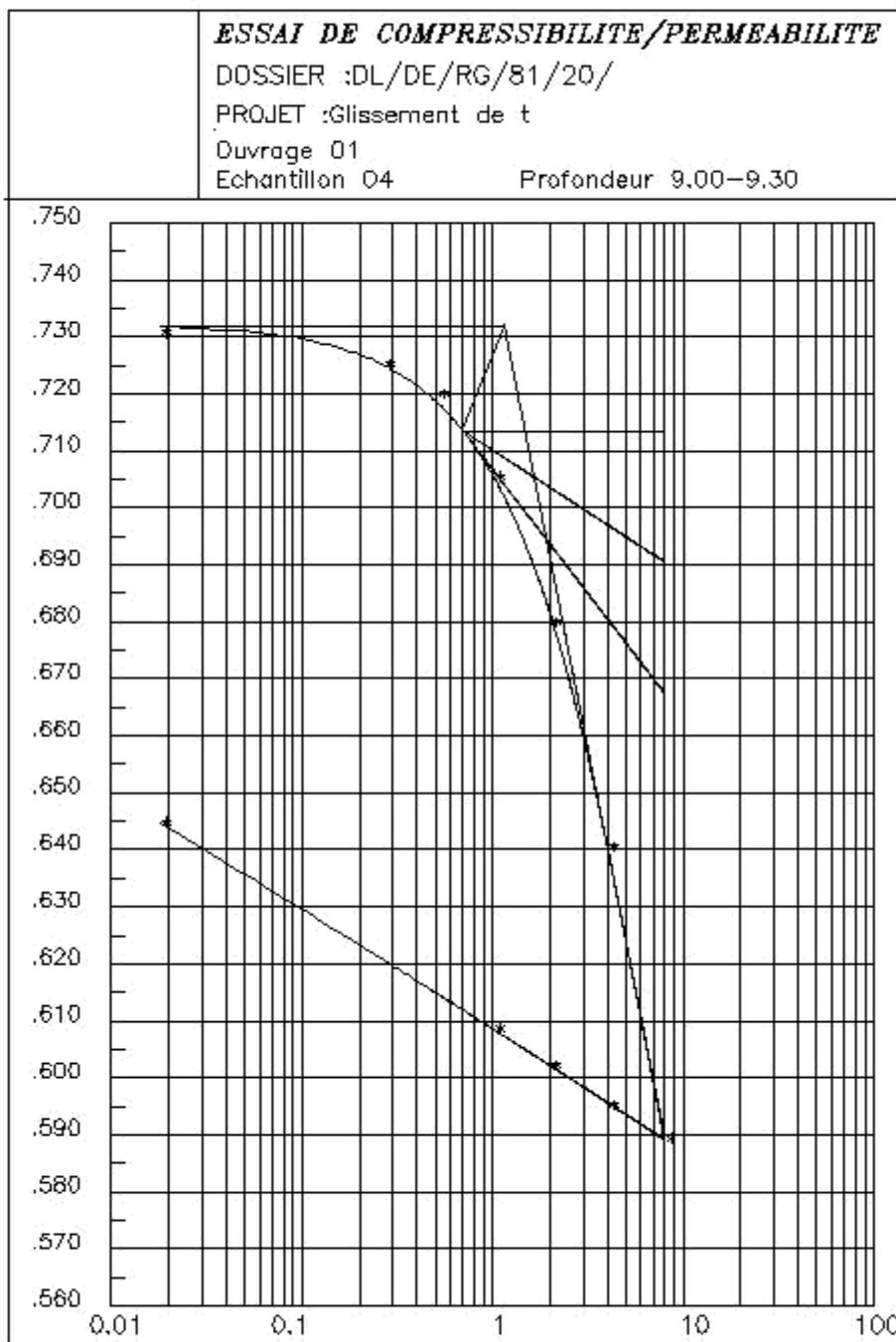




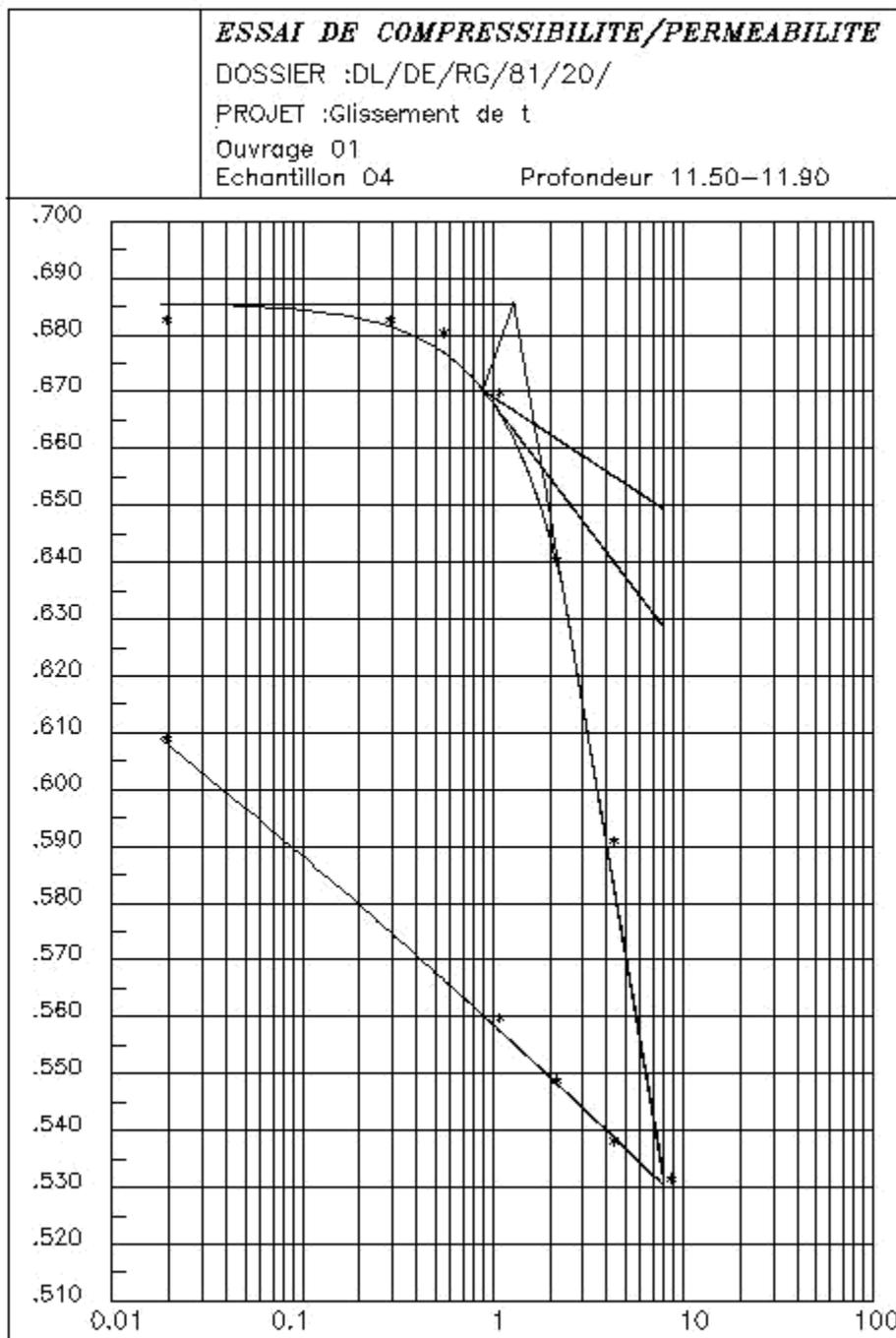




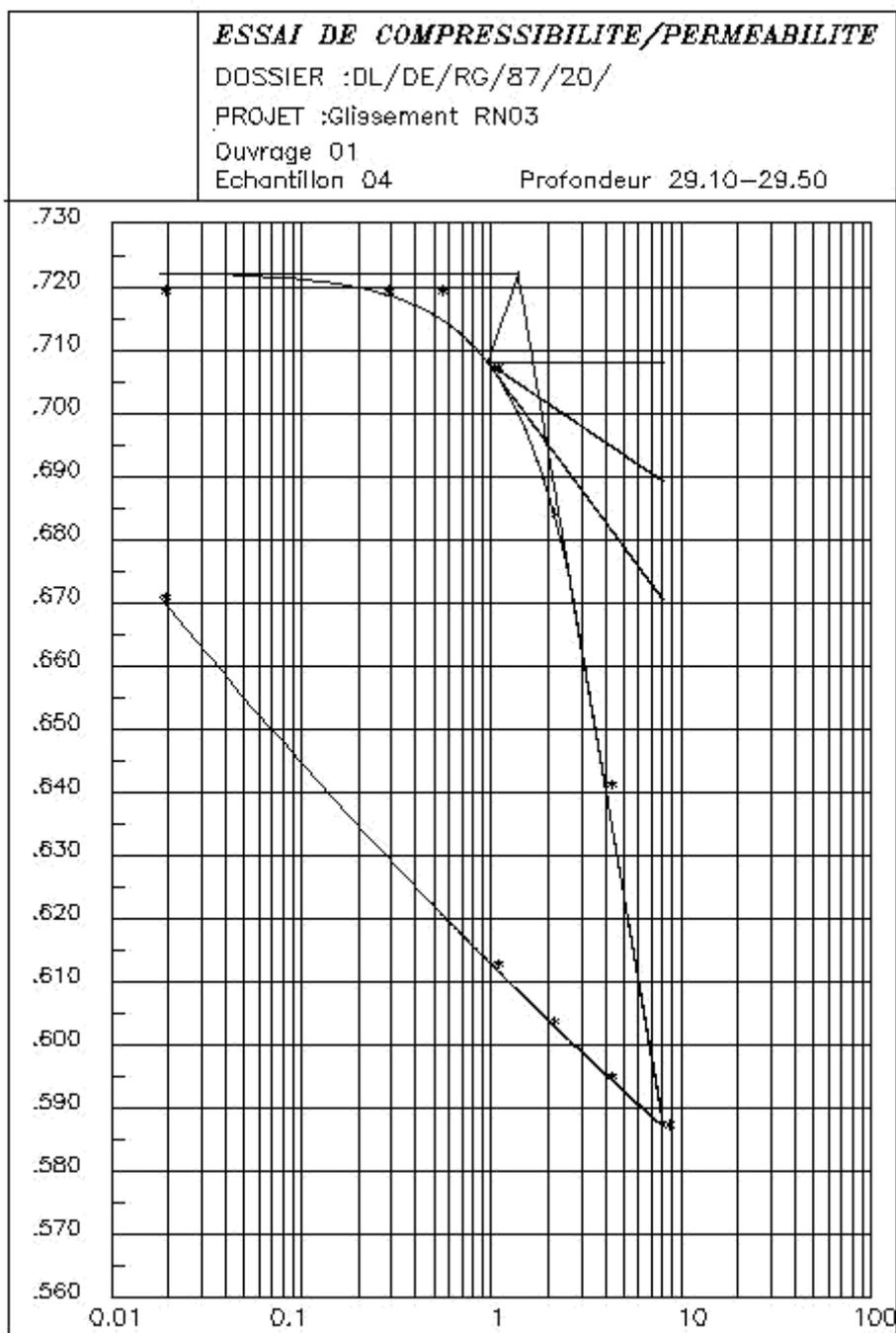




$P_c = 1.64$ bars $C_c = .169$ $C_g = 0.020$



$P_c = 1.65 \text{ bars}$ $C_c = .194$ $C_g = 0.029$



$P_c = 1.77 \text{ bars}$ $C_c = .176$ $C_g = 0.031$

