

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب – عين تموشنت-

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib –Ain Témouchent-



Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière :Génie Civil

Thème :

**La cartographie des zones susceptibles à la
liquéfaction des sols de la ville d'AIN
TEMOUCHENT**

Présenté par :

M^{elle} Boubossela Fatima Zohra Islam

M^{elle}Habbouche Meriem

Soutenu devant les jurys :

Président : Mr HOUMADI

Examineur : Mr MANA

Encadreur : Mr AMRAOUI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin du savoir et pour nous donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements :

A nos familles qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.

A notre promoteur Mr AMRAOUI pour l'encadrement de ce mémoire pour leurs aides, leurs patiences et leurs conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'ils nous ont apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

A tous les professeurs qui nous ont enseignés au cours des études primaires jusqu'aux années du cursus universitaire pour l'obtention du diplôme.

Aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Et pour finir, un dernier remerciement à toute la promotion 2019/2020 de GENIE CIVIL (spécialité structure bâtiment et voies et ouvrages d'art) de Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent tout en Leurs souhaitons un avenir plein de réussite.

M.Habbouche & F. Boubossela

Dédicace

C'est avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie et dédier ce modeste travail à :

- ✓ Ma grand -mère ALLAH YERHAMHA .
- ✓ Mes chères parents ;pour tous leur sacrifices ,leur amour leur prières tout long de mes études.
- ✓ Ma chère Yamaoui .
- ✓ Mes chères frères et mes sœurs pour leur encouragement parmanents et leur soutien moral .
- ✓ Mes chères tantes (wardia ,yamina et saliha) .
- ✓ Toutes la famille Habbouche et ait habbouche et Nait sid nnas.
- ✓ Mes chères amies et mes camarades.
- ✓ Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire ,du moyen ,du secondaire ou de l'enseignement supérieure.

Merci d'être toujours là pour moi.

M .Habbouche

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

- ✓ A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien moral pendant les études.
- ✓ A mes chers frères, ma chère sœur, pour leurs encouragements.
- ✓ A ma grande mère, ma tante, et A toute ma famille pour le soutien tout de mon parcours universitaire.
- ✓ Ainsi que mes amies pour leur réconfort dans les labeurs quotidiens.
- ✓ Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

inchallah à d'autres succès.

Merci d'être toujours là pour moi.

F. Boubossela

Résumé :

La liquéfaction des sols est un processus conduisant à la perte totale de la résistance au cisaillement des sables lâches sous des sollicitations sismiques par augmentation de la pression interstitielle, Elle est accompagnée des déformations.

Certains facteurs liés aux caractéristiques du sol et de l'excitation sismique peuvent influencer significativement l'apparition ou non du phénomène, Les méthodes empiriques de l'évaluation du potentiel de liquéfaction sont largement utilisées.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de réaliser la cartographie des zones de liquéfaction des sols susceptibles de provoquer des incidents de la ville de Ain Témouchent .Actuellement des solutions adéquates par des techniques de traitement doivent être prises, afin d'éviter les dégâts de la préservation des sols.

Cependant, la fiabilité des données est un atout majeur pour les événements futurs grâce au logiciel Arcmap 10.2 nous avons pu identifier le sous bassin versant et les problèmes résultants des 3 oueds existants à l'ouest; l'oued sennane, à l'est; l'oued Souf Ettel, au centre; l'oued Ain Témouchent (remblayé), les 3 éléments représentent le problème de liquéfaction auquel est confrontée la ville de Ain Témouchent.

Finalement doivent être proposées des solutions pour remédier à ce phénomène.

Mots-Clés : Liquéfaction – séisme – cartographie – logiciel Arcmap 10.2
– bassin versant – Ain Témouchent .

Abstract

Soil liquefaction is a process leading to the total loss of the shear strength of loose sands under seismic stresses by increasing pore pressure. It is accompanied by deformations.

Certain factors related to the characteristics of the soil and the seismic excitation can significantly influence the occurrence or not of the phenomenon. The empirical methods of the evaluation of the liquefaction potential are widely used.

The objective of this end-of-study project is to map the zones of soil liquefaction likely to cause incidents in the city of Ain Témouchent. Currently, adequate solutions through treatment techniques must be taken, in order to avoid damage to soil preservation.

However, the reliability of the data is a major asset for future events thanks to the Arcmap 10.2 software we were able to identify the sub-watershed and the resulting problems of the 3 existing wadis in the west; the Sennane wadi to the east; Wadi Souf Ettel, center; Wadi Ain Témouchent (backfilled), the 3 elements represent the liquefaction problem facing the city of Ain Témouchent.

Finally, solutions must be proposed to remedy this phenomenon.

Keywords: Liquefaction - earthquake - cartography - Arcmap 10.2 software - watershed - Ain Témouchent.

ملخص

تسييل التربة هو عملية تؤدي إلى فقدان كامل لمقاومة القص للرمال السائب تحت الضغوط الزلزالية عن طريق زيادة ضغط المسام ، ويصاحبها تشوهات

يمكن لبعض العوامل المتعلقة بخصائص التربة والإثارة الزلزالية أن تؤثر بشكل كبير على حدوث الظاهرة أو عدم حدوثها. تستخدم الطرق التجريبية لتقييم إمكانات التميع على نطاق واسع

الهدف من مشروع نهاية الدراسة هذا هو رسم خريطة لمناطق تسييل التربة التي من المحتمل أن تتسبب في حوادث في مدينة عين تموشنت. حالياً ، يجب اتخاذ الحلول المناسبة من خلال تقنيات المعالجة ، من أجل تجنب الإضرار بالمحافظة على التربة

ومع ذلك ، فإن موثوقية البيانات هي أحد الأصول الرئيسية للأحداث المستقبلية بفضل برنامج

Arcmap 10.2

الذي تمكنا من تحديد مستجمعات المياه الفرعية والمشاكل الناتجة عن الوديان الثلاثة الموجودة في الغرب ؛ وادي سنان من الشرق. وادي سوف إتل ، المركز ؛ وادي عين تموشنت (ردم) ، تمثل العناصر الثلاثة مشكلة الإسالة التي تواجه مدينة عين تموشنت

أخيراً يجب اقتراح حلول لعلاج هذه الظاهرة

الكلمات المفتاحية

مستجمعات المياه - عين تموشنت - برنامج Arcmap 10.2 -إسالة - زلزال - رسم الخرائط

Notations et symboles :

a:demi-grand axe de l'ellipsoïde (en mètres)

b : demi-petit axe de l'ellipsoïde (en mètres)

CPT : cone pénétration test

e :excentricité de l'ellipsoïde

ED50 : datum européen 1950

ELS : état limite service

f :aplatissement de l'ellipsoïde

GPS : global positioning system

h:hauteur de l'ellipsoïde (en mètres)

km : kilomètre

LL : limite de liquidité

m : mètre

mm : millimètre

MNT : model numérique du terrain

NAD : north american datum

P : précipitation

φ :latitude

SCG :système de coordonnées géographiques

SCP : système de coordonnées projetées

SPT : standard pénétration test

T : température

UTM : la projection universelle transverse de Mercator

WGS 84 : world géodetic system 1984

λ :longitude

Liste des tableaux :

Tableau I.1: Système géodésique	26
Tableau II.2: Liste de daira et communes de la wilaya d'Ain Témouchent (source :DRE,2017)	51
Tableau II.2: Précipitations moyennes mensuelles annuelles	51
Tableau II.3: Série pluviométrique de la station d'Ain Témouchent 1980-1999 (source ABH)	58
Tableau II.4: Série pluviométrique de la station d'Ain Témouchent 2000-2011(source ABH)	59
Tableau II.5: Moyennes mensuelles et annuelle des températures période : 1994-2010... 60	60
Tableau II.6: Distribution mensuelles des vents (en m/s)	61
Tableau IV.1: Surface des zones	105

Liste des figures

Figure I. 1: Un exemple de carte topographique américaine.....	6
Figure I. 2: Carte aéronautique OAC 2016-Actualités-Géoportail.....	7
Figure I. 3: Exemple de carte marine actuelle Zone de séparation du trafic (dans un dispositif de séparation du trafic) Mers \ océans Eaux peu profondes Terre.....	7
Figure I. 4: Carte thématique	8
Figure I. 5: Variation de la taille des figurés.	9
Figure I. 6: Variation de la forme des figurés.....	10
Figure I.7: Variation de teinte (ou de saturation) et donc de la valeur du blanc au noir	11
Figure I.8: Vibration de l'orientation	12
Figure I.9: Variation de la couleur	17
Figure I.10: Couleur avec valeur constantes (et équivalentes noir et blanc).....	18
Figure I.11: Les tangentes	22
Figure I.12: Les sécantes	23
Figure I. 13: La construction du référentiel géographique	24
Figure I.14: La constellation de satellites GPS	25
Figure I.15: Un exemple de géoïde	26
Figure I.16: Datum local.....	28
Figure I.17: Datum géocentrique (global)	29
Figure I.18: Méthode de transformation géographique	29
Figure I.19: Le système de coordonnées X,Y,Z.....	30
Figure I.20: La définition du cadre des coordonnées (ou Bursa Wolf) relative aux valeurs de rotation.....	32
Figure I.21: Soit une grille secondaire de haute densité à quatre cellule superposée à une grille de base de faible densité, également à quatre cellules.....	37
Figure I.22: Projection de lambert.....	39
Figure I.23: Aperçue de la position de l'Algérie selon la projection UTM	40
Figure I.24: $90^{\circ}30'$ (90 degrés 30 minutes)= 90.5° (90.5 degrés décimaux).....	41
Figure I.25: Le principe général d'un SGP est de projeter les points du globe sur un plan.....	42

Figure I.26: Projection conforme :L'indicatrice reste un cercle mais sa surface varie...	43
Figure I.27: Projection équivalente : L'indicatrice , s'aplatit sa surface reste constante	44
Figure I.28: Projection azimutale	45
Figure I.29: Les projections.....	46
Figure I.30: Projection conique conforme de Lambert	47
Figure I.31: Projection Albers: projection conique notamment utilisée par l'Angleterre et les Etats -Unis	47
Figure I.32: Projection cylindrique.....	48
Figure II.1: Situation géographique de la wilaya d'ain Témouchent.....	50
Figure II.2: Découpage administratif de la wilaya	51
Figure II.3: Cadre géologique de la wilaya d'Ain Témouchent (Extrait de la carte géologique d'Algérie au 1/500.000).....	56
Figure II.4: Précipitations moyennes mensuelles annuelles.....	58
Figure II.5: Moyennes mensuelles des températures	60
Figure II.6: Distribution mensuelles des vents	61
Figure II.7: Carte sismique de la région d'Ain Témouchent source : DRE.....	64
Figure II.8: Photo satellite (google Earth) du volcan du djebel Tzioua,situé à 9 km à l'ouest de Ain Témouchent	67
Figure III.1: Grain de sol dans un dépôt de sol .La taille de la colonne représente le niveau de la pression interstitielle dans le sol.....	69
Figure III.2: La longueur des flèches représente l'amplitude des forces du contact entre différents grains de sol.....	70
Figure III.3: Réduction des forces de contact et augmentation de la pression interstitielle.	70
Figure III.4: Rupture du pont de Showa,à Nigata au Japon.....	72
Figure III.5: Effondrement du parement amont du barrage de San Fernando pendant le séisme de 1971.....	73
Figure III.6: Batiments renversés (Séisme de Coceali,Adpazari,1999).....	74
Figure III.7: Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie humide.....	78
Figure III.8: Colonnes exécutées par voie humide.	79
Figure III.9: Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie sèche.	80
Figure III.10: l'atelier de colonnes ballastées voie sèche (Construction d'une Fromagerie BEL à Kolea).....	80
Figure III.11: Chantier de vibrocompactage (barrage sur l'oued Harka Tunisie).	81

Figure III.12: Domaine d'application du vibrocompactage.	82
Figure III.13: Procédure de traitement par vibrocompactage.	83
Figure III.14: Phasage des travaux de vibro_compactage.....	84
Figure III.15: la cone d'affaissement autour de vibreur (barrage _Harka_TUNISIE). .	85
Figure III.16: Remplissage de l'affaissement conique par un matériau d'apport (Barrage_Harka_TUNISIE).....	85
Figure III.17: Composantes du valeur et principe de fonctionnement de l'excentrique.	86
Figure III.18: Atelier de compactage dynamique (compactage des sols à l'aide d'une masse en chute libre).....	88
Figure III.19: Les techniques d'injection.....	89
Figure III.20: Procédé Soilcrete S.....	90
Figure III.21: Procédé Soilcrete D.	91
Figure III.22: Procédé soilcrete T.	91
Figure III.23: les étapes du procédé.	92
Figure III.24: Technique du drainage.	94
Figure IV.1: Carte géologique d'Ain Témouchent.....	97
Figure IV.2: Carte d'état major	98
Figure IV.3: Carte du model numérique du terrain MNT	100
Figure IV.4: Carte hydrographique d'Ain Témouchent	102
Figure IV.5: La carte de liquéfactiondes sols de la ville d'Ain Témouchent.....	104
Figure IV.6 : Schéma représentant les différentes parties d'un pieu.....	106
Figure IV.7: Organigramme donnant les différents types de pieux	107
Figure IV.8 : Principe de réalisation d'un pieu foré en béton armé : 1. Mise en station de la foreuse. 2. Forage. 3. Mise en place d'une cage d'armatures. 4. Coulage du béton.....	107
Figure IV.9: Phases d'exécution d'une colonne ballastée (doc. Keller)	109
Figure IV.10: Poser les tuyaux de drainage.....	109

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

Notations et symboles

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale : 1

Chapitre I: Généralité sur la cartographie et les projections cartographiques

I. 1 Introduction : 3

I.2 Historique : 3

I.3 Définition : 4

I.4 Les différents types de cartes : 5

I.4.1 les cartes topographiques : 5

I. 4.2 Les cartes spéciales : 6

I. 4.3 Les cartes thématiques : 8

I.5 Les variables visuelles en cartographie : 8

I.5.1 la taille : 8

I.5.2 la forme : 9

I.5.3 La valeur : 10

I.5.4 le grain : 11

I.5.5 l'orientation..... 12

I.5.6 La couleur : 13

I.5.6.1 La terminologie utile pour la cartographie : 13

I.5 .6.2 Utilisation de la couleur en cartographie : 14

I.6 Apport de l'ordinateur à la cartographie : 18

I.7 Les projections cartographiques :.....	22
I.7.1 Rappel sur les projections :.....	22
I.7.2 Le Référentiels géographique :.....	23
I.7 .3 Le géoïde :	26
I.7.4 L'ellipsoïde:.....	27
I.7.5 Datum :	27
I.7.5.1 Le datum géodésique :	27
I.7.5.2 Le datum local :.....	27
I.7.5.3 Le datum géocentrique (global) :	28
I.7.6 Transformation géographique :.....	29
I.7.6.1 Définition :	29
I.7.6.2 Méthode de transformation géographique :	31
I.7.7 Les systèmes de projection utilisés en Algérie :.....	38
I.7.7.1 Le Lambert Algérie :.....	38
I.7.7.2 Le système Nord Sahara 1959 :	39
I.7.7.3 Le système UTM Algérie :.....	40
I.7.7.4 Le système WGS84 :.....	40
I .8Système de coordonnées géographique :.....	41
I.9 Système de coordonnées projetées :	41
I.10 Classification des projections cartographiques :	43
I.10.1 les systèmes de projection conformes:.....	43
I .10.2 Les systèmes de projection équivalents:.....	43
I.10. 3 Classement des systèmes de projection selon les modes de construction :	44
I.10.3.1 Les projections azimutales :	44
I.10.3.2 Les projections coniques :.....	47
I.10 .3.3 Les projections cylindriques :	48
I.11 Conclusion :.....	48
Chapitre II: Présentation de la zone d'étude	
II .1 Introduction :.....	49

II .2 Situation géographique :	49
II.2.1 Limitées géographiques:	49
II.2.2 Aspect Administratif :	51
II.2.3 Le relief :	52
II .3 contexte géologique de la wilaya d'Ain Temouchent :	52
II.3.1. Au plan tectonique :	52
II.3.1.1 Tectonique post-Nappe :	52
II.3.1.2 Tectonique en compression :	52
II.3.1.3 Tectonique en distension et en coulissement :	52
II.3.2 Au plan stratigraphique :	53
II.3.2.1 Terrain sédimentaire :	53
II.3. 2.2 Terrain volcanique :	55
II .4 .1 Climat :	57
II .4 Climatologie :	57
II .4 .1 Climat :	57
II .4.2 Pluviométrie : [14].....	57
II.4.3 Température :	60
II.4.4 Les vents:.....	61
II.5 Contexte hydrogéologique :	61
II.5.1 Plateau Sidi Safi :	62
II .5.2 Plateau d'Ain Temouchent :	62
II.5.3 OuledTaoui – OuledBoudjemaâ :	62
II.5.4 Plaine de la Mléta :	62
II.6 Sismicité de la région :	63
II.7 Activité volcanique :	64
II.7.1.Descriptions des différentes formations volcaniques :	65
II.7.1.1 Les Tufs :	65
II.7.1.2 Les Brèches :	65

II.7.1.3 Les Coulées :.....	66
II.8 Conclusion :	67

Chapitre III: Le phénomène de la liquéfaction des sols

III.1 Introduction :.....	68
III.2 Définition :.....	68
III.3 Explication du phénomène :	68
III.4 Effets induits par la liquéfaction :.....	71
III .4.1 Fondations profondes :	71
III. 4 .2 Barrages :	72
III.4 .3 Fondations superficiels :.....	73
III.5 Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction d'un sol :	74
III.5.1 Critères historiques :	74
III.5 .2 Critères géologiques :.....	75
III.5 .3 Critères compositionnels :.....	75
III.4 .4 Critères d'état de sol :	76
III .6 Techniques de traitement et d'amélioration des sols :.....	76
III.6.1 Colonnes ballastées :	77
III.6.1.1 Domaine d'application :	77
III.6.1.2 Techniques de mise en œuvre :	77
III.6.2 Vibroflottation :.....	80
III.6.2.1 Domaine d'application :.....	81
III.6.2.2. Principe de l'amélioration de sol par vibro-compaction :.....	81
III .6.2.3 Objectifs de traitement par vibro-compaction :	82
III.6.2.4 Technique de mise en œuvre :	83
III.6.2.5 Objectifs à atteindre :.....	83
III.6.2.6 Mode opératoire :	84
III.6.2.7 Limite d'utilisation :.....	86
III.6.2.8 Inconvénients de vibroflottation :.....	87
III.6.3 Compactage dynamique :.....	87

III.6.4 Renforcement par jet grouting soilcrete :.....	88
III.6.4.1 Domaine d'application des différentes techniques d'injection :	89
III.6.4.2 Les différents procédés :.....	90
III.6.4.3 Séquences de mise en œuvre :.....	91
III .6.5 Technique de drainage :	93
III. 7 Conclusion :	94

Chapitre IV: Elaboration des cartes, Commentaires et interprétations

IV.1 Introduction :.....	95
IV.2 Elaboration de la carte, Commentaires et interprétations :.....	97
IV. 2.1 Localisation de la zone d'étude :	97
IV.2.2 La carte d'état major de la zone d'étude :	98
IV .2.3 Le model numérique de terrain MNT :.....	100
IV .2 .4 Carte hydrographique D'Ain Témouchent	102
IV .2 .5 Carte de susceptibilité à la liquéfaction des sols de la ville Ain Témouchent	104
IV.3 Solutions et recommandations :.....	106
IV.3 .1 Fondation sur pieux :.....	106
IV.3.2 Colonnes ballastées :	108
IV.3 .3 Le drainage :.....	109
IV.4 Conclusion :.....	110
Conclusion générale et perspectives :.....	111

Références bibliographiques

Site web

Annexe



Introduction Générale

Introduction générale :

Certains sols constitués de grains fins (sables, silts) dont la granulométrie s'inscrit dans un certain fuseau critique sont susceptibles, lorsqu'ils immergent dans une nappe phréatique et se trouvent dans un état initial insuffisamment serré, de donner lieu au phénomène de liquéfaction. On indique ainsi un processus dans lequel, sous l'effet de plusieurs cycles de déformations de cisaillements alternées de grandes amplitudes, la pression de l'eau incluse dans les interstices des grains s'élève de cycle en cycle jusqu'à ce qu'elle équilibre la pression de confinement. Le milieu, perdant alors toute ou une partie de sa résistance au cisaillement, se comporte à la manière d'un fluide et devient incapable de supporter les charges verticales apportées par l'ouvrage.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de réaliser la cartographie des zones susceptibles à la liquéfaction des sols provoquant des incidents de la ville de Ain Témouchent. Actuellement des solutions adéquates par des techniques de traitement doivent être prises, afin d'éviter les dégâts de la préservation des sols.

Le présent de mémoire est structuré en 4 chapitres :

Le premier chapitre est lié sur la cartographie et les projections cartographiques c'est une recherche bibliographique par les moyens cartographiques appropriés, afin d'avoir une vue d'ensemble de ces dernières.

À travers le second chapitre, on présentera la situation géographique de la ville de Ain Témouchent, avec les différents contextes géologique, climatologique, sismique et volcanique de celle-ci.

Dans le troisième chapitre, on s'intéresse aux problèmes engendrés par le phénomène de liquéfaction des sols et les techniques utilisées pour le traitement et d'amélioration des sols.

Introduction générale

Dans le dernier chapitre, on réalise la carte hydrographique et la carte des zones susceptibles à la liquéfaction des sols de la ville Ain Témouchent. Des solutions doivent être proposées, pour remédier à ce phénomène.

On terminera par une conclusion générale.

**Chapitre I : Généralité sur
la cartographie et
les projections
cartographique**

I.1 Introduction :

La cartographie est à la fois la science, la technique et l'art de réaliser et d'utiliser les cartes. Un bon cartographe doit non seulement en maîtriser les aspects scientifiques et techniques mais doit également mettre en œuvre des compétences artistiques dans le choix des traits, des couleurs et des écritures. Toutes les cartes sont prévues pour être utilisées, soit pour la randonnée ou la navigation routière, soit pour décrire l'aménagement du territoire ou pour la recherche d'informations dans un atlas.

Les cartes sont d'une grande utilité et elles n'ont jamais auparavant été publiées par un si grand nombre de moyens de diffusion. La carte est un moyen de communication efficace entre un producteur et un utilisateur, et grâce au GPS, beaucoup de choses peuvent être localisées sur une carte.

Pendant longtemps le papier a été la matière la plus utilisée pour les cartes. De nos jours, la plupart des cartes sont réalisées grâce à des logiciels cartographiques et sont distribuées sur le net.

I.2 Historique :

Les hommes ont utilisé des cartes depuis la plus lointaine antiquité, et le faisaient déjà probablement à des époques préhistoriques. Il est même possible que quelques dessins retrouvés dans des grottes ou dans des refuges ayant un sens inconnu jusqu'à présent, soient des croquis des territoires où ils vivaient et où ils chassaient.

Avec les premières civilisations stables apparaît avec la carte utilitaire, un nouveau concept plus intellectuel. Il existe une dualité, la carte se présente non seulement comme un instrument destiné à une fin concrète, d'utilité immédiate, mais également comme une image, qui est au contraire symbole et illustration.

La plus ancienne carte que l'on ait retrouvée jusqu'à présent, est une plaque de terre cuite provenant de Ga Sud en Mésopotamie; on suppose qu'elle fut composée vers l'an 2500 av. J.C. et représente la vallée d'un fleuve dans une zone déterminée du pays.

La cartographie moderne date de la moitié de ce siècle. Très tôt, des cartes ont été réalisées à la main, souvent assez sommaires et reflétant les balbutiements de cet art naissant. Les progrès de la mécanique aidant, les cartes furent ensuite plus simples à dresser et à imprimer. Mais jamais aucun progrès n'a autant bouleversé le monde cartographique que l'apparition dans les années 30, des photos aériennes et de la photogrammétrie, science qui permet l'analyse quantitative et qualitative des photographies aériennes. [1]

I.3 Définition :

La cartographie a pour but la représentation de la Terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes. La cartographie est à la fois une science, un art et une technique.

C'est une science, car ses bases sont mathématiques, notamment en ce qui concerne la détermination de la forme et des dimensions de la Terre puis le report de la surface courbe de la Terre sur un plan (la carte) grâce au système des projections et enfin l'établissement d'un canevas planimétrique et altimétrique. L'enjeu est la précision et la fiabilité de la carte.

C'est un art, car en tant que mode d'expression graphique, la carte doit présenter des qualités de forme (esthétique et didactique grâce à la clarté du trait, à son expressivité et sa lisibilité) afin d'exploiter au mieux les capacités visuelles du lecteur. Cela exige de la part du concepteur et du réalisateur des choix dans la représentation.

C'est enfin une technique, car elle nécessite d'amont en aval, l'emploi d'instruments dont les progrès ont bouleversé toute la filière cartographique (photographies aériennes, satellites, ordinateurs, impression et diffusion, etc.).

La définition de la cartographie suppose que la représentation de la Terre s'accomplit grâce à un ensemble de techniques et de méthodes. Il en résulte les deux grandes branches de la cartographie.

Les techniques précèdent les méthodes et engendrent une cartographie d'amont ou une cartographie « mathématique » ou « topographique », sachant que ces qualificatifs sont peu satisfaisants. Cette cartographie a pour finalité majeure d'établir les fonds de carte* nécessaires à l'élaboration de toute carte. C'est là où se situent les fondements mathématiques et géométriques de la cartographie. Grâce à l'astronomie, à la topographie, à la photogrammétrie*, à la géodésie*, à la topométrie (ensemble des mesures faites sur le terrain pour la réalisation des cartes topographiques), à la télédétection* (découverte de la Terre à distance) entre autres et bien sûr à l'exploration systématique du globe, on a pu donner de plus en plus précisément au fil du temps, les dimensions, la forme générale et une représentation à plat de la Terre. La connaissance de notre planète est à peine terminée et s'enrichit encore aujourd'hui avec les progrès de l'imagerie satellitaire.

Cette cartographie demande des compétences particulières que possèdent les topographes ou les géomètres par exemple. Pour le concepteur et réalisateur de cartes thématiques, les buts à atteindre sont différents puisqu'il utilise des fonds de cartes déjà établis. [2]

I.4 Les différents types de cartes :

I.4.1 les cartes topographiques :

qui présentent les relations spatiales existant entre différents objets géographiques, comme les bâtiments, les routes, les frontières et les cours d'eau. Les cartes topographiques officielles sont réalisées par les organismes cartographiques nationaux. La plupart des communes produisent aussi des plans de ville. Les cartes topographiques existent également pour la randonnée ou les activités nautiques. De nombreux systèmes embarqués de navigation routière ainsi que des services internet mettent également à disposition des cartes topographiques. Les cartes topographiques servent également de support à l'information foncière ainsi qu'à la conception des cartes décrivant l'aménagement territorial.



Figure I.1: Un exemple de carte topographique américaine.

I. 4.2 Les cartes spéciales :

comme par exemple les cartes maritimes ou aéronautiques. Ces cartes relèvent d'un usage professionnel et respectent les règles définies par l'Organisation des Nations Unies. Il existe également des cartographies spécifiques à la navigation de plaisance ainsi que des cartes dédiées à l'orientation définies par la Fédération internationale de course d'orientation . Le plan du métro londonien est également une carte particulière.



Figure I.2: Carte aéronautique OAC 2016-Actualités-Géoportail.

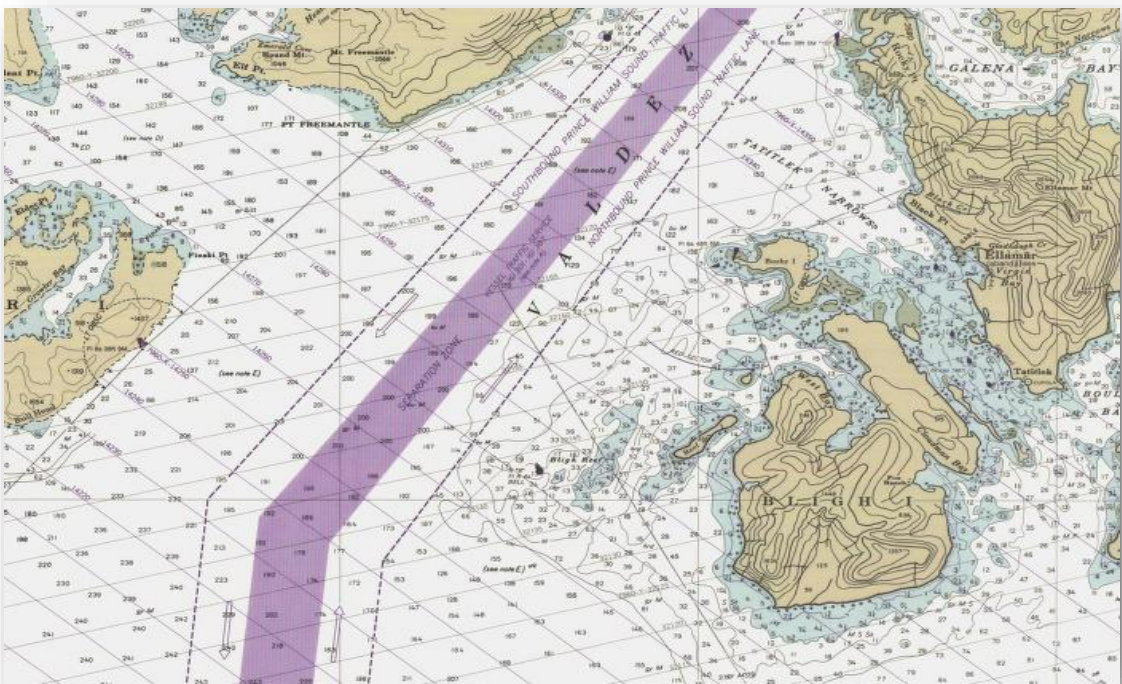


Figure I.3: Exemple de carte marine actuelle Zone de séparation du trafic (dans un dispositif de séparation du trafic) Mers \ océans Eaux peu profondes Terre.

I. 4.3 Les cartes thématiques :

décrivent des phénomènes géographiques qui appartiennent par exemple à la géologie (sol et substrat rocheux essentiellement), à l'occupation du sol ou à la végétation. Les cartes statistiques font aussi partie des cartes thématiques. Elles présentent la répartition géographique d'une variable statistique. Voir les atlas du Chapitre 7 pour de plus amples informations concernant les cartes statistiques. [3]

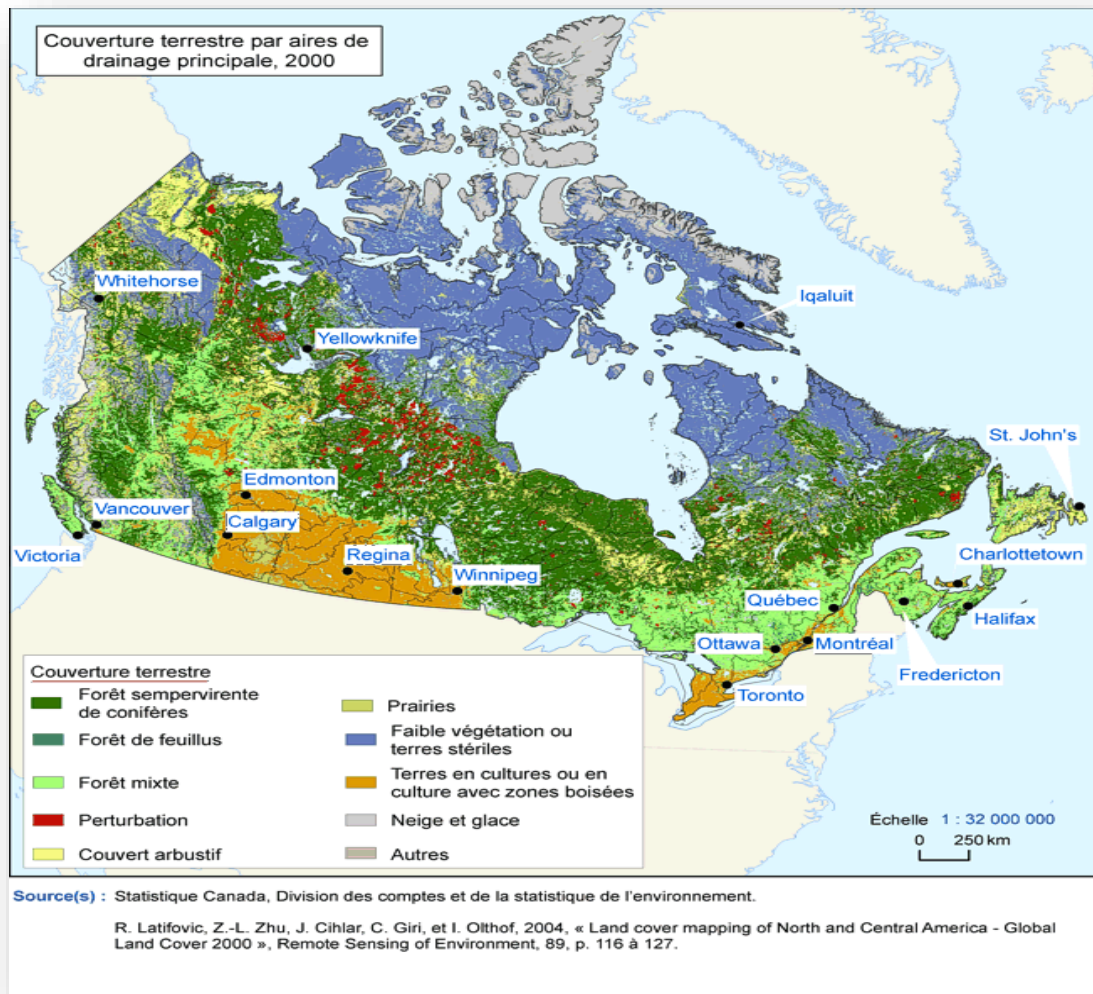


Figure I.4: Carte thématique.

I.5 Les variables visuelles en cartographie :

I.5.1 la taille :

On fait varier la longueur, la largeur, la hauteur et par conséquent la superficie du figuré. Ainsi, la variation de taille consiste en une variation de surface.

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

En implantation ponctuelle, le figuré peut être géométrique ou figuratif. Il peut également être formé de morceaux accolés. En implantation linéaire, c'est l'épaisseur de la ligne qui varie.

En implantation zonale, rappelons que l'on ne peut modifier la surface de la zone. Cependant, les figurés internes à la zone (points ou lignes) peuvent varier en taille ou en nombre. [2]

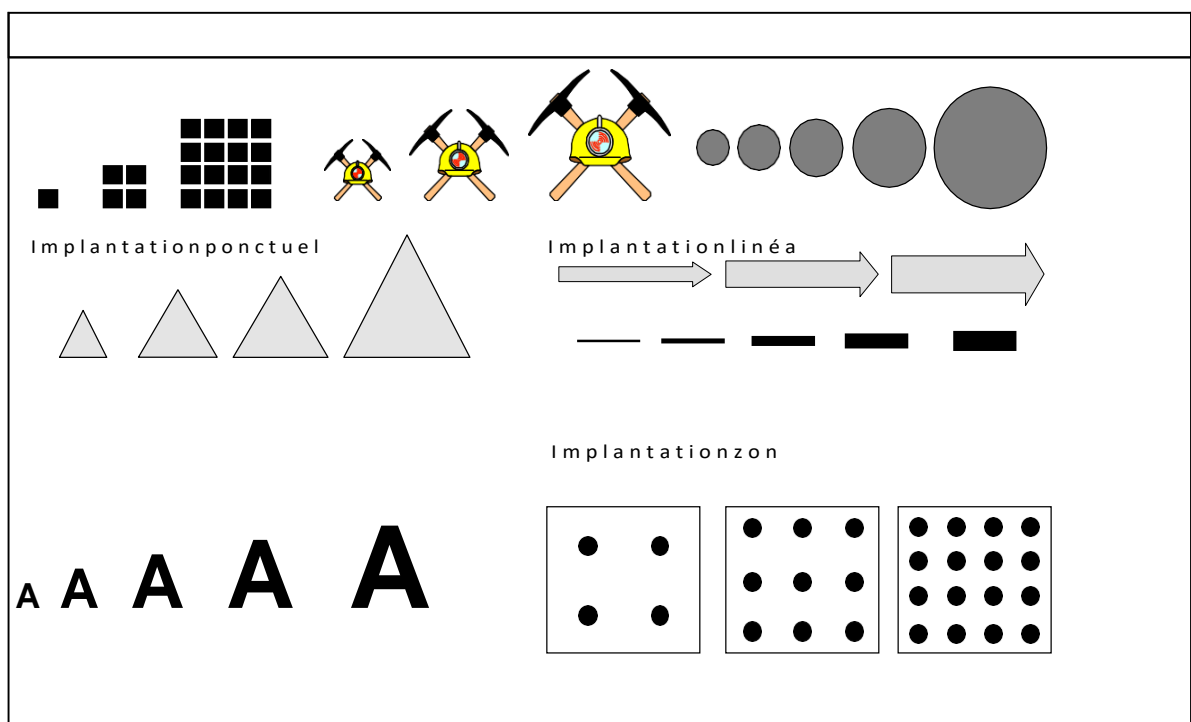


Figure I.5: Variation de la taille des figurés.

I.5.2 la forme :

Chaque figuré possède une forme précise et déterminée. Changer la forme du figuré en implantation ponctuelle et en implantation linéaire consiste à changer son contour. Changer la forme d'un figuré en implantation zonale signifie modifier sa structure interne.

Les solutions sont illimitées : un figuré géométrique tel qu'un losange peut devenir un carré qui peut lui-même être transformé en triangle...

Lorsque la structure d'un figuré zonal est construite avec des éléments graphiques, des symboles ou un ensemble de symboles figuratifs (ou évocateurs) afin de signifier l'étendue d'un fait, on obtient un poncif. [2]

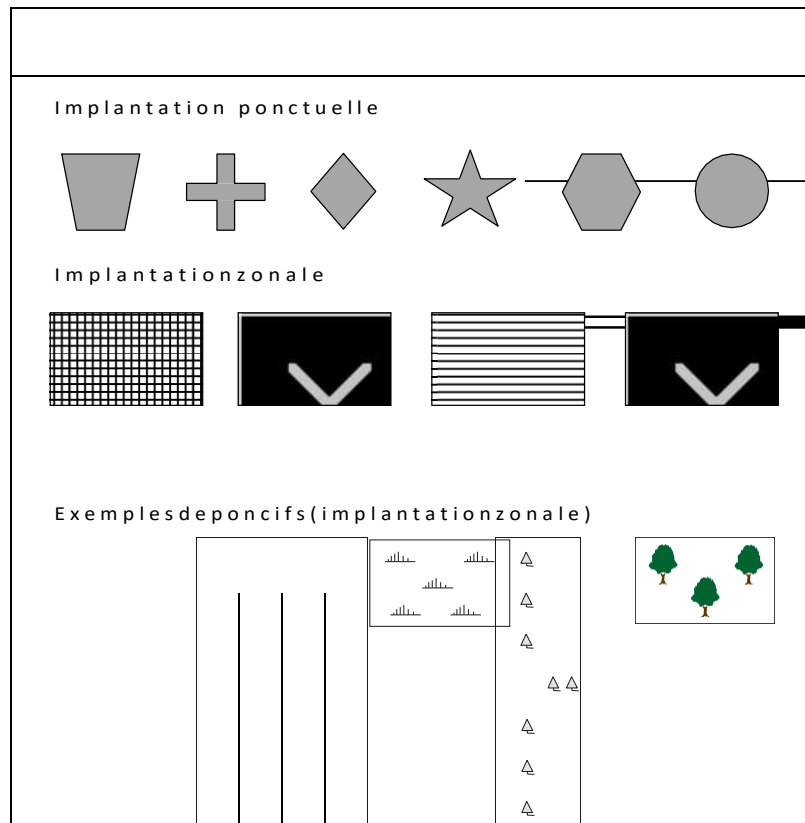


Figure I.6: Variation de la forme des figurés.

I.5.3 La valeur :

La valeur est le rapport entre la quantité de noir et de blanc sur une surface donnée. On agit donc sur la valeur en ajoutant du blanc ou du noir. Sur du papier blanc, c'est le noir qui a la plus grande valeur. Même si le fait d'influer sur la valeur est parfois délicat dans le cadre des travaux cartographiques manuels, cette variable visuelle est la plus utilisée en cartographie après la couleur.

Les logiciels et les trames vendues dans le commerce mesurent la valeur en pourcentage : 100 % correspond au noir, 0% au blanc tandis qu'un gris de 40 % équivaut à 40 % de noir et 60 % de blanc. La variation de valeur est pour des raisons pratiques plus usitée que la variation de grain, car elle n'impose pas un équilibre entre le noir et le blanc.

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

Le cartographe dispose de quatre solutions (qui peuvent être combinées entre elles ou avec d'autres variables visuelles) pour varier la valeur :

changer la trame (ou texture). La trame est la structure interne d'un figuré.

La variation de trame s'obtient en composant et en faisant varier des ensembles d'éléments graphiques simples, ponctuels ou linéaires, répartis de façon parfaitement. La trame est donc une organisation, un dessin, de type hachures, pointillés, croisillons, damiers, etc

Changer la graisse, c'est-à-dire l'épaisseur des figurés.

Changer l'écartement, c'est-à-dire la distance entre les éléments de la trame des figurés.

Changer la teinte (ou la saturation)

La teinte est la quantité de blanc et de noir pour une couleur donnée. On agit donc sur la teinte d'une couleur en y ajoutant du blanc ou du noir. La variation de teinte s'applique au noir et à toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. La variation de teinte est monochrome : le passage du blanc au jaune pur est une variation de teinte et non de couleur.[2]

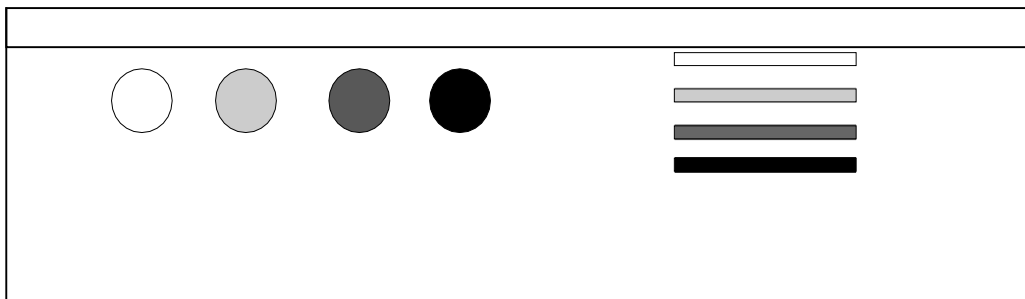


Figure I.7: Variation de teinte (ou de saturation) et donc de la valeur du blanc au noir.

I.5.4 le grain :

Faire varier le grain consiste à modifier l'épaisseur des éléments constitutifs d'une trame sans que l'équilibre noir (couleur du figuré) - blanc (couleur de fond) ne soit rompu.[2]

I.5.5 l'orientation

Cette variable visuelle s'applique particulièrement aux hachures qui peuvent être verticales, horizontales ou obliques mais également aux quadrillés et aux figurés ponctuels.[2]

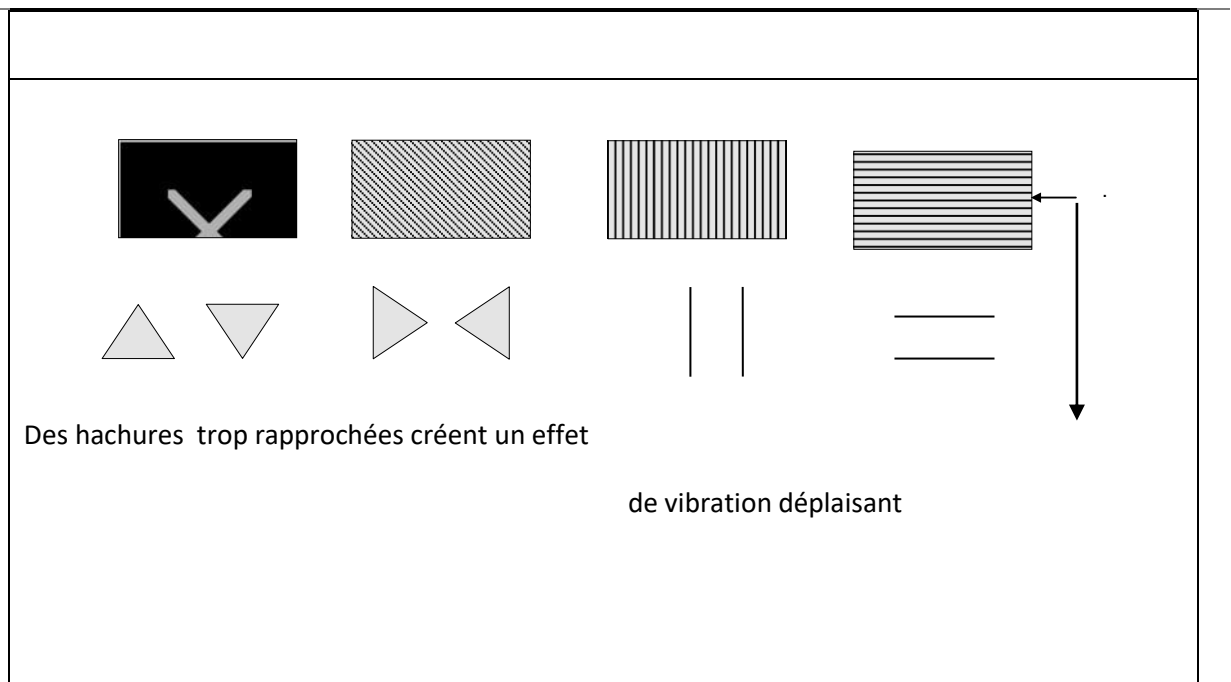


Figure I.8: Vibration de l'orientation.

I.5.6 La couleur :

I.5.6.1 La terminologie utile pour la cartographie :

Le vocabulaire de la couleur est abondant mais rarement utilisé opportunément. Par exemple, les vocables teinte, nuance, tonalité, luminosité ou clarté sont tous passés dans le langage courant mais leur sens reste le plus souvent obscur. Dans le cadre de la cartographie, seuls quatre termes sont à connaître et à retenir pour maîtriser cette variable visuelle particulièrement subtile qu'est la couleur : il s'agit de la couleur, de la valeur, du ton et de la saturation.

- La couleur

La couleur est la sensation transmise à notre cerveau par la vision d'un objet coloré éclairé. Trois éléments interviennent dans cette sensation de couleur : notre système visuel récepteur (cerveau puis œil), la nature de l'objet et la lumière qui l'atteint. Ainsi une orange apparaît de couleur orange lorsqu'elle est éclairée d'une lumière blanche ou approximativement blanche mais de couleur brunâtre si la lumière vire au bleu ou au vert. Puisque la sensation de couleur est tributaire de la lumière, il est toujours important de consulter un document couleur avec des conditions de lumière optimales (la lumière blanche est la plus neutre).

Sur le spectre solaire, la sensibilité de notre œil aux couleurs issues de la décomposition de la lumière blanche par le prisme présente un maximum au niveau de la lumière jaune (560 nanomètres) et décroît régulièrement de part et d'autre de cette longueur d'onde pour s'annuler en dessous du violet (on atteint les ultraviolets) et au-delà du rouge puis du pourpre (on atteint les infrarouges).

La valeur (parfois appelé intensité ou luminosité)

On rappelle que la valeur est le rapport entre les quantités de noir et de blanc perçues dans une surface donnée. Les principes de la variable visuelle valeur en noir et blanc sont identiques en couleur. On associe deux variables visuelles distinctes (valeur et couleur) afin de faire varier la quantité de noir ou de blanc

dans une couleur. On obtient ainsi une gradation de couleur.

- Le ton ou tonalité

Le ton est la combinaison entre une couleur et une valeur. Aux grandes catégories de couleurs (dans l'ordre du spectre solaire, violet, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, pourpre) auxquelles on ajoute le gris, on soumet des variations de valeur. Par exemple, dans la couleur rouge, le rouge clair, le rouge saturé et le rouge foncé sont trois tons différents. De plus, il est possible d'assembler les couleurs entre elles, et ce dans leur différents pourcentages de valeur. Les solutions semblent infinies d'autant plus que l'œil humain est capable de distinguer, séparer et définir un nombre considérable de tons.

- La saturation

Chaque couleur contient une valeur centrale sans noir ni blanc : c'est le ton pur ou saturé. La saturation est mesurée (en pourcentage) par la quantité de blanc et de noir que contient une couleur : une couleur saturée ou pure renferme 0 % de blanc et 0% de noir ; elle apparaît éclatante à nos yeux..[2]

I.5 .6.2 Utilisation de la couleur en cartographie :

Les couleurs ont vis-à-vis de notre psychisme des influences qui se manifestent par des réactions privilégiées. En effet, chaque couleur stimule des associations d'idées et des effets psychologiques, physiques et physiologiques propres à chaque individu selon son vécu, sa culture, sa religion et sa physiologie. Cette caractéristique est décisive pour les cartes publicitaires et joue un rôle notable dans la conception de toutes les cartes en couleurs : cela rend leur conception délicate mais passionnante. Il existe ainsi des couleurs qui donnent une impression de chaleur et d'autres une impression de fraîcheur. Les couleurs chaudes sont le jaune, l'orange, le rouge et leurs dérivés et les couleurs froides sont le violet et surtout le bleu. De même, on parle de couleurs évocatrices, parce qu'elles rappellent les couleurs rencontrées dans la nature : le vert des forêts, le jaune des céréales et du sable, le bleu de l'eau, etc. Les couleurs « chaudes » symbolisent la chaleur, la sécheresse, ce qui est « positif » tandis que les couleurs « froides » évoquent le froid, l'humidité, ce qui est « négatif ». Dessiner une industrie lourde en vert ou une diminution en rouge n'est pas une faute technique mais complique la lecture.

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

Les cinq autres variables visuelles (taille - forme - valeur - grain - orientation) sont assez efficaces pour transcrire tous les cas de figures possibles et imaginables qu'il est possible de rencontrer en cartographie. En d'autres termes, Il existe une telle variété de moyens visuels avec le noir et blanc que l'usage de la couleur est loin d'être indispensable en cartographie. Seules les cartes de géographie physique ou d'occupation du sol complexes jouant sur le pouvoir sélectif de la couleur (les cartes géologiques par exemple) sont difficilement réalisables voire irréalisables en noir et blanc. Toutefois, la couleur est la variable visuelle qui possède le pouvoir différentiel le plus efficace, d'où l'hégémonie de la couleur dans la cartographie de l'information qualitative. De plus, la couleur exprime mieux les hiérarchies que le noir et blanc car les variations de valeur en couleur sont plus faciles à saisir que celles des trames de noir. Elle possède en outre une incontestable supériorité esthétique sur les cinq autres variables visuelles. Elle séduit d'emblée notre œil qui préfère un ciel bleu à un ciel gris. Les documents couleurs sont en outre plus rapidement mémorisés que les documents noir et blanc. Enfin, objectivement, la couleur facilite grandement le travail du cartographe pour qui le choix des trames ou des grisés en noir et blanc est parfois malaisé.

Les couleurs, à valeur égale, sont opposables. La couleur est ainsi de très loin la variable visuelle la plus efficace pour cartographier des objets géographiques qualitativement différents (habitat urbain, industrie, espace vert par exemple) que l'on veut opposer graphiquement. Toutefois, il convient de noter que le choix de la gamme des tons purs (violet saturé, bleu saturé, vert saturé, etc.) produit certes une variation de couleur mais également une variation de valeur. En d'autres termes, un jaune saturé ne sera pas au même niveau visuel qu'un rouge saturé : cette particularité est à prendre en compte lorsque l'on cartographie des différences qualitatives, sinon l'œil lira avant tout un ordre (un classement) et non une différence. La deuxième erreur à ne pas commettre est d'utiliser une variation de couleur (sans variation de valeur) pour exprimer un ordre.

En effet, pour traduire un ordre, un classement, la couleur doit être combinée avec la valeur. L'enjeu est de communiquer le plus spontanément possible une sensation de hiérarchie traduite par exemple par une série discrétisée. Il faut respecter un principe de base : une valeur forte est transcrite par une couleur intense ou sombre et une valeur faible par une couleur claire. On doit obtenir une gradation de tons allant du plus clair au plus foncé (et inversement si l'ordre est décroissant). Cette gradation est obtenue à l'aide de plusieurs procédés.

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

La première solution est le camaïeu, appelé également harmonie de valeurs. Le camaïeu consiste en une variation monochrome (c'est-à-dire une même couleur) de valeur, du clair au foncé ; par exemple, rouge très pâle, pâle, vif, sombre, très sombre. Cette méthode, très simple, a pour mérite d'éviter des erreurs parfois commises avec les solutions suivantes.

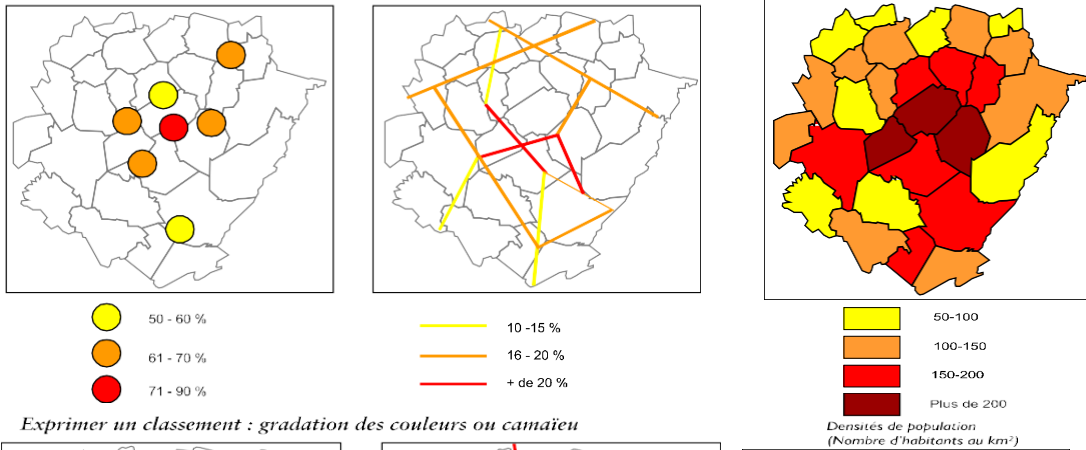
La deuxième solution est l'harmonie de nuances. La perception ordonnée s'accomplit à l'aide de plusieurs couleurs voisines prises dans chaque moitié de l'arc-en-ciel (« gamme froide » et « gamme chaude ») auxquelles on peut ajouter une variation de valeur ; par exemple, jaune, jaune orangé, orange, rouge orangé, rouge (« gamme chaude »).

Il est enfin possible d'enrichir un camaïeu. Un camaïeu de rouge (du rouge clair ou blanc au rouge saturé) peut se prolonger d'un jaune très léger dans le bas et d'un violet dans le haut. Un camaïeu de verts peut s'enrichir d'un jaune très clair dans le bas, de bleu foncé ou de brun dans le haut. Il n'est pas interdit également de commencer une gradation par du blanc (attention à l'usage du blanc qui transcrit une absence d'information) et de la terminer par du noir. Dans tous les cas, il faut respecter la gradation (du clair au foncé) de tons et l'ordre des couleurs dans l'arc-en-ciel.

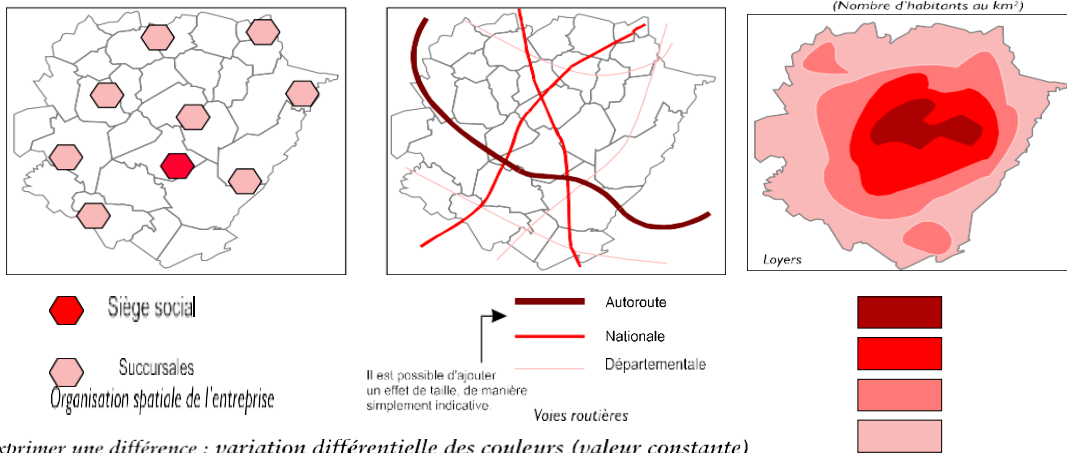
Dans le cas d'une série statistique comportant des valeurs positives et des valeurs négatives (série bipolaire), ou si l'on veut cartographier des écarts à la moyenne, la première méthode est d'avoir recours à une gamme double, en utilisant tout l'arc-en-ciel. On mise sur le contraste de deux demi-spectres : l'un constitué de couleurs « chaudes » .[2]

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

a. Exprimer des quantités (en taux) : gradation des couleurs ou camaïeu



b. Exprimer un classement : gradation des couleurs ou camaïeu



Exprimer une différence : variation différentielle des couleurs (valeur constante)

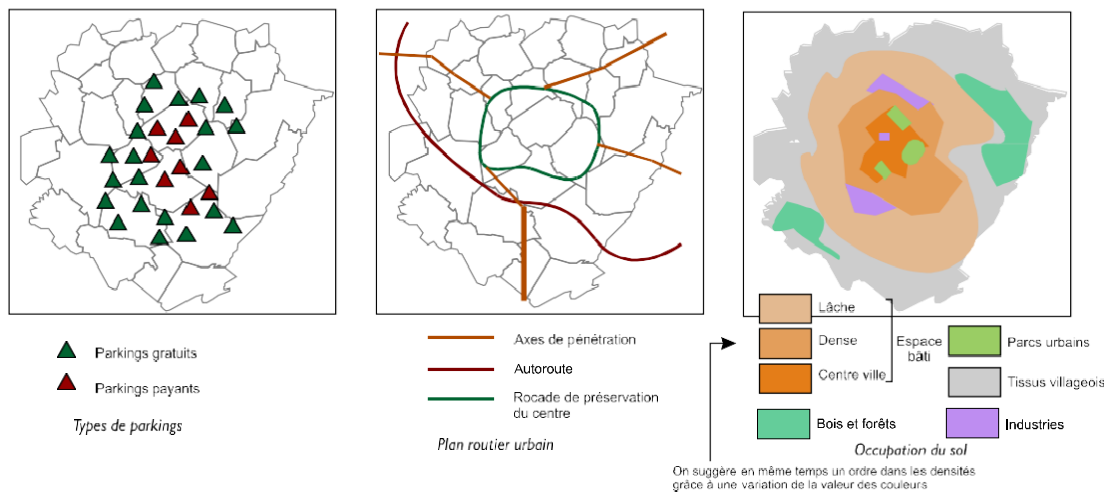


Figure I.9: Variation de la couleur.

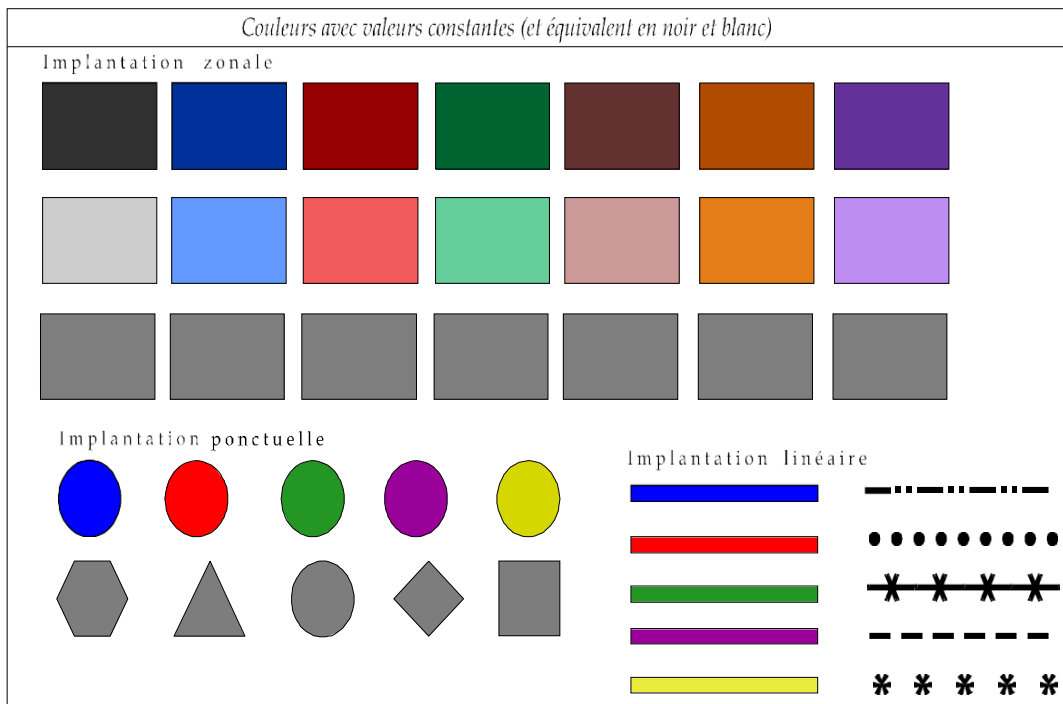


Figure I.10: Couleur avec valeur constantes (et équivalentes noir et blanc).

I.6 Apport de l'ordinateur à la cartographie :

Les forces de la cartographie par ordinateur procèdent inévitablement de la puissance et de la vitesse de calcul toujours plus importantes, intrinsèques aux ordinateurs.

Les progrès de l'informatique et surtout de la micro-informatique bénéficient à tous les échelons de la cartographie par ordinateur. Sa prééminence sur la cartographie manuelle se décline en sept points majeurs :

- La rapidité d'exécution.

A toutes les phases de la conception et de la réalisation, l'ordinateur est susceptible d'offrir aux cartographes professionnels ou amateurs un gain de temps considérable. Traitement et réactualisation des données, dessin et transformation du fond de carte, dessin de la carte, reproduction : tout le processus est si rapide aujourd'hui qu'il est difficile d'imaginer un avant.

Il reste pourtant bien utile d'être passé par la cartographie manuelle afin de mieux estimer et maîtriser la puissance de l'ordinateur ainsi que vérifier la pertinence des résultats, notamment en ce qui concerne la partie graphique (choix

des variables visuelles, contrôle de la légende par exemple).

- Un potentiel énorme en matière de stockage et de diffusion.

L'époque où les cartes poussiéreuses dormaient dans des armoires oubliées est révolue. Les cartes sont emmagasinées et classées sur support magnétique, sur disque dur, sur CD-ROM, etc. Les documents ne se dégradent plus au contact de l'air ou de l'humidité et de plus, le format compact des disquettes ou des CD-ROM par exemple permet d'extraire les cartes en un temps record puis de les diffuser tout aussi aisément. Les coûts de stockage s'en trouvent donc minimisés. La diffusion des cartes et de l'information géographique acquiert actuellement une nouvelle dimension avec le réseau Internet sur lequel on peut consulter, importer et imprimer dans des logiciels spécialisés, des cartes de tout type.

- La netteté du dessin et la qualité de la restitution.

Si au début de la cartographie par ordinateur, le dessin de la carte et son impression étaient souvent plus proches du brouillon que du document cartographique, cet inconvénient est aujourd'hui disparu grâce d'une part à des outils d'édition cartographique très proches des meilleurs logiciels de dessin assisté par ordinateur et d'autre part à l'évolution technologique des imprimantes.

- Les logiciels de cartographie automatisent le dessin de nombreux figurés cartographiques : plages de valeurs, symboles proportionnels, diagrammes, etc.
- Les outils de dessin associés aux logiciels de cartographie évitent de savoir dessiner (du moins, à la main). Sur papier, en effet, le dessin d'une carte impose un apprentissage et une pratique soutenues pour dessiner des

formes géométriques parfois complexes et surtout une sensibilité aux arts graphiques afin d'assurer un rendu des couleurs honorable par exemple. Les logiciels de cartographie intègrent des aides au dessin avec lesquelles tracer et dessiner des figurés, des trames, des diagrammes ou des aplats* de couleurs ne constituent plus vraiment un frein. Enfin, les fonctions de mise en page permettent d'éditer des documents clairs et synthétiques. Le cartographe y gagne en temps, en précision et en rigueur.

- En revanche, le dessin par ordinateur ne s'apprend pas en quelques heures : dessiner avec une souris n'épargne pas l'utilisateur d'une initiation au dessin vectoriel (cf. Ci-dessous). Au moins, avec l'ordinateur, corriger une erreur de dessin et tester des solutions jusqu'à satisfaction est un jeu d'enfant. Sur papier au contraire, le droit à l'erreur est très limité : une main tremblotante entraîne irrémédiablement une carte - et des heures de travail - dans une corbeille à papier.
- Enfin, le rendu des imprimantes s'est considérablement amélioré ces dernières années. Pour un prix modique, il est possible maintenant de se procurer des imprimantes (laser, thermique, jet d'encre...) dont les performances offrent une qualité d'impression étonnante non seulement en noir et blanc mais aussi en couleur : au cartographe de tirer le meilleur parti de ces petites merveilles de technologie.
- Le traitement des données est lié directement à la partie graphique de la carte. Cette fonction, atout majeur des logiciels de cartographie, met en relation les données statistiques présentes dans un tableur ou une base de données et les

figurés graphiques et non graphiques (titre, légende, nomenclature) de la carte. Il suffit dès lors de changer les données numériques pour mettre à jour les cartes.

- Une immense capacité de gestion, de traitement, d'analyse.

La cartographie par ordinateur offre à la recherche scientifique et à de nombreuses activités professionnelles (aménagement et urbanisme, prospective, marketing, transport et circulation, etc.) une infinité de possibilités de croisements, de corrélations, de calculs, des plus simples (divisions en classes, calculs des moyennes, des écarts-types, des taux) aux plus compliqués (analyse factorielle, tendances, potentiels et gravités, agrégation...). L'établissement de modèles éventuels en est grandement facilité. La possibilité de formuler des hypothèses constitue aussi une formidable avancée pour les scientifiques, notamment les géographes mais aussi pour tous les professionnels soucieux d'optimiser l'organisation de l'espace. On aboutit à une autre fonction essentielle des S.I.G. : simuler.

- La possibilité de réaliser des cartes originales.

En alliant la puissance de calcul et la puissance graphique de l'ordinateur et des

logiciels, de « nouvelles » cartes sont nées, inconcevables ou très difficilement concevables à la main : il s'agit notamment des anamorphoses, des cartes en « 3D » et des cartes en carroyage. Ces cartes, au-delà de leur côté spectaculaire ou peu commun, explorent de nouvelles formes de représentations cartographiques. Dans le meilleur des cas, elles permettent d'analyser des phénomènes spatiaux jusqu'alors difficilement perceptibles, voire inconnus.

- La possibilité de manipuler des bases de données cartographiques.

Les logiciels sont capables d'exploiter et de manipuler des cartes satellites et des bases de données complexes issues des grands organismes producteurs de fonds de cartes (I.G.N., Michelin...).

Cette série d'avantages fondamentaux explique dans bien des cas qu'on ne puisse plus se passer de l'informatique lorsque l'on conçoit et réalise une carte. Néanmoins, l'ordinateur et les logiciels de cartographie n'évitent pas une prise en compte des règles de l'expression cartographique.

L'ordinateur et les logiciels de cartographie font très souvent oublier, même aux professionnels, que l'informatique ne dispense pas du respect des règles de construction d'une carte. A titre de comparaison, il serait tout aussi grotesque de penser qu'un traitement de texte exempt des règles de construction d'une phrase ou d'un texte.

Certes, tout comme un traitement de texte, le logiciel de cartographie propose des aides : aide au dessin, légende automatique, aide à la généralisation, etc. Mais le cartographe comme l'écrivain reste le seul pilote à bord. Le logiciel de cartographie fait au final ce qu'on lui dit de faire : si les données saisies sont fausses par exemple, la carte sera également complètement fautive. Les plus grosses lacunes se retrouvent dans les choix graphiques. On note ainsi « une contradiction grandissante entre le niveau de sophistication de la cartographie théorique, mathématique et automatique et l'ignorance des principes élémentaires de la graphique » (J.C. Muller).

On voit donc fleurir des centaines de cartes en apparence sérieuses mais en fait totalement fantaisistes et/ou illisibles. A la différence d'un texte bourré de fautes d'orthographe et de style, ces cartes passent souvent aux travers des critiques, car peu de lecteurs discernent le bon du mauvais. [2]

I.7 Les projections cartographiques :

I.7.1 Rappel sur les projections :

On appelle projection cartographique le système de correspondance entre les coordonnées géographiques et les points du plan de projection. On fait appel à la géométrie et plus couramment aux formules mathématiques pour réaliser ce système de projection. En termes de géométrie, la Terre, en tant qu'ellipsoïde (une sphère légèrement aplatie), est considérée comme une forme non-développable. En effet, peu importe la manière dont la Terre est divisée, elle ne peut être déroulée ou dépliée pour être étendue. Certaines des projections les plus simples se définissent d'après des propriétés géométriques générales que l'on peut étendre sans déchirer leurs surfaces. On considère ces figures développables. Les cônes, les cylindres et les «plans» sont des exemples de figures qui reflètent ces propriétés.

Le cône, le cylindre et le plan sont des formes géométriques développables. La surface courbe de la Terre peut être projetée sur les formes qui peuvent être déroulées pour devenir une carte plate. [4]

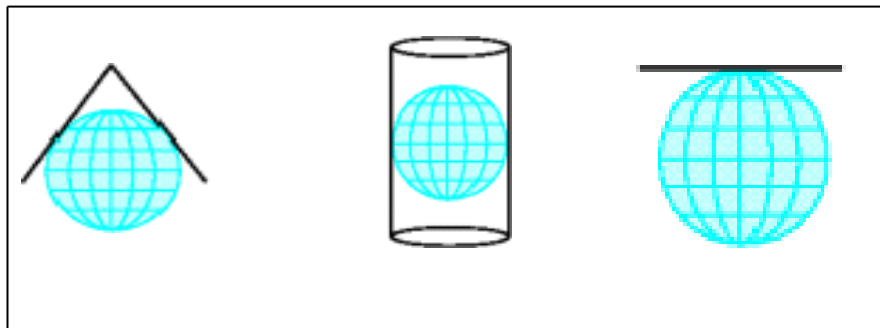


Figure I.11: Les tangentes.

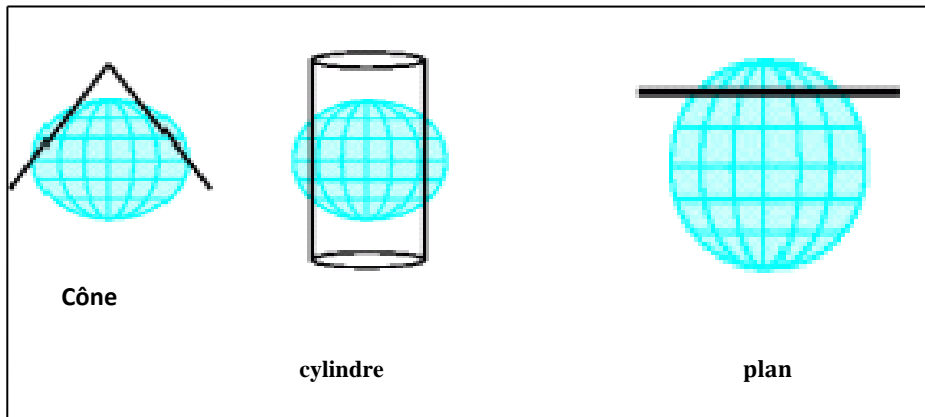


Figure I.12: Les sécantes .

I.7.2 Le Référentiels géographique :

Le référentiel géographique est l'ensemble de conventions qui permettent d'associer à tout point d'une partie de la surface terrestre un point unique sur une carte.

Traditionnellement, pour représenter la surface terrestre on utilise une représentation de la surface qui altère aussi peu que possible les propriétés métriques du terrain (distance entre les points de la surface terrestre, angles, etc.). Le schéma le plus couramment employé est présent à (la figure I.13). [5]

- **Le système de référence terrestre :**

L'espace géométrique au voisinage de la Terre est parfaitement décrit par trois dimensions. Cette situation conduit naturellement à introduire un système d'axes cartésien centré au centre de la Terre tournant avec la Terre. Ce système d'axe est appelé système de référence terrestre. Il permet de repérer un point au voisinage de la Terre (donc à sa surface) par trois coordonnées (x ; y ; z). Sa construction est essentiellement implicite car aucun système de mesure ne permet directement de donner de positions exprimées dans le système terrestre. Les positions résultent toujours d'un calcul effectué à partir d'observations de triangulation. Jusque dans les années 1970, les observations de base étaient faites au sol. Depuis cette époque, les observations sont faites à partir de système spatiaux (satellites pour l'essentiel). Le système de positionnement le plus connu est le GPS (Global Positioning System). La nécessité de procéder à des calculs justifie le panel de précisions de positionnement auquel donne accès le GPS : depuis la centaine de mètres pour les récepteurs « bas de gamme » pour

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

lesquels le calcul est peu soigné, jusqu'aux récepteurs géodésiques donnant accès au centimètre à l'échelle de la Terre .

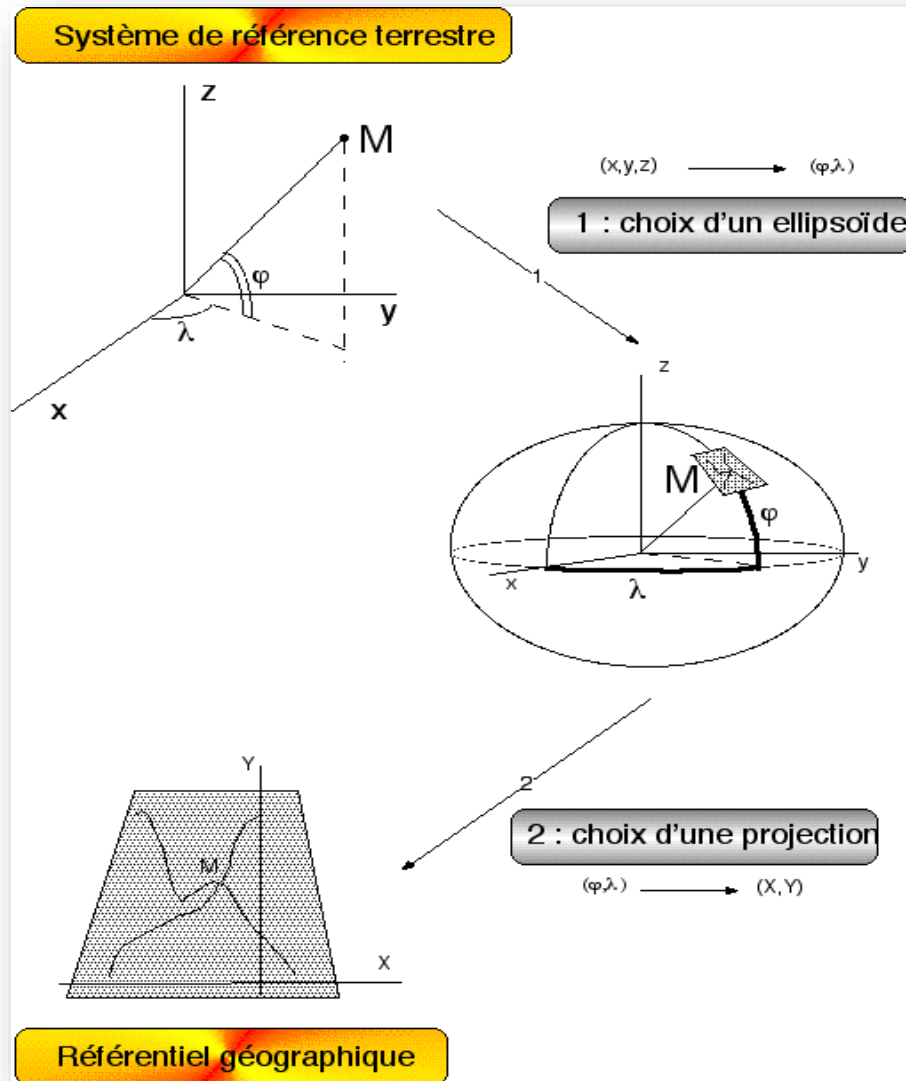


Figure I.13: La construction du référentiel géographique.

de satellites GPS. Ces satellites sont au nombre de 24. Ils sont en orbite autour de la Terre sur 6 plans différents.

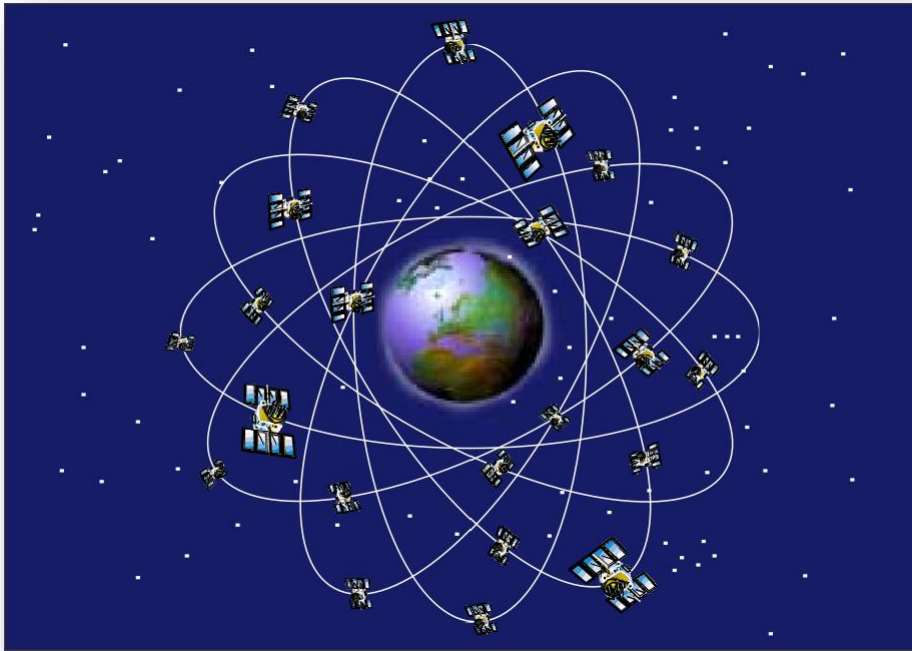


Figure I.14: La constellation de satellites GPS.

Le système a été développé pour les besoins de positionnement en temps réel de l'armée américaine. Le signal temps réel a été longtemps brouillé de façon à dégrader les performances pour des utilisateurs non-habilités. La dégradation volontaire du système a été supprimée récemment améliorant ainsi ce mode de positionnement (quelques mètres de précision).

Les systèmes de référence terrestres sont intimement liés aux mesures qui permettent de le construire. La détermination des coordonnées étant implicite, le système est construit en posant des conditions que doit vérifier le système (mouvement accompagnant la Terre dans sa rotation, origine du système au centre des masses de la Terre). Les observations n'étant pas parfaites, ces conditions ne sont qu'approximativement vérifiées. C'est la raison pour laquelle il existe un grand nombre de systèmes de référence différents. En particulier, les anciens systèmes réalisés par des mesures au sol peuvent être excentrés du centre de la Terre de plusieurs kilomètres. Les nouveaux systèmes réalisés par mesures spatiales sont tous cohérents à quelques centimètres près. Pour la cartographie, les seuls problèmes qui se posent résident

dans l'utilisation de coordonnées de points terrestres exprimées dans des systèmes de référence réalisés par d'anciennes mesures.[5]

I.7.3 Le géoïde :

Les surfaces sur lesquelles le potentiel de pesanteur est constant sont appelées surfaces équipotentielles . La surface moyenne des océans est une surface équipotentielle. Ainsi le géoïde correspond à la surface moyenne des océans .En fait ,cette surface est difficilement accessible. Même sur les océans ,ou la houle, les marées peuvent être moyennées ,les différences de température ,de salinité ,les vents peuvent modifier le niveau moyen .Sous les continents, le géoïde n'est défini que d'une façon indirecte. [6]

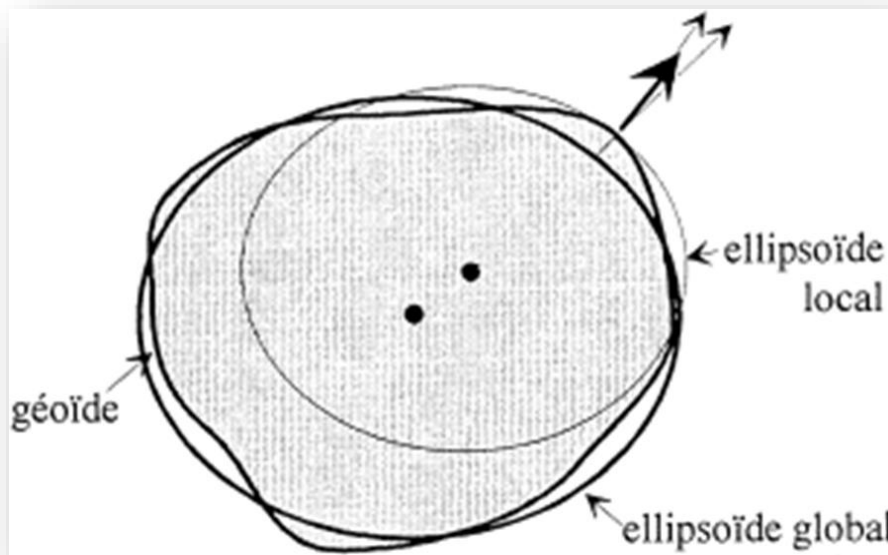


Figure I.15:Un exemple de géoïde.

Tableau I.1: Système géodésique.

Système géodésique	Ellipsoïde associé
NTF	Clarke 1880 IGN
ED50	Hayford 1909
WGS 84	IAGRS 1980

I.7.4 L'ellipsoïde:

L'ellipsoïde de révolution ("sphère aplatie aux pôles") est un modèle mathématique que l'on définit pour qu'il soit le plus près possible du géoïde. Il existe de nombreux modèles d'ellipsoïdes. Les ellipsoïdes globaux modélisent la totalité du géoïde, leur précision est moyenne à peu près partout ex: IAG GRS 1980 (WGS84). Les ellipsoïdes locaux modélisent précisément une zone géographique particulière et ne peuvent pas être utilisés en dehors de cette zone ex: Clarke 1880 IGN (NTF). [6]

I.7.5 Datum :

I.7.5.1 Le datum géodésique :

Il est nécessaire de positionner l'ellipsoïde par rapport à la surface réelle de la Terre. La donnée de l'ellipsoïde et des paramètres de positionnement constitue ce qu'on appelle un datum géodésique à partir duquel pourra être appliquée une projection.

Un datum géodésique est donc défini par :

- la donnée de l'ellipsoïde .
- la position du centre de l'ellipsoïde par rapport au centre de masse de la Terre (de quelques centimètres à plus d'une centaine de mètres) .
- l'orientation des axes de l'ellipsoïde. [7]

I.7.5.2 Le datum local :

Un datum local aligne son ellipsoïde de façon à l'adapter au mieux dans une zone géographique déterminée. L'origine du système de coordonnées d'un datum local n'est pas situé au centre de la Terre mais à quelques centaines de mètres de celui-ci.

On définit un point d'origine (le point fondamental) se situant sur la surface de la Terre dans l'espace géographique étudié. Les coordonnées du point d'origine choisi sont fixes et tous les autres points sont calculés d'après ce point (**Figure I.16**). [7]

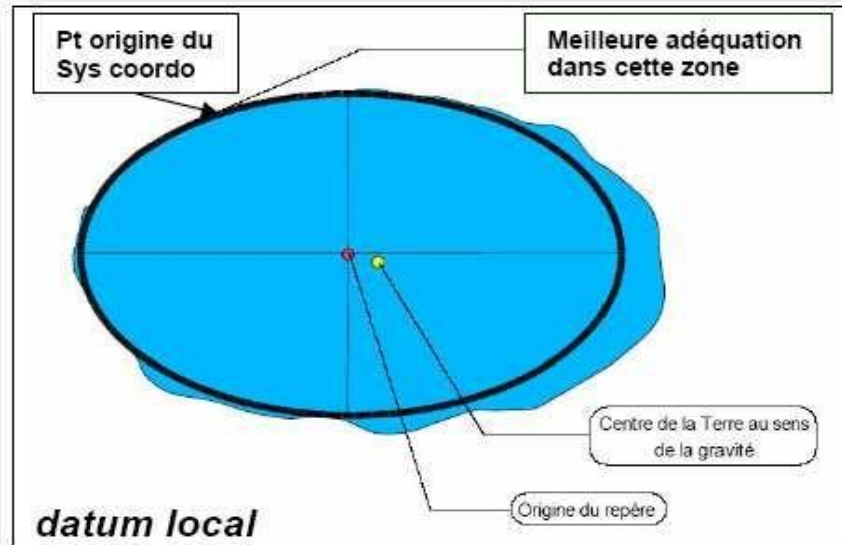


Figure I.16: Datum local.

- **Exemples de datum locaux :**
 - **NTF** (Nouvelle triangulation de la France) : basé sur l'ellipsoïde **Clarke 1880**), Le point fondamental est au Panthéon à Paris. La projection courante est **Lambert**.
 - **ED50** : datum européen de 1950, basé sur l'ellipsoïde **International 1924**
 - **NAD27** : USA, basé sur l'ellipsoïde **Clarke 1866**. [7]

I.7.5.3 Le datum géocentrique (global) :

Depuis les années 1990, les données spatiales ont permis la géodésie de définir des ellipsoïdes dont l'origine se situe à quelques mètres du centre de masse de la Terre.

Contrairement à un datum local, un datum géocentrique (global) ne possède pas un point d'origine initial en surface.

Le datum géocentrique le plus fréquemment utilisé est le Système géodésique mondial de 1984 (WGS84). Il sert de cadre pour les mesures au niveau international. Les mesures de position GPS sont établies à partir du WGS84 (**Figure I.17**). [7]

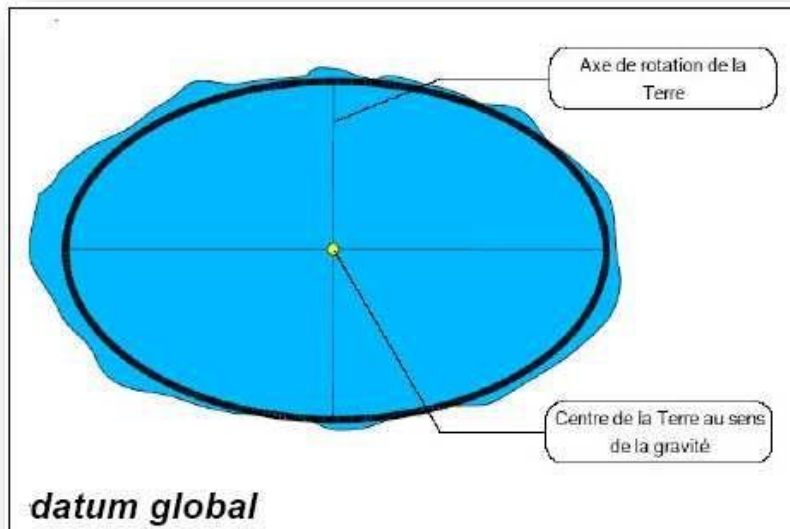


Figure I.17: Datum géocentrique (global) .

I.7.6 Transformation géographique :

I.7.6.1 Définition :

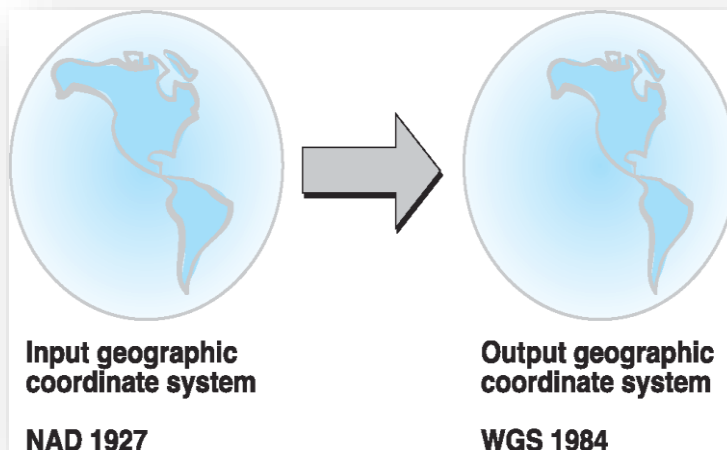


Figure I.18: Méthode de transformation géographique.

Comme les systèmes de coordonnées géographiques contiennent des datums basés sur des ellipsoïdes, une transformation géographique entraîne également la modification de l'ellipsoïde sous-jacent. Une transformation entre datums peut s'effectuer selon plusieurs méthodes avec différents niveaux de précision et diverses plages La précision

d'une transformation donnée peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres en fonction de la méthode ainsi que de la qualité et du nombre de points de contrôle disponibles pour la définition des paramètres de transformation.

Une transformation géographique permet toujours de convertir des coordonnées géographiques (longitude- latitude). Certaines méthodes permettent de convertir les coordonnées géographiques en coordonnées géocentriques (X, Y, Z), de transformer les coordonnées X, Y, Z et de reconverter les nouvelles valeurs obtenues en coordonnées géographiques.

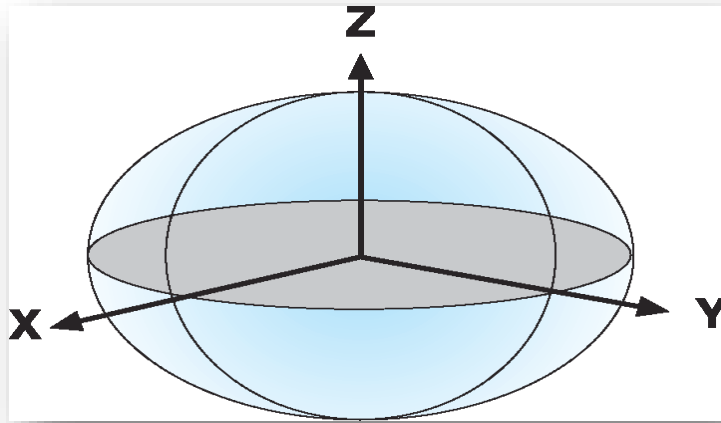


Figure I.19: Le système de coordonnées X,Y,Z.

Ceci comprend la méthode de translation géocentrique, la méthode Molodensky et la méthode Cadre des coordonnées.

D'autres méthodes, par exemple : les méthodes NADCON et NTV2 utilisent une grille de différences et permettent de convertir les valeurs longitude/latitude directement.

Une transformation géographique est toujours définie par une direction. Les paramètres de transformation décrivent comment convertir en allant du système de coordonnées géographiques en entrée au système de coordonnées géographiques en sortie. Toutes les méthodes prises en charge sont réservables. En fonction de la transformation géographique, vous pouvez l'appliquer dans la direction opposée. Généralement, les applications procèdent à une application automatique de la transformation dans la direction appropriée. Par exemple, si vous souhaitez convertir des données de WGS 1984 vers Adindan et qu'une liste des transformations géographiques disponibles

indique Adindan_To_WGS_1984, vous pouvez choisir cette transformation et l'application sera correctement effectuée. [8]

I.7.6.2 Méthode de transformation géographique :

I.7.6.2.1 transformations géodésiques basée sur les équations :

- **Méthodes à trois paramètres :**

La méthode de transformation de datums la plus simple consiste en une transformation géocentrique ou à trois paramètres. La transformation géocentrique permet de modéliser les différences entre deux datums dans le système de coordonnées X, Y, Z. Un datum se définit par son centre en 0, 0, 0. Celui de l'autre datum est défini à une certaine distance d'éloignement ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) calculée en mètres.

Généralement, les paramètres de transformation sont définis comme partant d'un datum local vers WGS 1984 ou un autre datum géocentrique.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

new original

Les trois paramètres sont des translations linéaires et se définissent toujours en mètres. [8]

- **Méthodes à sept paramètres**

Une transformation de datums plus complexe et plus précise est possible en ajoutant quatre paramètres supplémentaires à une transformation géocentrique. Ces sept paramètres comprennent trois translations linéaires (dX, dY, dZ), trois rotations angulaires autour de chaque axe (r_x, r_y, r_z) et un ou plusieurs facteurs d'échelle.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + (1 + S) \begin{bmatrix} 1 & \delta z & -\delta y \\ -\delta z & 1 & \delta x \\ \delta y & -\delta x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

new

original

Les valeurs de rotation sont données en secondes décimales, tandis que le facteur d'échelle est en parts par million (ppm). Les valeurs de rotation peuvent être définies de deux manières différentes. Il est possible de définir des angles de rotation positifs dans le sens horaire ou inverse quand vous regardez l'origine des systèmes X, Y, Z.

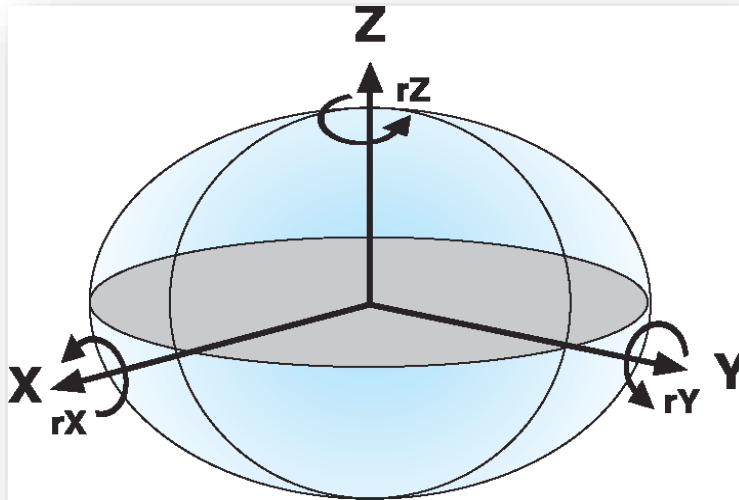


Figure I.20: La définition du cadre des coordonnées (ou Bursa Wolf) relative aux valeurs de rotation.

L'équation précédente correspond à la manière dont les Etats-Unis et l'Australie définissent les équations et s'appelle la transformation par rotation du cadre des coordonnées. Les rotations sont positives dans le sens anti-horaire. L'Europe suit une convention différente appelée la transformation par vecteur de position. Ces deux méthodes sont parfois désignées sous le nom de méthode Bursa Wolf. Dans le moteur de projection, les méthodes Cadre des coordonnées et Bursa Wolf sont identiques. Les méthodes Cadre des coordonnées et Vecteur de position sont gérées et la conversion des valeurs de transformation s'effectue facilement d'une méthode à l'autre, en changeant simplement les signes des trois valeurs de rotation. Par exemple, les paramètres de conversion à partir du datum WGS 1972 vers le datum WGS 1984 par la méthode du cadre des coordonnées sont (dans l'ordre : dx,dy,dz,rx,ry,rz,s) :

(0.0, 0.0, 4.5, 0.0, 0.0, -0.554, 0.227)

Pour utiliser les mêmes paramètres avec la méthode Vecteur de position, changez le signe de la rotation pour obtenir les nouveaux paramètres suivants :

(0.0, 0.0, 4.5, 0.0, 0.0, +0.554, 0.227)

Sauf mention explicite, il est impossible, à partir des seuls paramètres, de déterminer la convention utilisée. Si vous employez la mauvaise méthode, vos résultats peuvent vous donner des coordonnées erronées. Le seul moyen de déterminer le mode de définition de ces paramètres consiste à effectuer une vérification à partir d'un point de contrôle dont les coordonnées sont connues des deux systèmes. [8]

- **Méthode Molodensky :**

La méthode Molodensky permet d'effectuer une conversion directe entre deux systèmes de coordonnées géographiques sans aboutir réellement à une conversion en un système X, Y, Z. La méthode Molodensky nécessite l'utilisation de trois translations ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), des différences entre les demi-grands axes (Δa) et les aplatissements (Δf) des deux ellipsoïdes. Le moteur de projection permet de calculer automatiquement les différences d'ellipsoïdes en fonction des datums concernés.

$$(M + h)\Delta\varphi = -\sin\varphi \cos\lambda\Delta X - \sin\varphi \sin\lambda\Delta Y + \cos\varphi\Delta Z + \frac{e^2 \sin\varphi \cos\varphi}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}} \Delta a$$

$$+ \sin\varphi \cos\varphi \left(M \frac{a}{b} + N \frac{b}{a} \right) \Delta f$$

$$\Delta h = \cos\varphi \cos\lambda\Delta X + \cos\varphi \sin\lambda\Delta Y + \sin\varphi\Delta Z - (1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2} \Delta a$$

$$+ \frac{a(1-f)}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}} \sin^2\varphi \Delta f$$

M et N représentent, respectivement, le rayon méridien et la Grande Normale pour une latitude donnée. Les équations correspondant à M et N sont les suivantes :

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{3/2}}$$

$$N = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2\varphi)^{1/2}}$$

Vous déterminez $\Delta\lambda$ et $\Delta\varphi$. le moteur de projection ajoute automatiquement les résultats. [8]

- **Méthode Molodensky abrégée :**

La méthode Molodensky abrégée est une version simplifiée de la méthode Molodensky. Les équations sont les suivantes :

$$M \Delta\varphi = -\sin \varphi \cos \lambda \Delta X - \sin \varphi \sin \lambda \Delta Y + \cos \varphi \Delta Z + (a\Delta f + f\Delta a) \cdot 2 \sin \varphi \cos \varphi$$

$$(N + h) \cos \varphi \Delta\lambda = -\sin \lambda \Delta X + \cos \lambda \Delta Y$$

$$N \cos \varphi \Delta\lambda = -\sin \lambda \Delta X + \cos \lambda \Delta Y$$

$$\Delta h = \cos \varphi \cos \lambda \Delta X + \cos \varphi \sin \lambda \Delta Y + \sin \varphi \Delta Z + (a\Delta f + f\Delta a) \sin^2 \varphi - \Delta a \quad [8]$$

I.7.6.2.2 transformations géodésiques basée sur une grille :

- **Méthodes NADCON et HARN :**

Les Etats-Unis utilisent une méthode par grille pour effectuer une conversion entre des systèmes de coordonnées géographiques. Les méthodes par grille permettent de modéliser les différences entre les systèmes et constituent potentiellement la méthode la plus précise. La zone considérée est divisée en cellules. Le National Geodetic Survey (NGS) publie des grilles de conversion entre le NAD 1927 et autres systèmes de coordonnées géographiques plus anciens et le NAD 1983. Ces transformations sont regroupées dans la méthode NADCON. La principale grille NADCON, CONUS, permet de convertir les 48 états contigus. Les autres grilles NADCON permettent de convertir des systèmes de coordonnées géographiques plus anciens en NAD 1983 pour :

- l'Alaska,
- les îles Hawaii,
- Porto Rico et les îles Vierges,
- les îles Saint-Georges, Saint-Laurent et Saint-Paul en Alaska.

Le niveau de précision est à 0,15 mètre près pour les états contigus, à 0,50 pour l'Alaska et ses îles, à 0,20 pour Hawaii et à 0,05 pour Porto Rico et les îles Vierges. Les différents degrés de précision peuvent varier en fonction de l'exactitude des données géodésiques pour la zone concernée lors du calcul des grilles (NADCON, 1999).

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

Les îles Hawaii n'ont jamais figuré sur le NAC 1927. Elles ont été cartographiées à l'aide de plusieurs datums regroupés sous le nom de Anciens datums des îles Hawaii.

Les nouvelles techniques d'arpentage ou satellitaires ont permis au NGS et aux différents états de mettre à jour leurs réseaux de points de contrôle géodésiques. Chaque fois que le traitement d'un état est terminé, le NGS publie une grille de conversion entre les données NAD 1983 et les coordonnées plus précises des points de contrôle. A l'origine, cet effort portait le nom de High Precision Geodetic Network (HPGN). Celui-ci est à présent désigné sous le nom de High Accuracy Reference Network (HARN). Plus de 40 états ont publié des grilles HARN depuis septembre 2000. Les transformations HARN ont un degré de précision à 0,05 mètre près (NADCON, 2000).

Les valeurs des différences obtenues en secondes décimales sont enregistrées dans deux fichiers : un fichier pour la longitude, un autre pour la latitude. Une interpolation bilinéaire permet de calculer la différence exacte entre les deux systèmes de

coordonnées géographiques utilisés pour un point donné. Les grilles sont des fichiers binaires, mais un programme du NGS nommé NADGRD permet de convertir ces grilles au format ASCII (American Standard Code for Information Interchange). En bas de page, figurent l'en-tête et la première ligne du fichier CSHPGN.LOA. Il s'agit de la grille de longitude du sud de la Californie. Le format de la première ligne de nombres correspond, dans l'ordre, au nombre de colonnes, au nombre de lignes, au nombre de valeurs z (toujours une), à la longitude minimum, à la taille de la cellule, à la latitude minimum, à la taille de la cellule et valeur non utilisée.

Les 37 valeurs suivantes (dans ce cas) correspondent aux translations en longitude de -122° à -113° à 32° N pour des intervalles de 0,25° en longitude. [8]

REGION EXTRAITE DE NADCON NADGRD

37	21	1	-122.00000	.25000	32.00000	.25000	.00000	
			.007383	.004806	.002222	-.000347	-.002868	-.005296
			-.007570	-.009609	-.011305	-.012517	-.013093	-.012901
			-.011867	-.009986	-.007359	-.004301	-.001389	.001164
			.003282	.004814	.005503	.005361	.004420	.002580
			.000053	-.002869	-.006091	-.009842	-.014240	-.019217
			-.025104	-.035027	-.050254	-.072636	-.087238	-.099279
			-.110968					

• **National Transformation version 2 :**

A l'instar des Etats-Unis, le Canada a recours à une méthode par grille pour une conversion entre le NAD 1927 et le NAD 1983. La méthode National Transformation version 2 (NTv2) est très proche du NADCON. Un ensemble de fichiers binaires comporte les différences entre les deux systèmes de coordonnées géographiques. Une interpolation bilinéaire permet de calculer les valeurs exactes d'un point.

Contrairement au NADCON qui ne permet que l'utilisation d'une grille à la fois, la NTv2 est conçue pour sélectionner plusieurs grilles afin d'obtenir les informations de translation les plus précises. Un ensemble de grilles de base de faible densité existe pour le Canada. Certaines zones, telles que les grandes villes, sont associées à des grilles secondaires locales de haute densité qui chevauchent des portions de grilles de base ou grilles mères. Si un point donné se situe dans l'une des grilles de haute densité,

NTv2 utilise cette dernière ; sinon, le point concerné " passe " dans la grille de faible densité.

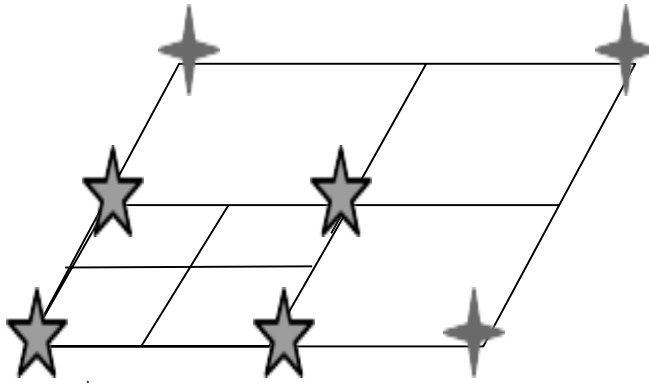


Figure I.21: Soit une grille secondaire de haute densité à quatre cellules superposées à une grille de base de faible densité, également à quatre cellules.

Si un point se trouve dans la partie inférieure gauche de l'image présentée ci-dessus entre les étoiles, les translations sont calculées à l'aide de la grille secondaire de haute densité. Les translations d'un point dont les coordonnées sont situées hors de ce périmètre sont calculées à l'aide de la grille de base de faible densité. Le logiciel détermine automatiquement la grille de base ou secondaire à utiliser.

Les grilles mères pour le Canada ont des espacements allant de cinq à 20 minutes. La taille des cellules des grilles de haute densité est généralement de 30 secondes.

A la différence des grilles NADCON, les grilles NTV2 répertorient la précision de chaque point. Les valeurs de précision peuvent aller de quelques centimètres à un mètre environ. Les grilles de haute densité ont généralement des valeurs de précision inférieures à un centimètre.

L'Australie et la Nouvelle-Zélande ont adopté le format NTV2 pour effectuer des conversions entre datums également. L'Australie a diffusé plusieurs grilles pour effectuer des conversions entre l'Australian Geodetic Datum of 1966 (AGD 1966) ou l'AGD 1984 et le Geocentric Datum of Australia of 1994 (GDA 1994). La Nouvelle-Zélande a diffusé une grille du pays pour une conversion entre le New Zealand Geodetic Datum of 1949 (NZGD 1949) et le NZGD 2000. [8]

- **National Transformation version 1 :**

A l'instar du NADCON, la National Transformation version 1 (NTv1) utilise une grille unique pour modéliser les différences entre le NAD 1927 et le NAD 1983 au Canada. Cette version est également appelée CNT dans ArcInfo™ Workstation. Le niveau de précision est de l'ordre de 0,01 m pour la différence réelle de 74 pour cent des points et de 0,5 m pour 93 pour cent des cas. [8]

I.7.7 Les systèmes de projection utilisés en Algérie :

Pour les besoins cartographiques, on est contraint de représenter l'image de la terre sur une surface plane assimilée à un ellipsoïde donné. Les coordonnées planes obtenues permettent d'effectuer des mesures directes sur la carte.

Les cartes de l'Algérie sont réalisées selon différents systèmes de projection en fonction de la période durant laquelle elles ont été établies. On distingue quatre systèmes de projection principaux selon lesquels sont réalisées les cartes en Algérie. [9]

I.7.7.1 Le Lambert Algérie :

Ce système est divisé en deux zones : Lambert Nord Algérie et Lambert Sud Algérie. Il s'agit de la projection de l'ellipsoïde (modèle mathématique de la terre) sur un cône dont le sommet est sur l'axe des pôles et ce cône est tangent au parallèle origine de latitude ϕ_0 ou parallèle central. Cependant, la projection conique Lambert a été abandonnée vers le début des années 80. [9]

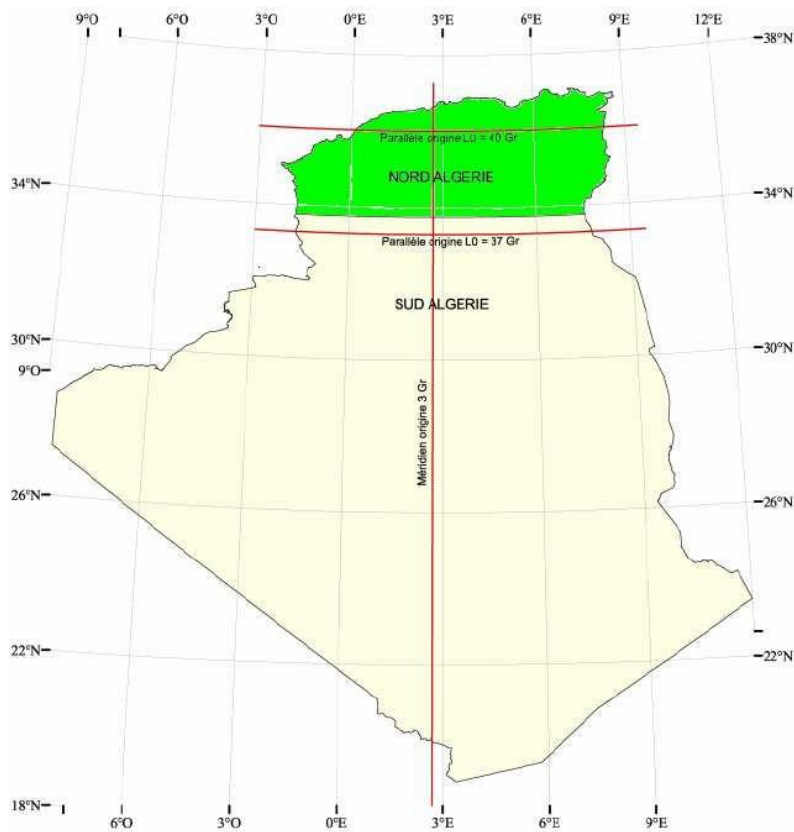


Figure I.22: Projection de Lambert.

I.6.7.2 Le système Nord Sahara 1959 :

Le système géodésique Nord-Sahara 1959 a été utilisé pour le canevas de base des cartes d'Algérie des régions sahariennes au 1: 200 000. Ce système est le seul en vigueur pour des latitudes inférieures à 32° Nord. Il est exprimé dans l'un des fuseaux de la projection UTM sur l'ellipsoïde de Clarke 1880 Anglais. La situation du sud de la région saharienne est cependant un peu plus complexe. Nord-Sahara 1959 a remplacé Voirol 1875 en 1960 (arrêté au J.O. du 14 janvier 1960) et a été notamment défini pour les travaux devant servir d'appui à la cartographie des territoires du Sahara. Ce système a permis de concilier les canevas de triangulation avec les canevas astronomiques. Les cartes des régions du sud du Sahara sont dressées uniquement à partir d'un réseau astronomique. [9]

I.6.7.3 Le système UTM Algérie :

La projection cylindrique UTM (Universal Transverse Mercator) couvre le monde entier et est constituée de 60 fuseaux de 6 degrés d'amplitude en longitude. Cette projection est réalisée selon l'ellipsoïde de Clarke 1880. La Base de données applicable pour l'Algérie présente quatre fuseaux (**Figure I.22**) :

UTM zone 29N entre 12° et 6° Ouest,

UTM zone 30N entre 6° Ouest et 0° Greenwich,

UTM zone 31N entre 0° Greenwich et 6° Est,

UTM zone 32N entre 6° et 12° Est [9]

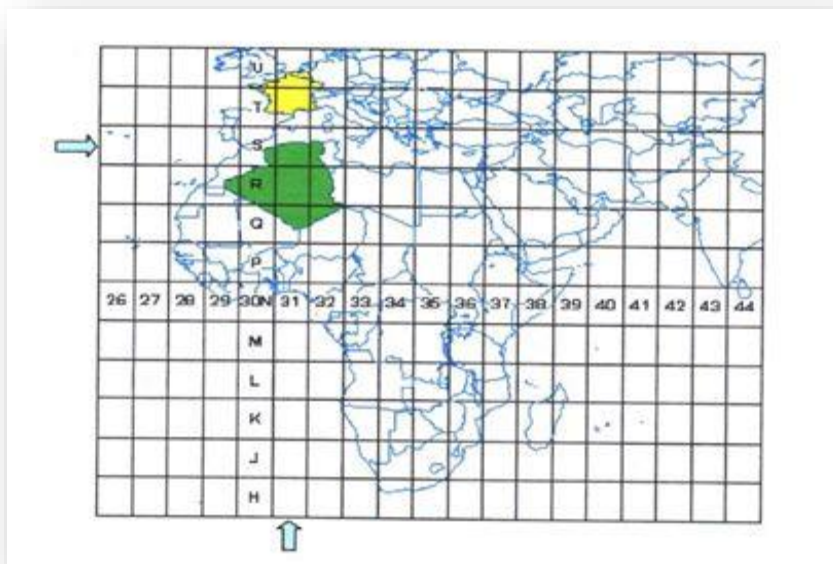


Figure I.23: Aperçue de la position de l'Algérie selon la projection UTM.

I.6.7.4 Le système WGS84 :

WGS 84 (World Geodetic System 1984) est un système mondial mis au point par le département de la défense des États-Unis et utilisé par le GPS, basé sur l'ellipsoïde WGS84.

Ce système utilise une projection cylindrique.[9]

I.8 Système de coordonnées géographiques :

La méthode de base pour localiser un point sur la terre est de le localiser dans un système de coordonnées géographiques (SCG)

Un SCG comprend une unité de mesure, un premier méridien et un datum

Un SC géographique est différent d'un SC projeté parce qu'il ne conserve aucune propriété géométrique intéressante (forme, aire, distance) [10]

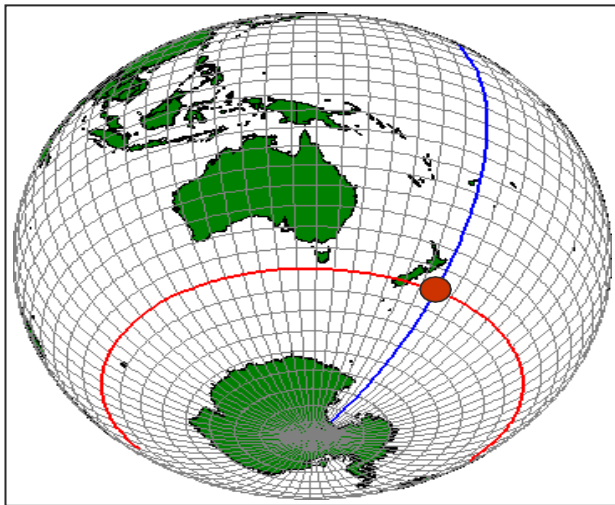


Figure I.24: $90^{\circ}30'$ (90 degrés 30 minutes) = 90.5° (90.5 degrés décimaux)

- **Unité de mesure**

L'unité de mesure dans un système de coordonnées géographiques est le degré
Chaque degré est divisé en 60 minutes et chaque minute est divisée 60 secondes

On peut aussi utiliser les degrés décimaux.[10]

I.9 Système de coordonnées projetées :

Pour éviter les inconvénients d'un SCG (formes distordues et mesures impossibles) on utilise un système de coordonnées projetées (SCP) qui tente de rétablir mathématiquement certaines caractéristiques importantes

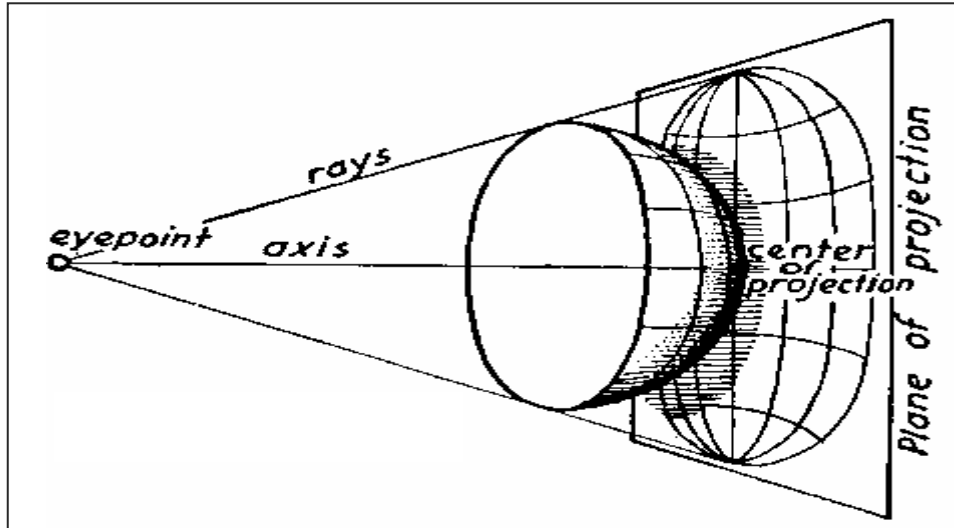


Figure I.25: Le principe général d'un SGP est de projeter les points du globe sur un plan .

On distingue les SCP selon le type de plan sur lequel les points sont projetés

- Les projections azimutales projettent sur un plan plat
- Les projections coniques projettent sur un cône
- Les projections cylindriques projettent sur un cylindrique

Aucun SCP ne permet de préserver correctement les formes, les distances et les surfaces en même temps

Les projections conformes conservent les formes et les angles

- Mercator, Transverse Mercator, UTM, Lambert Conformal Conic
- Les projections équidistantes conservent les distances

- Azimuthal Equidistant, Equidistant Conic , Equidistant Cylindrical
- Les projections équivalentes (equal area) conservent les aire

- Alber's equal area, Lambert equal area

Même si une projection ne peut conserver les trois caractéristiques

en même temps, elle peut offrir de bon compromis

Certaines projections ne conservent rien mais sont utiles à d'autres usages.[10]

I.10 Classification des projections cartographiques :

I.10.1 les systèmes de projection conformes:

Ils conservent les angles et donc les formes.

L'altération des surfaces augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point de mesure [11]

Exemple: la projection de Mercator (1569)

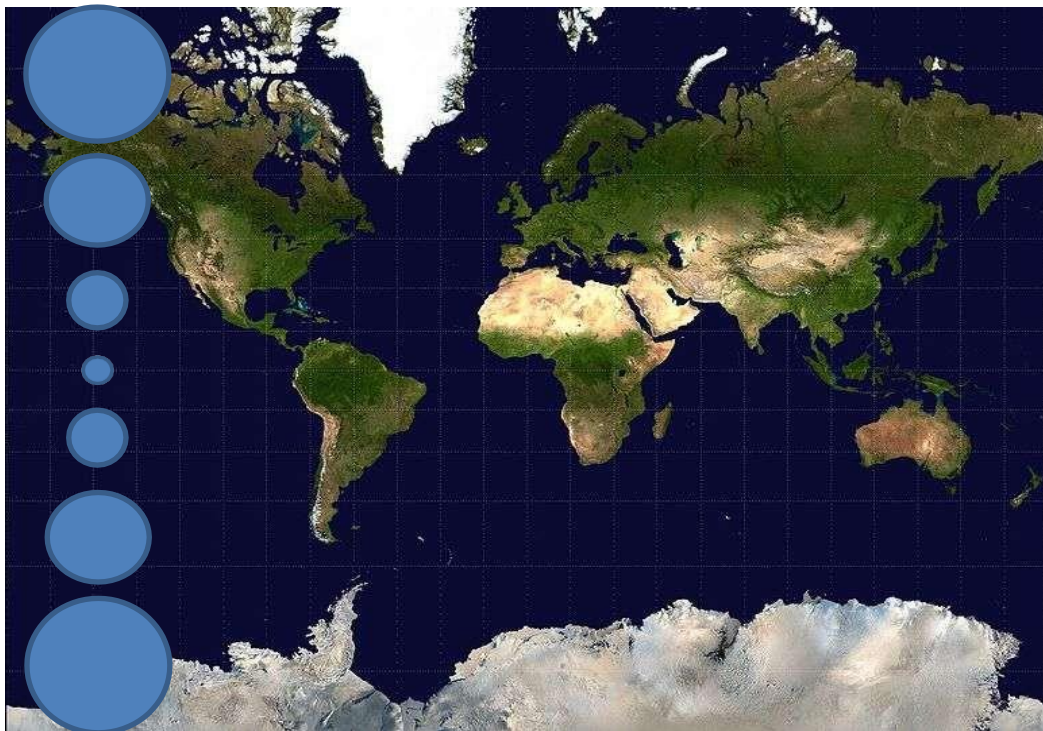


Figure I .26:Projection conforme : L'indicatrice reste un cercle mais sa surface varie.

I .10.2 Les systèmes de projection équivalents:

Les surfaces sont conservées mais les angles, donc les formes des surfaces, sont de plus en plus altérés quand on s'éloigne du point de projection.

Exemple: La projection de Eckert IV [11]

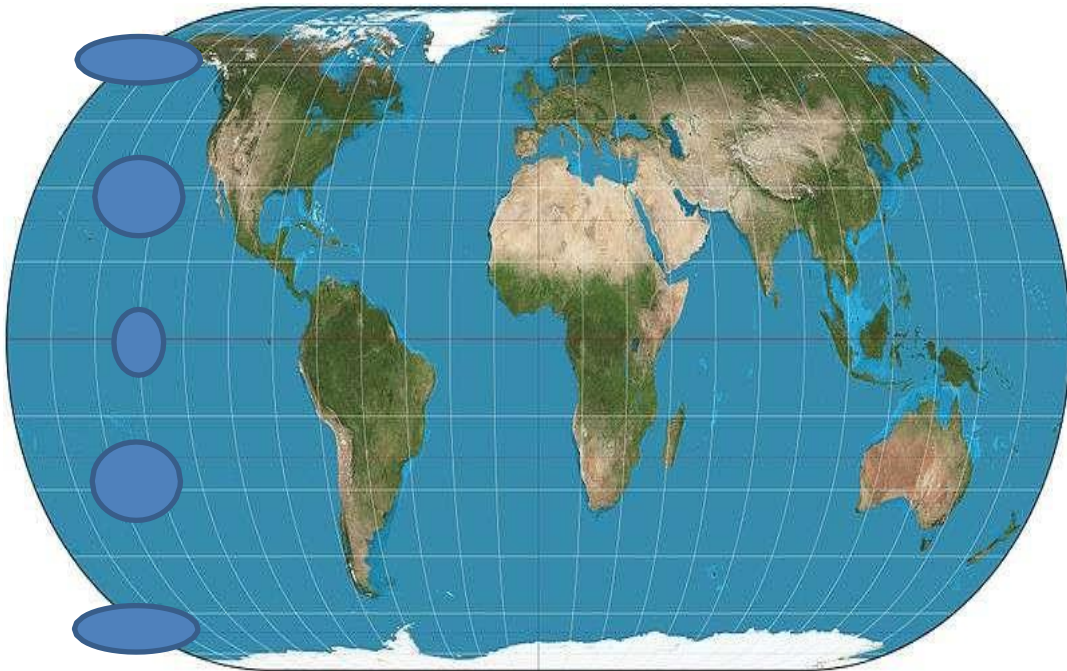


Figure I.27: Projection équivalente : L'indicatrice, s'aplatit sa surface reste constante.

I.10.3 Classement des systèmes de projection selon les modes de construction :

I.10.3.1 Les projections azimutales :

La forme de la surface de projection est un plan tangent à l'ellipsoïde à partir d'un de vue (O) en un point (c) qui est le centre de projection.

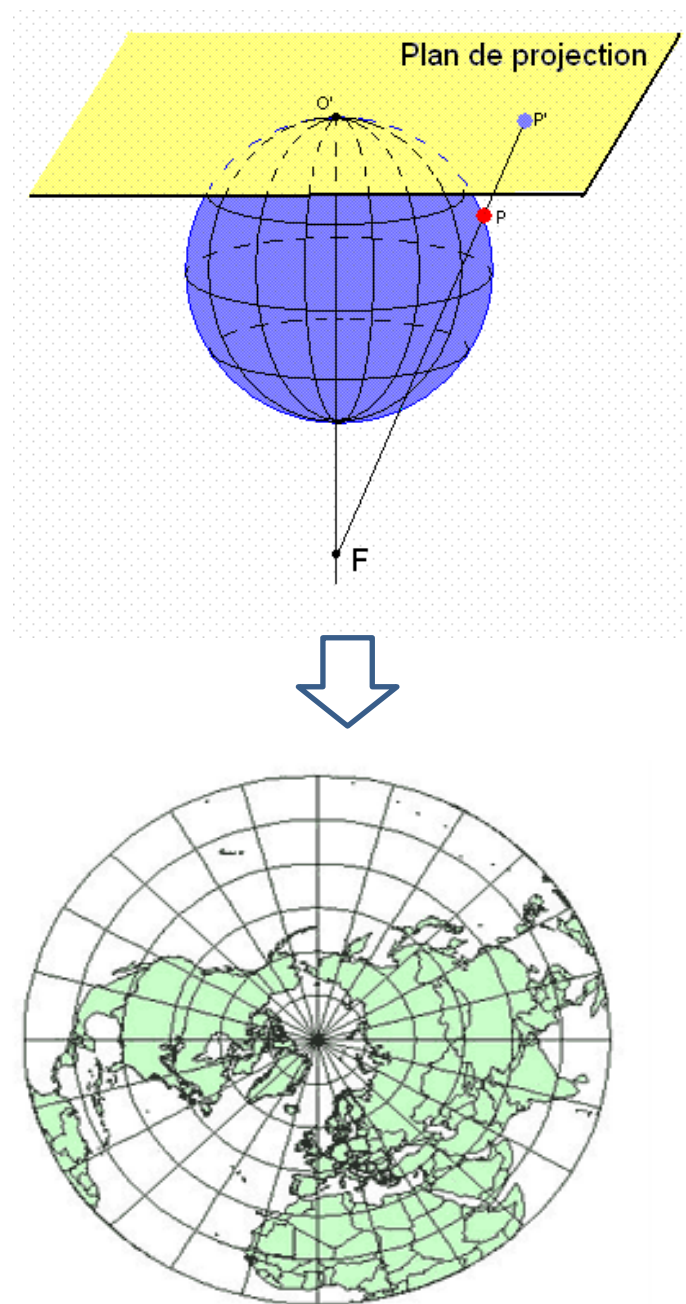


Figure I.28: Projection azimutale.

Chapitre I : Généralités sur la cartographie et les projections cartographiques

Si le plan est tangent au niveau du pôle, on est dans le cas d'une projection azimutale polaire. La déformation est nulle au point de contact entre le globe et le plan de projection.

Si le point de vue O est au centre de la terre, la projection est dite gnomonique ou centrale.

Si le point de vue O est à l'opposé du point de tangence du plan et de l'ellipsoïde, la projection est dite stéréographique. [11]

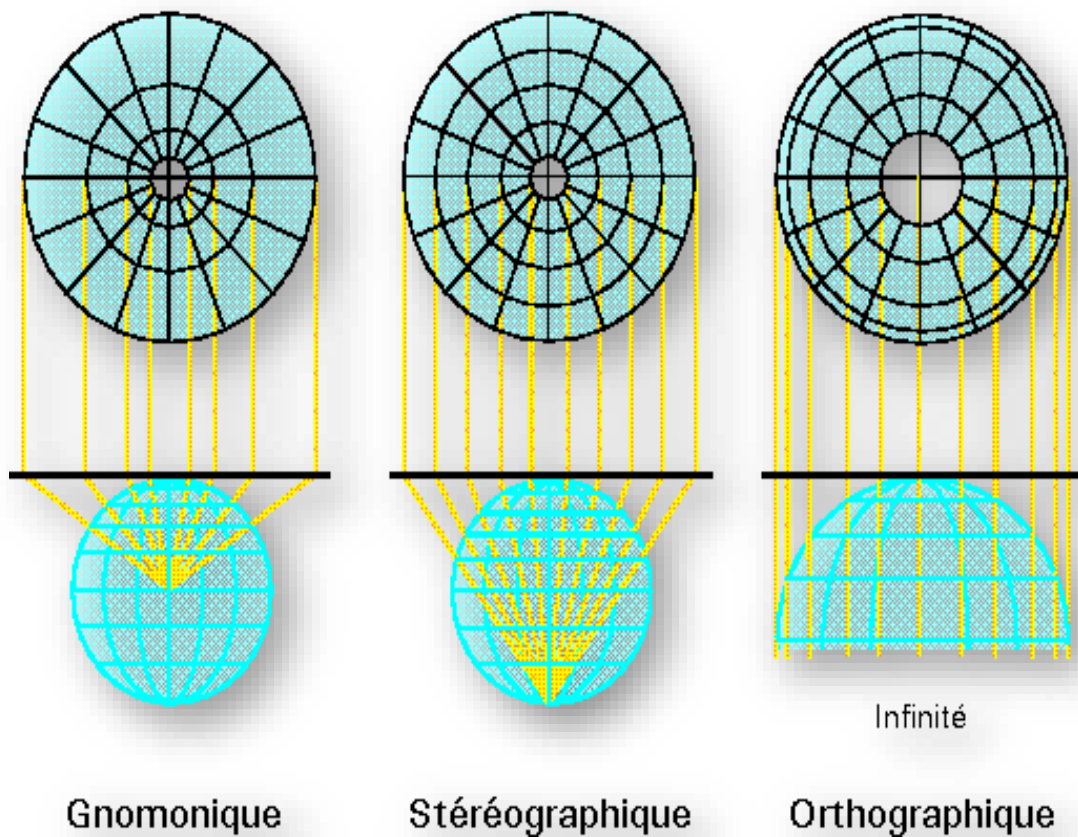


Figure I.29: Les projections.

I.10.3.2 Les projections coniques :

La surface de référence se présente sous forme d'un cône tangent ou sécant à l'ellipsoïde, selon un ou deux parallèles. Ce sont donc ces parallèles qui constituent les centres de projection [11]

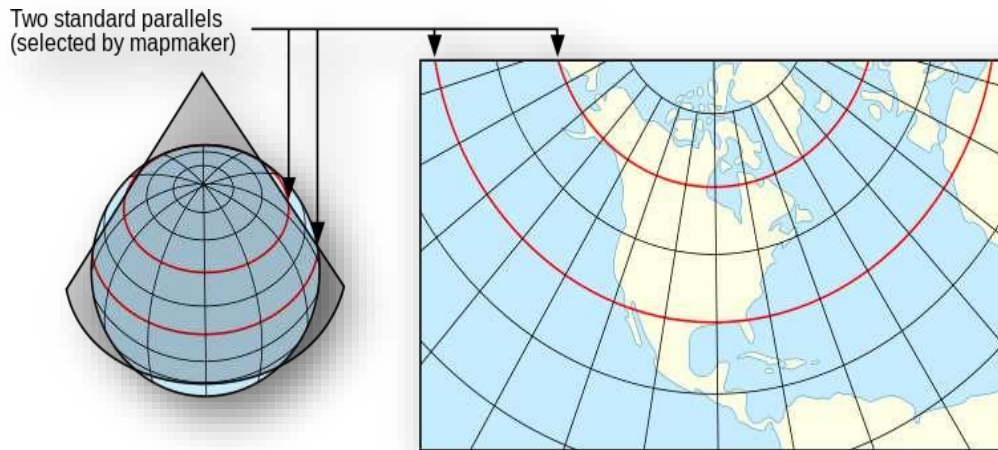


Figure I.30: Projection conique conforme de Lambert.

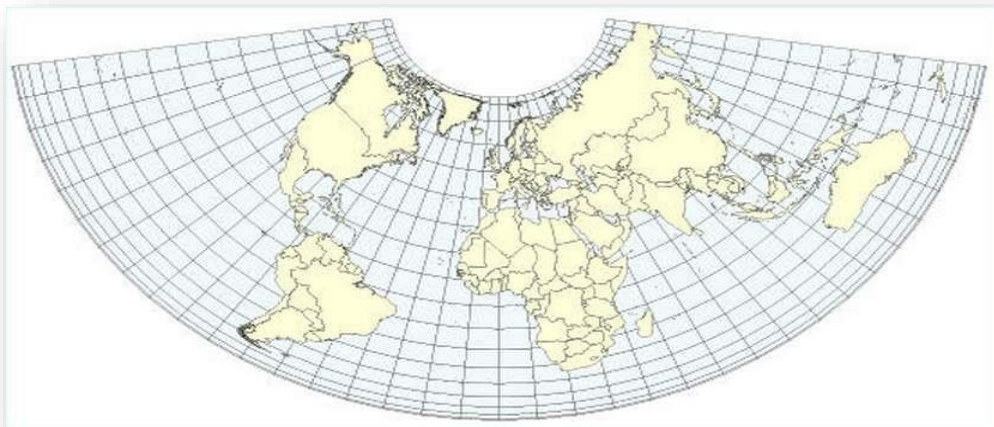


Figure I.31: Projection Albers: projection conique notamment utilisée par l'Angleterre et les Etats –Unis.

I.10 .3.3 Les projections cylindriques :

La surface de projection est un cylindre tangent ou sécant à l'ellipsoïde, selon un ou deux grands cercles. Ce sont alors ces cercles qui constituent les centres de projection.[11]

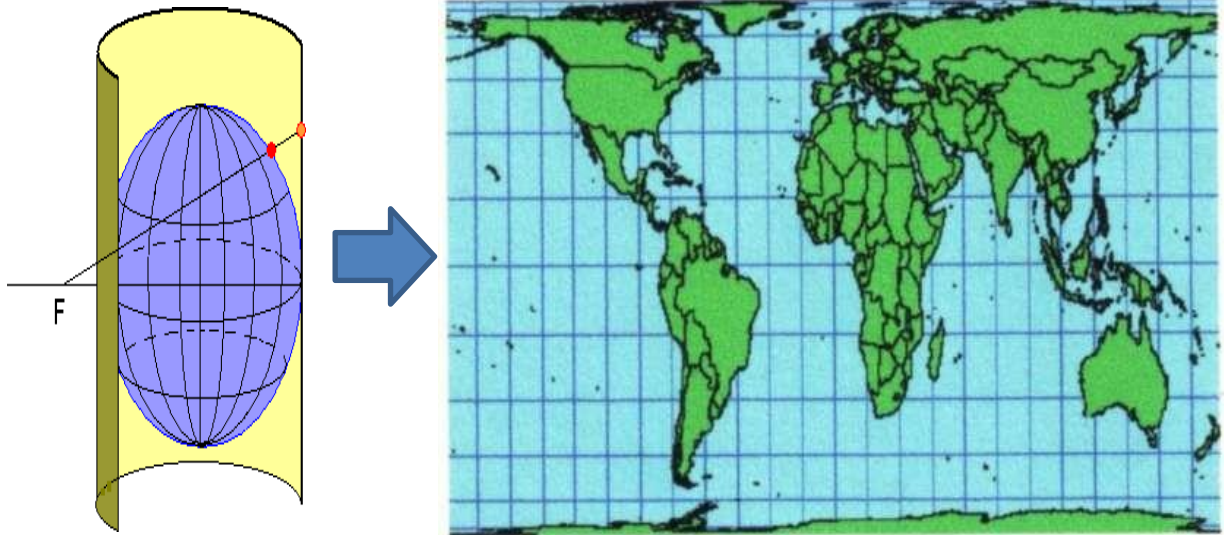


Figure I.32: Projection cylindrique.

I.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous pouvons dire que l'orientation visuelle était utilisée depuis l'époque ancienne, mais par des moyens archaïques. Le travail était fait manuellement, le découpage était rudimentaire et l'établissement des cartes posait de sérieux problèmes. Actuellement l'invention de l'ordinateur a bouleversé les données techniques, un gain de temps appréciable et des résultats prometteurs très efficaces grâce aux satellites et aux logiciels. De ce fait, les techniques modernes permettent la fiabilité des résultats obtenus.

**Chapitre II : Présentation
de la zone d'étude**

II.1 Introduction :

Ain Témouchent, “perle de l'Oranie" dite aussi “la Florissante”, est une commune de la wilaya d'Aïn Témouchent dont elle est le chef-lieu, située à 72 km au sud-ouest d'Oran, à 63 km à l'ouest de Sidi Bel Abbes et à 69 km au nord/nord-est de Tlemcen.

La ville occupe une situation privilégiée en raison de sa proximité de trois grandes villes de l'ouest de l'Algérie : Oran, Sidi Bel Abbes et Tlemcen. Grâce à cette position de carrefour, au terroir fertile qui l'entoure, la ville, créée en 1851 comme un simple centre de population de 228 feux près du poste militaire, a pu se développer rapidement, devenant le centre économique de la petite région nommée Bled-Kerkour, ou Témouchentois, puis une sous-préfecture en 1955, et un chef-lieu de wilaya en 1984.

Elle possède, à moins de douze kilomètres, plusieurs stations balnéaires telles que Rachgoun (centre de vacances), Plages de Madrid, Beni Saf, Terga, Sassel, Oued El Hallouf, Sebiates, Bouzedjar. Magnifique côte sur la Méditerranée étendue sur 80 km (prolongement de la côte oranaise).

Des sources thermales (Hammam Bouhadjar et son complexe hôtelier et Thermal, zone anciennement volcanique).(ANDI, 2013)

II .2 Situation géographique :

La position géographique de la wilaya d'Aïn Témouchent dans sa région est un atout formidable pour son développement futur. Au niveau régional, Aïn Témouchent appartient à la région Nord Ouest du territoire national. Elle est située au carrefour de trois grandes villes de l'ouest (Oran, Tlemcen et Sidi Bel Abbès) à une isochrone de 60' et à une centaine de kilomètres de la frontière marocaine. Elle occupe ainsi l'arrière pays d'un littoral fortement industrialisé entre Oran, zone des Hassi et Arzew. D'un autre côté vers le sud un autre axe de développement constitué par dans ses limites administratives, Aïn Témouchent s'étend sur 2.376 km² avec une façade maritime de 80 km. [12]

II.2.1 Limitées géographiques:

la wilaya est limitée par:

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- La mer méditerranée au Nord .
- La wilaya de Sidi Bel Abbas au Sud .
- La wilaya d'Oran à l'Ouest .
- La wilaya de Tlemcen au Sud-est.

Les communes limitrophes sont :

- Au Nord –Ouest la communes de sidi BENADDA.
- Au Nord la communes de CHAABET EL HAM.
- Au Nord –Est la communes de CHAABAT EL HAM.
- A l'Ouest la commune Ain TOLBA. A l'Est la commune de CHETOUF
- Au Sud-Oust la commune Ain KIHAL .
- Au sud la commune d'AGHLLAL et Ain kihal.
- Au Sud –Est la commune d'AGHLLAL. [12]



Figure II.1: Situation géographique de la wilaya d'ain Témouchent.

II.2.2 Aspect Administratif :

La Wilaya d'Ain Témouchent est issue du découpage territorial de 1984. Elle comprend 28 communes attachées administrativement à 08 daïras. Elle fait partie de l'Agence de Bassin de la Région Oranie-Chott Chergui. Le tableau.1, donne la liste des daïras de et les communes. [12]

Tableau II.1: liste de daïra et communes de la wilaya d'Ain Témouchent (sources:DRE,2017).

Daïra	Nombre de communes	Communes
Aïn El Arbaa	4	Aïn El Arbaa, Tamzoura, Sidi Boumedienne, Oued Sebbah
Aïn Kihal	4	Aïn Kihal, Aghlal, Aïn Tolba, Aoubellil
Aïn Témouchent	2	Aïn Témouchent, Sidi Ben Adda
Beni Saf	3	Beni Saf, Sidi Safi, El Emir Abdelkader
El Amria	5	El Amria, BouZedjar, Ouled Boudjemaa, M'Said, Hassi El Ghella
El Malah	4	El Malah, Terga, Chaabat El Leham, Ouled Kihal
Hammam Bou Hadjar	4	Hammam Bou Hadjar, Oued Berkeche, Chentouf, Hassasna
Oulhaça	2	Oulhaça, Sidi Ouriache



Figure II.2: Découpage administratif de la wilaya.

II.2.3 Le relief :

Le relief de la wilaya d'Ain Témouchent se compose de 03 unités d'aménagement définies dans le cadre du plan d'aménagement de la Wilaya à savoir :

- Les plaines intérieures .
- La banbe littorale.
- Zone montagneuse. [12]

II .3 contexte géologique de la wilaya d'Ain Temouchent :

II.3.1. Au plan tectonique :

Plusieurs phases tectoniques ayant affectées la région d'Ain Temouchent :

II.3.1.1 Tectonique post-Nappe :

Cette phase se traduit par la formation des structures nées en compression (plis et plisfailles chevauchantes). Cette phase correspond également à des nombreux mouvements relatifs et verticaux, tels que les fossés de la région de Beni Saf et la flexure en bordure de Traras. [13]

II.3.1.2 Tectonique en compression :

La région des Sebaa Chibouk est suivie par une phase de compression qui engendre un certain nombre de plis et de failles inverses dans l'édifice déjà formé antérieurement durant le Miocène synchro-nappes. En effet, dans la région d'Arla, il existe une importante discordance entre le contact de l'unité Chouala sur le Miocène synchro-nappes et le contact de base de l'unité de l'unité Oligo-Miocène plus ancien.

La direction des principaux plis est généralement atlastique (WSW-ENE). [13]

II.3.1.3 Tectonique en distension et en coulissement :

Dans la région de Beni Saf, les fossés dans lesquelles les nappes supérieures sont conservées s'accumulent les formations lie-de-vin du 1er cycle post-nappes. Le bord des fossés ne peut être délimité qu'approximativement en raison des recouvrements plus récents.

Le reste de la région ainsi que au tour du massif des Traras et de la chaîne du Fillaoussène, ces deux ensembles qui se produisent pendant le Miocène moyen va se poursuivre pendant le Miocène supérieur. [13]

II.3.2 Au plan stratigraphique :

La série stratigraphique de la wilaya d'Aïn Temouchent est formée essentiellement des sédiments carbonatés marins, représentant des formations allant du Trias jusqu'au Miocène. Cette série est recouverte par endroit par des coulées volcaniques récentes d'âge Plio-Quaternaire. [13]

II.3.2.1 Terrain sédimentaire :

D'après BECHLAGHEM et DAKHLI (2015) ; TAHRI et SI YEKHELEF (2005, p. 10-13), la série sédimentaire synthétique d'Ain-Temouchent se présente de bas en haut par la succession litho stratigraphique suivante:

II.3.2.1.1 Le Trias :

Il se manifeste par des pointements gypso-salifères et marnes bariolées. Il couvre la partie Sud du massif de D'Har El Mendjel.

Ces affleurements sont nombreux et recouverts par des alluvions caillouteuses et poudingues tertiaires, qui constituent la grande partie du sol de la plaine d'Ain Temouchent. [13]

II.3.2.1.2 Le Lias :

Il est représenté au niveau de Djebel Touita et de D'Har El Mendjel par une série des bancs métriques à décimétriques de calcaires gris ou bleu grisâtre à la patine et à la cassure, mal stratifiée et fortement fracturés, traversés par des veines multidirectionnelles, généralement remplies par des calcites de couleur blanchâtre. Passant vers le sommet à des dolomies du même âge, plus compactes et plus marmorisées. [13]

II.3.2.1.3 Callovo Oxfordien :

Il est constitué par des schistes argileux, intercalés par des filons de calcite blanchâtre et des quartzites lenticulaires. Cette série forme la base des massifs de Djebel Touita et D'Har El Mendjel. [13]

II.3.2.1.4 Le Néocomien :

Il s'agit des schistes et des quartzites, des schistes argileux avec des intercalations de lentilles de quartzite. [13]

II.3.2.1.5 Le Miocène :

Largement représenté sur la carte, plus précisément dans la partie septentrionale où le Miocène post nappe est discordant sur le Miocène synchro-nappe, qui bien visible au niveau du village Emir Abdelkader (plâtrière) (Village Emir Abdelkader). Il représente environ 100 m épaisseur, il est constitué essentiellement par des marnes, des grès et calcaires récifaux. [13]

II.3.2.1.6 Le pliocène :

Le pliocène est discordant sur le Miocène post-nappe. Il est constitué de grès jaunâtre mollassique. Ces grès Astien fossilifères contenant des plusieurs espèces faunique.il est riche en pectens en huître et en d'autres bio-clastes, telles que le débris de bivalve (Boussif 2006). [13]

II.3.2.1.7 Le Quaternaire :

Les dépôts du Quaternaire sont représentés par des alluvions récentes, formés généralement de limon qui se dépose dans les courbes à fond plat. [13]

II.3.2.1.8 Plio-Quaternaire :

Il est représenté par une formation continentale et une autre marin dont le continental est caractérisé par le Quaternaire supérieurs (des alluvions, et des terrasses) et le marin est présenté par le Quaternaire inférieure (calcaire et des grès marin, marnes ou de marne argileuses qui affleurent sur la rive droite de l'Oued de Tafna. [13]

II.3. 2.2 Terrain volcanique :

Le massif d'Ain Temouchent est situé à environ 70 km au Sud-ouest d'Oran. Son volcanisme couvre une superficie de 350km². Les produits émis par ce volcanisme ont atteint les alentours de Chaâbet Elaham, au Nord, le Dourar Chentouf à l'Est, Ain Tobal et Ain Kihal au Sud et les environs de Sidi Safi à l'Ouest.

Le volcanisme de la région occidentale d'Ain Temouchent est caractérisé par son jeune âge parce que il s'est manifesté pendant le Quaternaire entre (-1,28 et -0,82 Ma) (LOUNI-HACINI) &al., (1995) ; et COULO &al., (2002). Les émissions volcaniques varient entre des laves associées le plus souvent à des brèches volcaniques et du volcan sédimentaires. Les coulées émises reposent sur un substratum représenté par des sédiments Néogènes du deuxième cycle post-nappes, et subdivise en deux parties orientale et occidentale (BEN DOUKHA&al, 2009). [13]

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

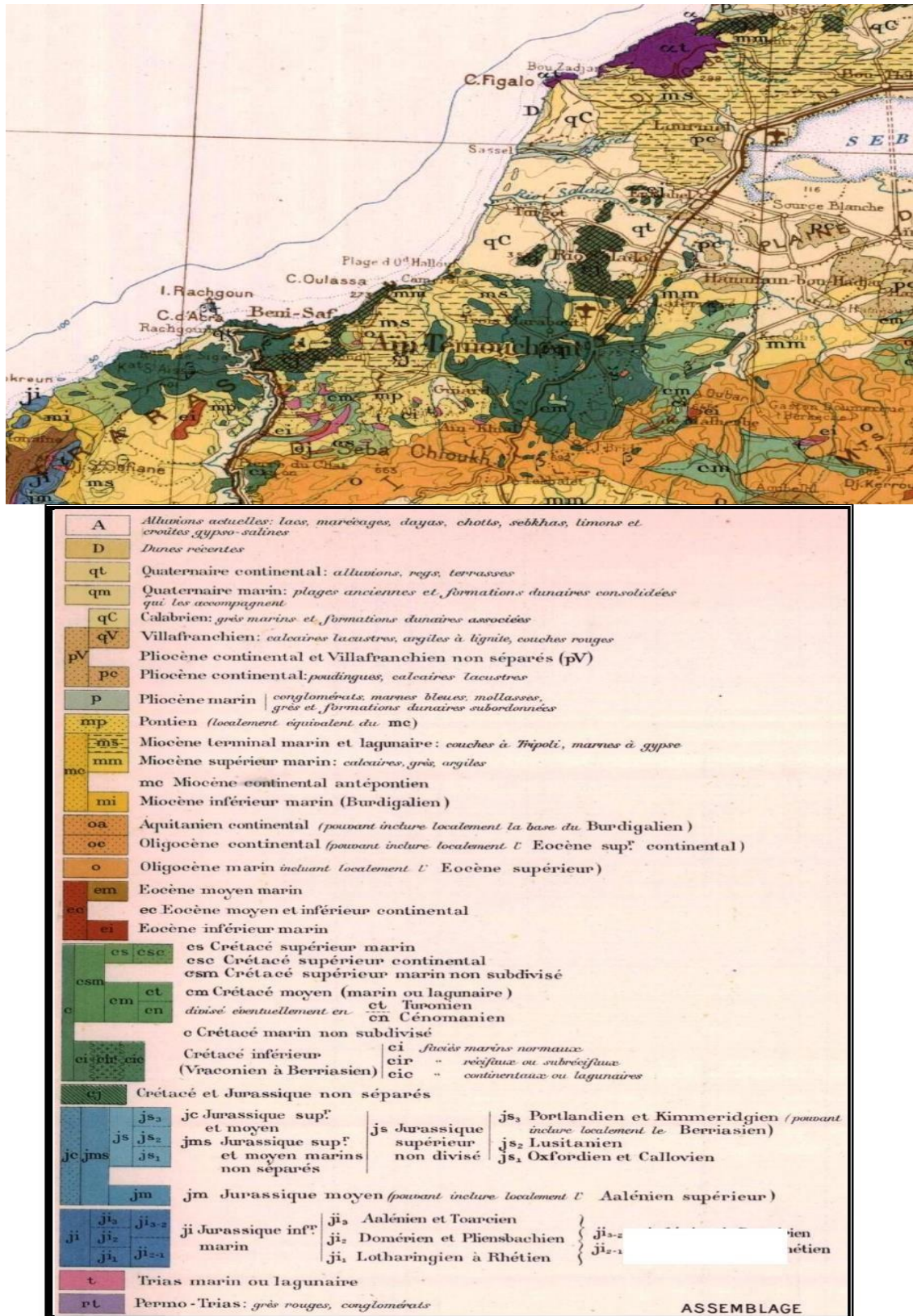


Figure II.3: Cadre géologique de la wilaya d'Ain Témouchent (Extrait de la carte géologique d'Algérie au 1/500.000).

II.4 Climatologie :

II .4 .1 Climat :

La Wilaya de Ain Témouchent est un climat méditerranéen, caractérisé par un été chaud et un hiver tempéré. Le régime climatique se caractérise par des vents qui n'apportent généralement que peu d'humidité (vents de direction Nord - Ouest, Sud - Est), lors de leur passage sur les reliefs Marocains et Espagnols, ces vents perdent une grande partie de leur humidité. Par ailleurs, les reliefs méridionaux (SEBAA - CHIOUKH, TESSALA, MONTS DE TLEMCEN) ont une influence favorable en entravant l'arrivée des vents continentaux secs et chauds du Sud (SIROCCO).

La répartition moyenne des précipitations se présente comme suit :

- Le long du littoral une moyenne de 300 Mm/AN.
 - Les plaines sublittorales : 400 à 500 Mm/AN.
 - Les hauteurs de TESSALA : Plus de 500 Mm/AN.
 - La faiblesse et l'irrégularité des précipitations influent directement sur le milieu physique.
- et l'activité économique basée essentiellement sur l'agriculture. [12]

II .4.2 Pluviométrie : [14]

Précipitation moyennes mensuelles annuelles de période de 2000-2011 (source : ABH)

Tableau II.2: Précipitations moyennes annuelles.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	10,44	42,41	53,43	38,55	50,64	42,33	27,67	24,53	24,13	4,38	0,04	2,28

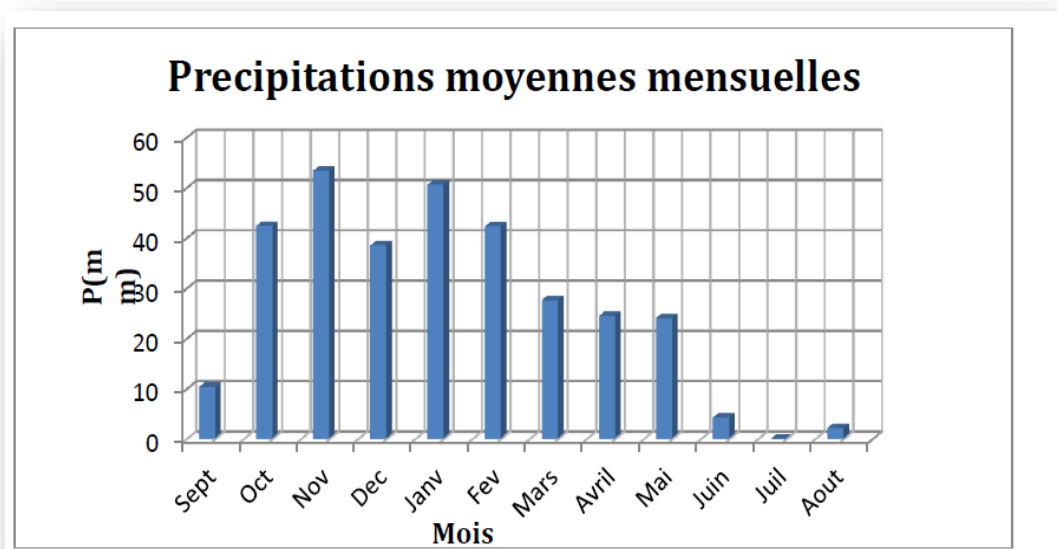


Figure II.4: Précipitations moyennes mensuelles annuelles.

Tableau II.3: Série pluviométrique de la station d'Ain Témouchent 1980-1999(source ABH).

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
1980	26,5	21,5	6,5	36,5	23,7	19,9	25	18,7	2,6	34	0,7	1,5	217,10
1981	7,6	0,9	0	6,2	12,5	34,8	3,3	11,8	37,6	2,2	2	0,8	119,70
1982	3,2	17,7	31,1	25,1	0	18,9	13	4	3,8	0	2	1,6	120,40
1983	0	0,2	9,1	17,8	21,5	29,4	15,8	1	21,4	1,1	0	0	117,30
1984	4,1	7,9	124,4	12	10,8	8,9	17,9	34,5	17	0,4	0	0	237,90
1985	0,4	0,5	28,2	14,8	25,4	37,7	18,4	17,2	3,5	1,5	0	1,3	148,90
1986	12,4	17,6	85	15,6	1	3,9	16	33	37	1,5	0	18,4	241,40
1987	35,6	6	17,4	31,4	41,7	7,4	6,5	7,5	18,4	7,5	0	0	179,40
1988	20,9	1	24,2	5	28,4	7,1	108	19,5	3,2	0,3	0,5	2,5	220,60
1989	4,6	18,5	55,7	34,4	59,6	78,2	18	37,4	37,8	2,2	0	0,4	346,80
1990	0,7	35,1	41	96,2	41,5	19,2	25,6	24,6	70,4	13,4	0	6,4	374,10
1991	4	22,6	23	7,7	19,3	10,6	24,8	4	37,5	14	0	0	167,50
1992	0,7	6,5	13,4	6,4	4,2	37,5	10,3	18,1	23,5	3,9	1,5	0,3	126,30
1993	4,1	15	18	1,8	41,6	18,5	3,1	10,8	5,7	0,5	2,8	2,8	124,70
1994	7,3	21,4	12	8	20,6	61,2	33,4	12	0	4,5	1,5	0,4	182,30
1995	7,9	5	14,1	19,7	10,04	23,2	11,3	7,3	6,1	7,7	0,5	1,5	114,34
1996	21,5	7,3	14,7	28,3	34,5	0	0	13,3	7,8	1,5	0,9	5,3	135,10
1997	16,3	12,3	34,3	13,9	6,7	16,2	19,4	24,6	11	1,5	0,5	1,8	158,50
1998	-1,4	6,8	22,3	2,6	61,5	29,8	43,7	0	0,6	0,6	0	0	169,30
1999	10,8	18,1	24,2	24,5	5,6	0	4,4	11,5	28,8	0	0	1,5	129,40

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.4: Série pluviométrique de la station d'Ain Témouchent 2000_2011 (source :ABH).

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
2000	33,5	54,6	26,8	15,6	61,2	25,1	3,6	2,2	6,3	0,2	0,5	0	229,60
2001	12,4	17,6	85	15,6	1	3,9	16	33	37	1,5	0	18,4	241,40
2002	0,2	19,1	29,1	4,5	24,4	34,6	14,1	9,1	13	0,9	0	0,7	149,70
2003	0,7	35,1	41	96,2	41,5	19,2	25,6	24,6	70,4	13,4	0	6,4	374,10
2004	0,2	49,5	0	77,9	23,6	49,8	39,2	22,5	0,8	0	0	0,8	264,30
2005	7,1	19,7	65,8	19,2	59,6	78,2	18	37,4	37,8	2,2	0	0,4	345,40
2006	7	8	55,5	18,9	91,9	131,9	15,7	27	41	8,4	0	0	405,30
2007	26,7	125,2	45,2	16,5	39,1	38	91,7	43,7	3	0	0	0,6	429,70
2008	7,5	94,9	95,7	105,5	21,4	33	15,6	11,4	21,5	0	0	0	406,50
2009	19,5	0,7	13,3	36,6	135,1	24,2	35,3	38,2	10	0	0	0	312,90
2010	5,3	32	29,2	24,9	74,6	65,9	34,7	5,3	20	10	0	0	301,90
2011	5,2	52,5	154,6	31,2	34,3	4,2	10,5	40	28,7	16	0	0	377,20
Moy	10,44	42,41	53,43	38,55	50,64	42,33	26,67	24,53	24,13	4,38	0,04	2,28	319,83

II.4.3 Température :

Nous illustrons dans le tableau ci-dessous les données sur les températures moyennes enregistrées pour la période : 1994 – 2010. [14]

Tableau II.5: Moyennes mensuelles et annuelle des températures période : 1994_2010.

Mois	Jan	Fév	mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyen
température (°C)	12.9	13.4	15	16.6	19.3	22.6	25.5	25.9	23.3	20.5	16.8	14.2	18.9

Source : ONM

On remarque que la température diminue pendant les trois mois d'Hiver

(Décembre, Janvier, Février) et atteint le minimum de 13°C en Janvier, elle augmente pendant les trois mois d'été (Juin, Juillet, Août) et atteint le maximum de 26°C en Août. La moyenne annuelle est de 19°C.

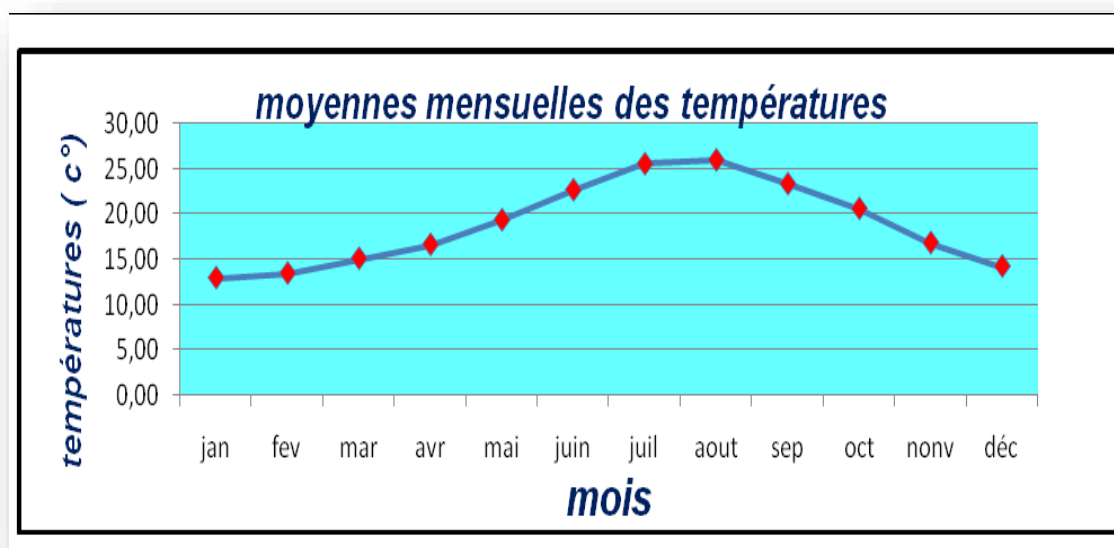


Figure II.5: Moyennes mensuelles des températures.

II. 4.4 Les vents:

Les vents dominants, surtout à partir de 1000m d'altitude, sont les vents d'ouest. Les mesures du tableau qui suit sont données en km/h pour la station de Beni Saf.

[14]

Tableau II.6: Distribution mensuelles des vents (en m/s) .

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
V(m/s)	17,9	16,8	22,5	22,2	21,7	23,4	22,0	27,4	19,5	19,8	15,2	16,8

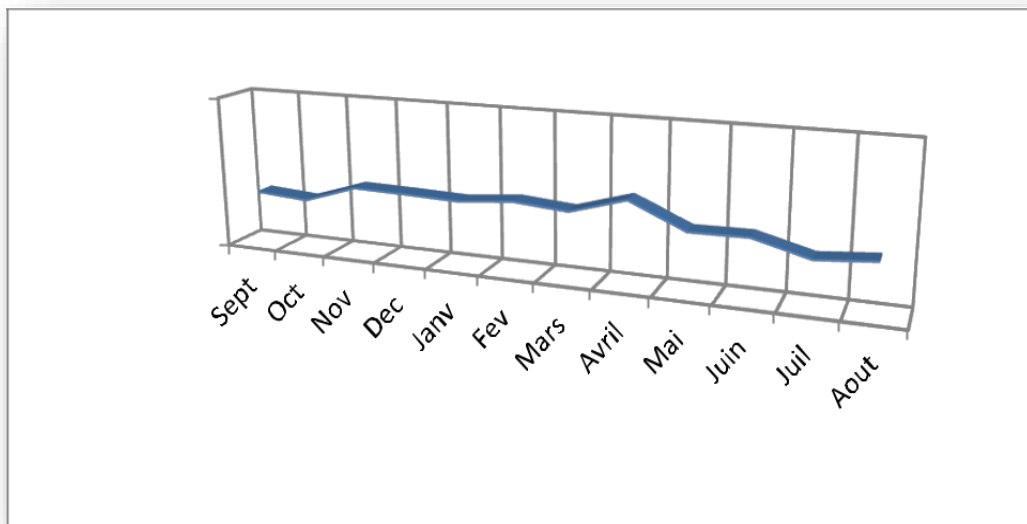


Figure II.6: Distribution mensuelles des vents.

II.5 Contexte hydrogéologique :

Les épisodes volcaniques du plateau Néogène de Ain Témouchent constituent le massif important de la région.

Les massifs volcaniques, parfois fissurés, forment les aquifères notables de la région.

Les nappes souterraines s'écoulent dans la même direction que les coulées volcaniques, soit vers l'Ouest (vallée de l'oued sennane), soit vers l'Est (oued souf El Tell), le Djebel Nécissa limitant l'oued sennane au Nord , et le Djebel Tounit formant une barrière à l'oued, sont constituées de substratum autochtone liasique formé de série carbonatée et marno-pélique. Les calcaires fissurés du Kimméridgien dans lequel s'accumulent l'eau souterraine.

L'aquifère formé de calcaires, sous charge sous basaltes, se trouve plus proche de la surface (20 m de profondeur).

Les différentes faciès rencontrées (coupe lithologique forage de l'ITAF) permettent de mettre en évidence plusieurs horizons , dont la présence en surface de couche d'argile beige-marron imperméable assurant l'étanchéité du site et par conséquent une protection des nappes souterraines contre la pollution .(ENCO, 2003) [14]

II.5.1 Plateau Sidi Safi :

Cette unité hydrogéologique est une aquifère des calcaires du miocène supérieur, est située dans la zone littorale méditerranéenne. Elle est limitée à l'ouest par la basse vallée de l'Oued Tafna, à l'Est par le Plateau d'Ain Témouchent et au Sud par les monts des Sebaa Chioukh. [14]

II .5.2 Plateau d'Ain Temouchent :

C'est une nappe des roches volcanique, la plaine est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la Plaine de la M' Léta, et à l'Ouest par la Vallée de la Tafna et au Sud par les vallonnements d'Oued Berkeche-Aghlal. [14]

II.5.3 Ouled Taoui – Ouled Boudjemaâ :

C'est une aquifère des sables dunaires, la plaine est limitée au Nord par la plaine de Ghamra, à l'Ouest par la Mer Méditerranée, à l'Est par la Sebkhah d'Oran et au Sud par le Plateau de Ain Témouchent. [14]

II.5.4 Plaine de la Mléta :

C'est des nappes alluvionnaires, la Plaine de la M' Léta est limitée au Nord par la Sebkhah d'Oran, au Sud par les Monts du Tessala, à l'Est par la Plaine de Habra-Sig et par la région de Hammam Bouhadjar- Ain Larbaa à l'Ouest.(ABH, 2015) [14]

II.6 Sismicité de la région :

La sismicité est un phénomène qui caractérise la région comme la plupart des régions du tell, notamment sa grange littorale soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé.

La synthèse des résultats es études géotechnique effectuées par les différents laboratoires dans plusieurs zones confirme l'hétérogénéité des sols et la recommandation de recouvrir souvent au radier général comme type de fondation dans toute la zone.

Un autre risque qui mérite d'être signalé concerne la nature de sols de moyenne portance qui peut être à l'origine phénomène d'affaissement de terrain lié à la présence de formation tendre sur des profondeurs allant jusqu'à dix mètres qui s'incrusteront sous des formation dures. Soumises à des mouvements des terrains peuvent être à l'origine d'un déplacement.

Un zoning sismique actualisé a été établi par le Règlement Parasismique Algérien (R.P.A 2003) suite au séisme du 21 Mai 2003 qui a touché la région de Boumerdes et ses environs.

Le territoire national a été subdivisé en cinq zones de sismicité croissante (Voir carte de zoning sismique ci-après), soit :

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevée(ABH,2015) [14]

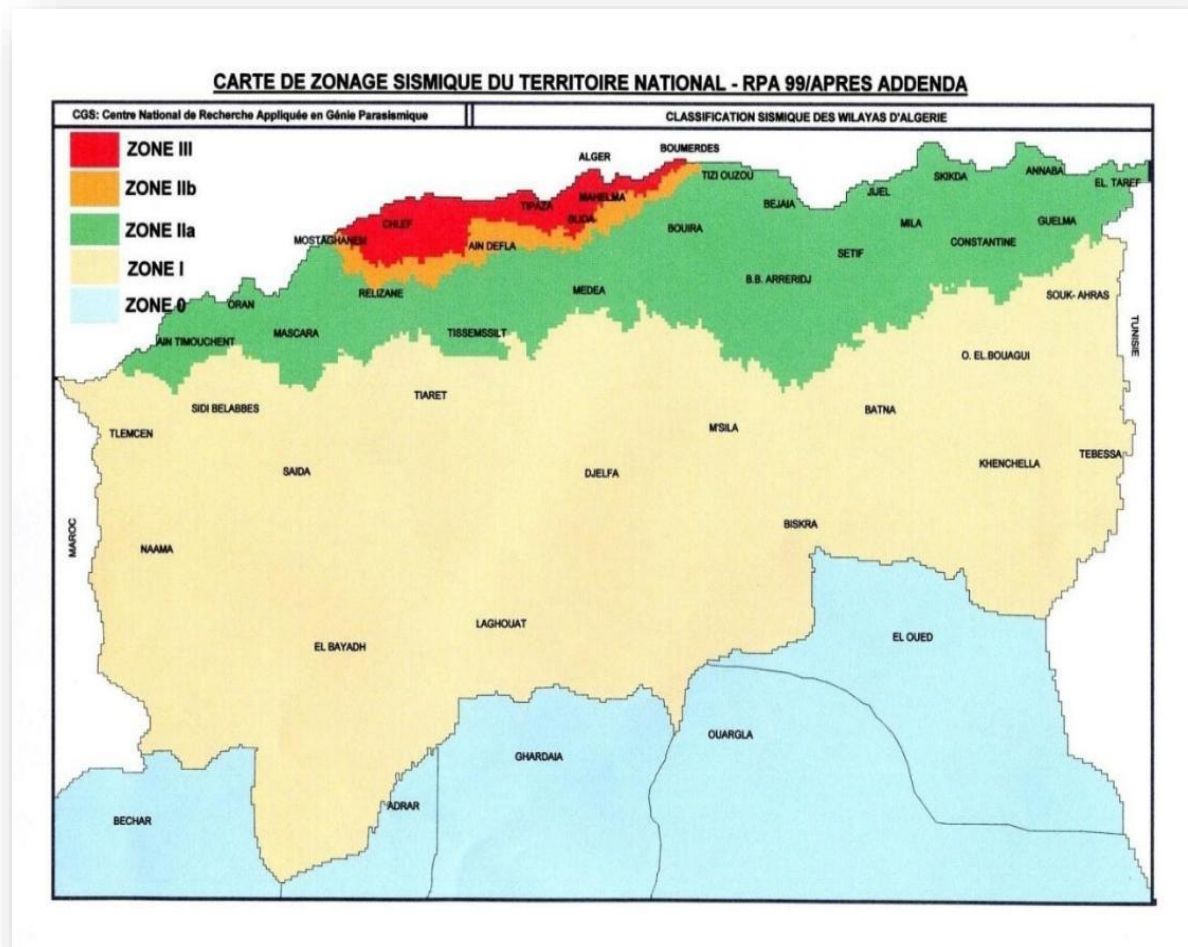


Figure II.7: Carte sismique de la région d'Ain Témouchent **source :** DRE.

II.7 Activité volcanique :

Dans la région d'Aïn Temouchent, la phase volcanique principale a été rapportée au Quaternaire. Ces coulées ont en général un substratum miocène supérieur ou villafranchien (Oued El Hallouf)). Les émissions volcaniques du plateau néogène d'Aïn Temouchent couvrent une surface de 450 km² entre Chaabet El Leham, le Djebel de Sidi Kassem et Aïn Kihal du Nord au Sud et entre l'Oued Souf et Tell et Sidi Safi de l'Est à l'Ouest (B.Hallouche, 1986). Bien que l'érosion ait été intense, elle est restée régulière, le réseau hydrographique est peu imprimé dans la topographie et les appareils volcaniques sont en général bien conservés (volcan de Sidi Ben Adda ou bien volcan du djebel Tzioua 304m)(figur2.8). La cuvette basaltique de Chaabet El Leham doit être apparemment attribuée à des épanchements fissurais locaux. [15]

II.7.1.Descriptions des différentes formations volcaniques :

Les formations volcaniques d'Aïn Temouchent sont formées de trois niveaux de produits de déjections, de bas en haut on a: Les tufs, les brèches et les coulées. [15]

II.7.1.1 Les Tufs :

Les premières manifestations responsables de la formation des anneaux (Anneau de Bengana) de tufs sont de type phréatomagmatiques. D'après leur origine, on peut distinguer :

II .7.1.1.1 Les tufs d'origine volcano-sédimentaire :

Ce sont les cendres et lapillis qui ont entraîné la formation de tufs cinéritiques très fertiles et parfois très fins présentant des enclaves (nodules à olivine, bombes à hornblendes brunes, fragments de gneiss à sillimanite) avec des cristaux d'orthoses, d'augites et de spinelles. Ces formations sont bien visibles à Oued Sennâne au Sud de Guentret Saboun. [15]

II.7.1.1.2 Les tufs de retombée :

Ils sont de couleur rougeâtre à aspect induré, de faible densité. Composés de bombes centimétriques à décimétriques, de nature scoriacée et renferment des minéraux ferromagnésiens, leur épaisseur varie de quelques décimètres à un mètre. [15]

II.7.1.1.3 Les tufs d'origine explosive :

C'est une formation litée, de couleur sombre contenant des blocs de calcaires, marnes ou grès et des blocs d'origine volcanique de taille variable, ce sont des fragments de coulée. [15]

II.7.1.2 Les Brèches :

On distingue des brèches de base ou de sommet de coulées et des brèches stromboliennes :

II.7.1.2.1 Brèches de base ou de sommet de coulées :

Scoriacées avec des éléments soudés entre eux. Elles sont de couleur

rouge en raison du remaniement des tufs sous-jacents au moment du dépôt de la brèche. [15]

II.7.1.2 Brèches stromboliennes :

Ce sont des bombes très caractéristiques des volcans stromboliens, formées soit de cônes (Bengana) soit des pitons tels que Hammar Tizi, Snidig. Ces brèches sont bien litées avec des enclaves d'origine profonde (enclaves de péridotites) ayant une taille de quelques centimètres à un mètre. [15]

II.7.1.3 Les Coulées :

Les coulées et les amas de roches pyroclastiques du massif d'Aïn Temouchent occupent de vastes étendues de très faible pente, légèrement inclinées vers la mer de direction du Sud au Nord. Ces coulées sont massives, rarement prismées, de couleur sombre quand elles affleurent. En raison de leur fluidité, elles s'y accumulent dans les thalwegs en formant de vastes plateaux autour des cratères, les coulées ayant par ailleurs empreinté les lits des anciens Oueds entraînant une profonde transformation du réseau hydrographique. Les produits de projection sont surtout des scories de laves basiques renfermant des nodules à olivine, de gros cristaux d'augite et parfois des enclaves constituées de "bombes à hornblende, nodules à olivine, fragments de gneiss à sillimanite", de même que l'absence des feldspaths.

La topographie volcanique a de nos jours pratiquement disparu, la présence de cratères est uniquement marquée par de légères dépressions circulaires renfermant un peu d'eau pendant la saison des pluies et des pitons de scories. (HALLOUCHE B, 1986) [15]



Figure II.8: Photo satellite (google Earth) du volcan du djebel Tzioua, situé à 9 km à l'ouest de Ain Témouchent.

II.8 Conclusion :

La région d'Ain Témouchent est située au nord ouest en Algérie .Les formations volcanique constituent le massif important de centrée .Ain Témouchent au climat méditerranée se caractérise par un été chaud et un hiver tempéré.

Actuellement, la région est confrontée à un déficit pluvial depuis de plusieurs années, se répercutant sur la production agricole .La sismicité est un phénomène caractérise aux régions du tell, provoquant un problème d'affaissement des terrains au niveau des sols de moyenne portance, le problème est lié à la situation géographique et volcanique de la région.

**Chapitre III : le
phénomène de la
liquéfaction des sols**

III. 1 Introduction :

Ce troisième chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur le domaine de la liquéfaction des sols, nous expliquons dans un premier temps le phénomène de liquéfaction des sols, en vue de ses causes et les effets. Les critères d'évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction seront ensuite abordés, en fait la synthèse des différentes techniques développées pour le traitement et d'amélioration du sol.

III.2 Définition :

la liquéfaction d'un sol saturé et lâche constitue la situation ultime de son comportement mécanique ou, en présence de contraintes de cisaillement et suite à l'accumulation de pressions interstitielles, le sol s'effondre et perd toute sa résistance.

Le chargement peut être statique ou dynamique.

Tous les sols ne sont pas liquéfiables.

Les conditions de liquéfaction font intervenir à la fois :

- la nature du sol, à dominante sableuse et effondrable,
- l'état du sol, saturé et de faible densité (lâche).
- une faible résistance en présence de pressions interstitielles.
- la puissance et la durée de la sollicitation sismique par rapport à la résistance du sol. [16]

III.3 Explication du phénomène :

Pour comprendre le phénomène de la liquéfaction, il est nécessaire de déterminer les conditions physiques et géométriques qui existent dans un dépôt de sol avant un séisme. Un dépôt de sol se compose d'un assemblage de différentes particules. Si nous regardons avec précision ces particules, et donnent au sol une capacité portante (**figure III.1** et **figure III. 2**).

La liquéfaction se produit quand la structure d'un sable lâche et saturé se décompose à cause de la sollicitation rapidement appliquée. Pendant que la structure de sable se décompose les différentes particules de sol lâche essaient de se restructurer d'une

Chapitre III : Phénomène de la liquéfaction des sols

manière plus dense. Cependant, durant un séisme, il n'y a pas assez de temps pour que l'eau dans les pores du sol peut être drainée. Au lieu de cela, l'eau est emprisonnée et empêche les particules de sol de se déplacer ensemble. Ceci est accompagné d'une augmentation de la pression de l'eau qui réduit les forces de contact entre les différentes particules de sol, affaiblissant de ce fait la capacité portante du dépôt de sol (**Figure III.3**). Si la pression interstitielle augmente de telle sorte qu'elle est devenue si forte que plusieurs particules de sol peuvent perdre le contact entre elles, alors le sol perd sa résistance portante, et le sol se comporte soudainement plutôt comme un liquide qu'un solide, on dit à ce moment que le sol se liquéfie. [17]



Figure III.1: Etat initial : Grain de sol dans un dépôt de sol .La taille de la colonne représente le niveau de la pression interstitielle dans le sol .



Figure III.2: Etat initial La longueur des flèches représente l'amplitude des forces du contact entre différents grains de sol.



Figure III.3: Etat de liquéfaction Réduction des forces de contact et augmentation de la pression interstitielle.

III.4 Effets induits par la liquéfaction :

La liquéfaction des sols est un problème sérieux capable de causer des dégâts souvent irréparables, tant à des ouvrages existants qu'à des nouvelles constructions, ainsi la liquéfaction peut provoquer :

- Une perte de capacité portante du sol de fondation, (basculement d'immeuble)
- Un glissement des terrains en pente.
- Des ruptures superficielles sous forme de fissures, ou étalement latéral.
- Un développement des forces de poussées.
- Un soulèvement des ouvrages enterrés et rupture des canalisations.
- Des ruptures des barrages (remblais hydraulique) [18]

III .4.1 Fondations profondes :

Lorsque la liquéfaction s'est produite durant le séisme de Nigata (1964) l'épandage latérale dans le sol a causé le déplacement du sol sous le lit de la rivière ce qui a imposé des pressions sur les pieux de fondation qui ont par la suite subit une déflexion et se sont déplacés (**figure III.4**). [18]

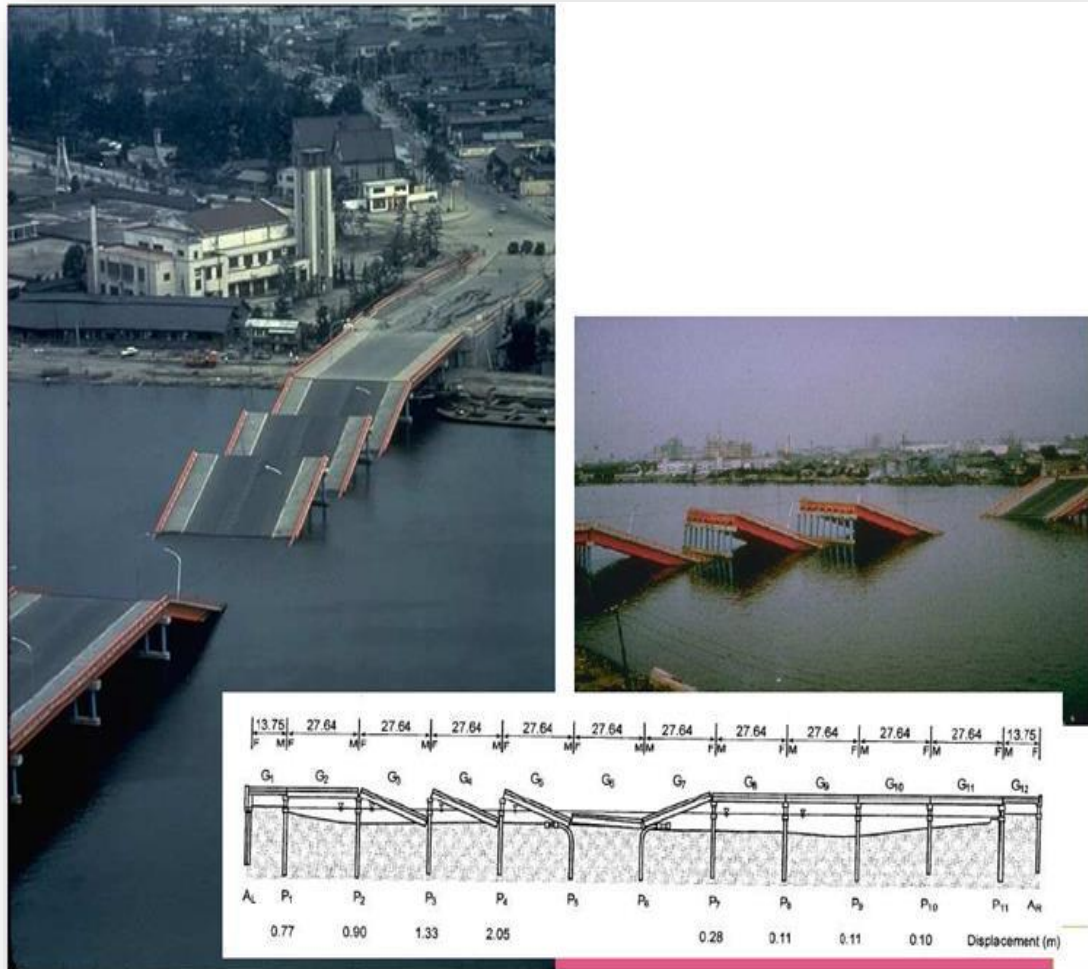


Figure III.4: Rupture du pont de Showa, à Nigata au Japon.

III. 4.2 Barrages :

L'augmentation de la pression de l'eau peut également déclencher des éboulements et causer l'effondrement des barrages, Le barrage de San Fernando (**figure III.5**) a souffert d'un effondrement du parement amont pendant le séisme de San Fernando, 1971. Heureusement, l'effondrement à peine évité de barrage, empêchant de ce fait un désastre potentiel d'inondation des secteurs urbains fortement peuplés. [18]



Figure III.5: Effondrement du parement amont du barrage de San Fernando pendant le séisme de 1971.

III.4.3 Fondations superficiels :

Lorsque la liquéfaction se produit la résistance du sol diminue et la capacité portante d'un dépôt de sol constituant la fondation des bâtiments se réduit significativement en provoquant le basculement ou la flottaison de l'ouvrage (**figure III.6**). [18]



Figure III.6: Bâtiments renversés (Séisme de Cocaeli,Adpazari,1999).

III.5 Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction d'un sol :

Il existe divers critères pour déterminer la susceptibilité à la liquéfaction d'un sol.

Dans ce qui suit, on va citer les critères adoptés par Kramer(1996) :

III.5.1 Critères historiques :

Les observations des tremblements de terre ont fourni beaucoup d'information sur le sujet de la susceptibilité à la liquéfaction de certains types de sols .Les sols qui se sont liquéfiés dans le passé peuvent encore le faire suite à de futurs tremblements de terre .L'étude de la susceptibilité est liée à l'étude des tremblements de terre antérieurs .Il est attendu que l'information soit disponible sous forme de cartes sur lesquelles sont mentionnées les zones où la liquéfaction s'est produite dans le passé et /ou elle pourrait avoir lieu. [19]

III.5 .2 Critères géologiques :

Le type de processus géologique a créé un dépôt de sol a une forte influence sur sa susceptibilité à la liquéfaction .Les dépôts de sols saturés qui ont été créés par sédimentation en fleuve et lacs (dépôts fluviaux et alluviaux),les dépôts de débris ou de matériel érodé (dépôts colluviaux) , ou les dépôts constitués sous l'action du vent (dépôts éoliens)peuvent être très susceptibles de se liquéfier .Ces processus trient les particules sous forme de grains de tailles uniformes et les déposent dans un état lâche qui tend à se densifier une fois secoués par les tremblement de terre .La tendance pour la densification mène à la croissance de la pression interstitielle et à la décroissance de la capacité portante .Les dépôts synthétiques de sol, en particulier ceux créés par le processus du remplissage hydraulique, peuvent également être susceptible à la liquéfaction . [19]

III.5 .3 Critères compositionnels :

La susceptibilité à la liquéfaction dépend du type de sol. Un sol argileux, en particulier les sols sensibles, peut montrer le comportement de ramollissement de contrainte semblable à celui du sol liquéfié, mais il ne se liquéfie pas de la même manière que les sols sableux. Les sols composés de particules qui sont toutes de tailles à peu près identiques sont plus susceptibles à la liquéfaction que les sols avec un éventail de dimensions particulières.

Dans le cas des sols formés de particules de différentes tailles, les petites particules ont tendance à s'infiltrer dans les vides entre les particules les plus grandes réduisant de ce fait la tendance à la densification et le développement de la pression interstitielle une fois soumis à une secousse. Le processus géologique (décrit au-dessus) produit des particules arrondies.

Le frottement entre les particules angulaires est plus grand que celui entre les particules arrondies, par conséquent un dépôt de sol avec les particules angulaires est normalement plus résistant et moins susceptible à la liquéfaction.

Historiquement, les sables ont été considérés comme le seul type de sol susceptible de se liquéfier, mais aussi la liquéfaction a été également observée en gravier et limon. Le

ramollissement de contrainte des sols granuleux fins peut produire des effets semblables à ceux de la liquéfaction. Les sols fins sont susceptibles à ce type de comportement s'ils satisfont les critères suivants (Wang, 1979) :

- Fraction des fines inférieurs à 0.005 mm < 15%
- Limite de liquidité LL < 35%
- Teneur en eau normale > 0.9 LL

La susceptibilité à la liquéfaction dépend également de la forme des particules. Les dépôts de sol avec des particules arrondies, usuellement trouvées dans les types de dépôts décrits dans les critères géologiques, sont plus susceptibles à la liquéfaction que les sols avec des particules angulaires. [19]

III.5.4 Critères d'état de sol :

L'état initial d'un sol est défini par sa densité et sa contrainte effective lorsqu'il est soumis à un chargement rapide. À un niveau donné de cette contrainte, les sols lâches sont plus susceptibles à la liquéfaction que les sols denses. Pour une densité donnée, les sols à des contraintes effectives élevées sont généralement moins susceptibles à la liquéfaction que les sols à de basses contraintes effectives. [19]

III.6 Techniques de traitement et d'amélioration des sols :

S'il est nécessaire de construire sur un sol qui peut se liquéfier lors d'un séisme pour des raisons de restriction d'espace, d'un emplacement favorable, il peut être possible d'améliorer les caractéristiques du sol pour diminuer les dommages du phénomène de la liquéfaction et pour éviter les grandes augmentations des pressions interstitielles pendant les séismes. Les techniques développées pour l'amélioration des sols présentant de la faible caractéristique géotechnique, sont largement utilisées à travers le monde. Ces techniques peuvent être divisées en trois catégories, en fonction de la manière avec laquelle l'amélioration est obtenue.

- La première catégorie regroupe celles qui conduisent à la densification du sol par réduction des vides tel que le pilonnage, le vibro-compactage, les colonnes ballastées, le préchargement et le compactage dynamique.

- La deuxième catégorie regroupe celle qui conduit à l'amélioration du sol par injection des coulis en suspension ou en solution.

- La troisième catégorie regroupe celles qui font intervenir l'inclusion dans le sol d'éléments tels que les géosynthétiques.

Dans ce qui suit les techniques rentrant dans la première et la deuxième catégorie seront présentées avec plus de détail. [19]

III.6.1 Colonnes ballastées :

Les colonnes ballastées consistent en une incorporation par compactage de matériau granulaire, dans un terrain présentant des faibles caractéristiques géotechniques. De façon générale elles améliorent les caractéristiques mécaniques des sols par augmentation de leurs capacités portantes et réduction de leurs tassements sous les charges appliquées. Les colonnes ballastées peuvent aussi jouer le rôle d'un drain et réduire les risques de liquéfaction dans les zones sismiques. [19]

III.6.1.1 Domaine d'application :

Les colonnes ballastées sont généralement utilisées avec sables limoneux, limons, limons argileux, argiles, remblais hétérogènes. Cette méthode est applicable aux terrains cohérents tels que limons et argiles lorsque la profondeur de terrain à traiter est trop importante, supérieure à 4 mètres, pour une substitution en surface. [19]

III.6.1.2 Techniques de mise en œuvre :

La réalisation des colonnes ballastées se fait soit :

- Par voie humide : On utilise le lançage à l'eau.
- Par voie sèche : On utilise le lançage à l'air.

Le choix de l'outil, de ses caractéristiques et de la méthode de réalisation dépend étroitement

- De la nature et de l'état de saturation du sol.
- Du but recherché.

- Des caractéristiques des matériaux d'apport. [19]

III.6.1.2.1 Colonnes exécutées par voie humide :

La mise en œuvre en colonne ballastées par voie humide, dite aussi par vibro-substitution consiste à :

- réalise un forage par auto-fonçage et lançage à l'eau jusqu'à la profondeur désignée .
- remonter le vibreur, avec parfois des ramonages successif, et gravitaire ment
- le laisser tomber ballast dans le forage préalable.
- Compacter le ballast par passes successives jusqu'à la finition de la colonne.

[19]

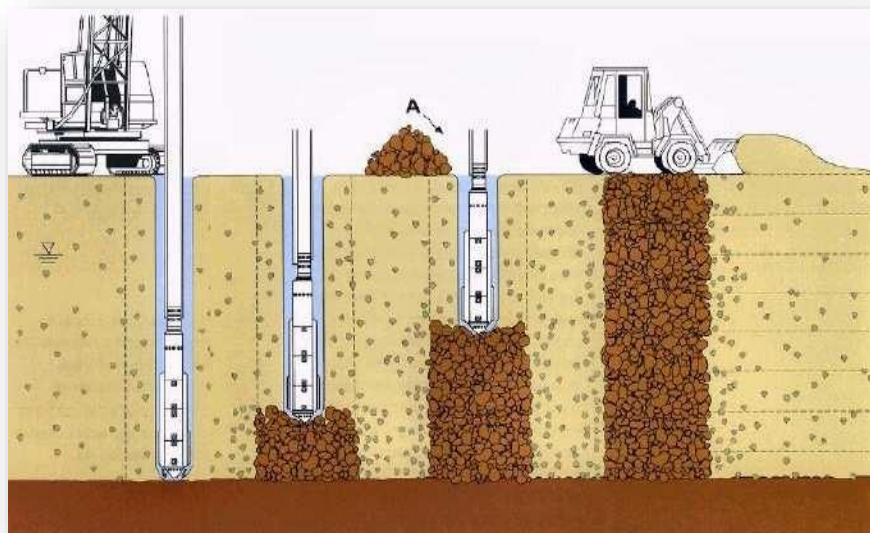


Figure III.7: Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie humide.



Figure III.8: Colonnes exécutées par voie humide.

III.6.1.2.2. Colonnes exécutées par voie sèche :

La réalisation des colonnes ballastées par voie sèche, dite encore par vibro-refoulement consiste à :

- auto fonder le vibreur directement dans le sol par renflement jusqu'à la profondeur désignée .
- remonter progressivement le vibreur tout en laissant descendre par gravité et par pression d'air, le ballast approvisionner par chargeur dans une benne coulissant le long du mât .
- compacter le ballast par passes successives de l'ordre de 0,5 m jusqu'à finition de la colonne. [19]

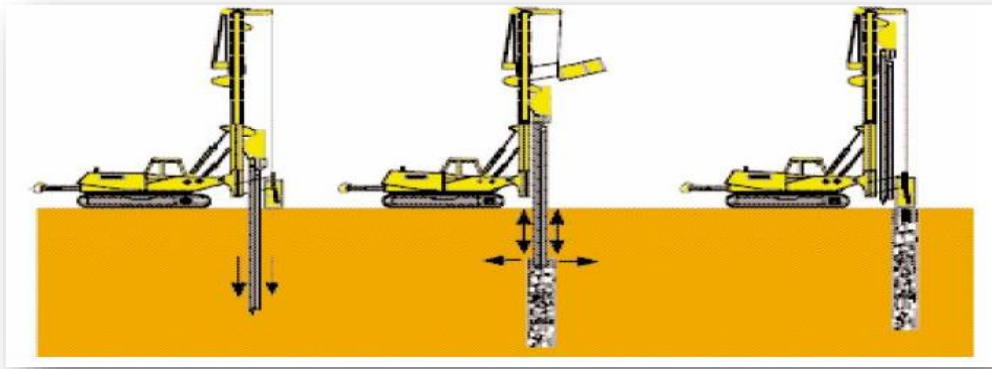


Figure III.9: Schéma de réalisation des colonnes ballastées par voie sèche.



Figure III.10: l'atelier de colonnes ballastées voie sèche (Construction d'une Fromagerie BEL à Kolea).

III.6.2 Vibroflottation :

Le procédé de vibro-compactage consiste à compacter dans la masse les sols grenus sous ou hors nappe à des profondeurs variables par le biais des vibrations émises à l'aide de vibreurs radiaux spécifiques à basses fréquences. Les outils sont suspendus à des grues, mais peuvent aussi, pour des faibles profondeurs, être montés sur porteur.



Figure III.11: Chantier de vibrocompactage (barrage sur l'oued Harka Tunisie).

L'action de ces vibrations va provoquer un réarrangement des grains du sol grenu, réduisant ainsi l'indice des vides et augmentant la densité relative et la compacité du sol traité. [19]

III.6.2.1 Domaine d'application :

Le vibro-compactage est un procédé d'amélioration des sols bien adapté dans les sols pulvérulents non cohésifs (sable, gravier, cailloux, certains remblais, ...) de compacité faible à moyenne. [19]

III.6.2.2. Principe de l'amélioration de sol par vibro-compactage :

Le procédé consiste à compacter dans la masse les sols grenus sous ou hors nappe à des profondeurs variables par le biais des vibrations émises à l'aide des vibreurs radiaux spécifiques. Le vibreur est suspendu à un atelier approprié (grue par exemple) permettant la pénétration de l'outil, facilitée, dans certains cas de compactage, par un fluide de lancement qui est généralement de l'eau sous pression.

Les opérations de vibro-compactage se font par passes successives en remontant l'outil selon des critères géotechniques déterminés au préalable par des essais appropriés et pour des mailles fixées en fonction du degré de compacité des sols à traiter et des objectifs à atteindre. [19]

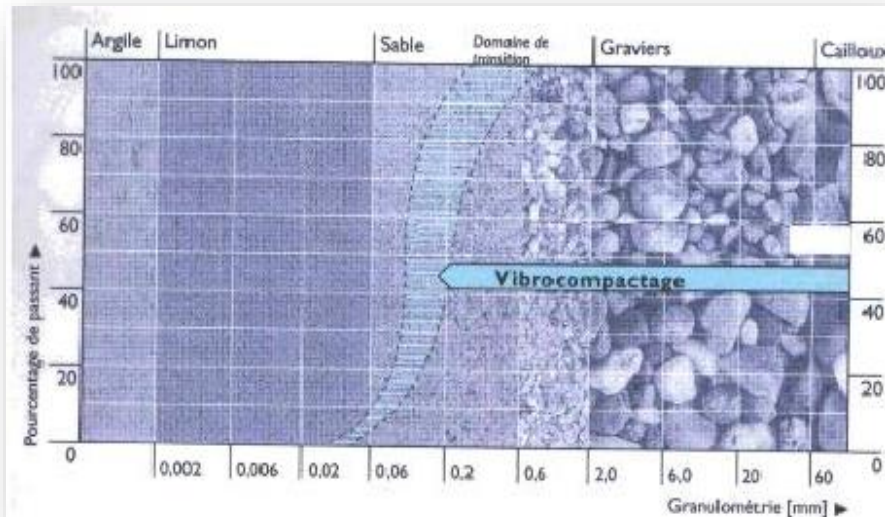


Figure III.12: Domaine d'application du vibrocompactage.

III .6.2.3 Objectifs de traitement par vibro-compactage :

Le procédé de vibro-compactage permet de :

- Diminuer, par un réarrangement optimal des grains sur sol grenu, l'indice des vides .
- Augmenter, par conséquent, la densité relative du sol traité .
- Améliorer la compacité du sol et, par conséquent, augmenter sa capacité portante .
- Diminuer considérablement les tassements totaux et différentiels sous l'ouvrage.
- Réduire le coefficient de perméabilité des matériaux, ce qui permet de diminuer les débits d'exhaure lors de rabattement de nappe et d'infiltration dans le sol de

fondation de digue et ouvrage divers. [19]

III.6.2.4 Technique de mise en œuvre :

La pénétration de l'outil, ainsi que dans certains cas le compactage, sont facilités par un fluide de lançage, généralement de l'eau sous pression. Le compactage se fait par passe en remontant l'outil, selon des critères déterminés par des essais préalables. La résistance du sol après traitement dépend de la granulométrie du terrain et de l'adéquation du type de vibreur . [19]

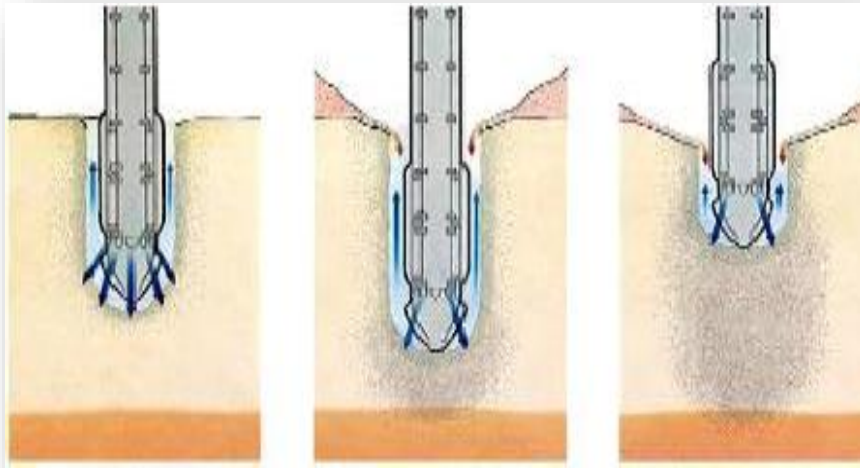


Figure III.13: Procédure de traitement par vibrocompactage.

III.6.2.5 Objectifs à atteindre :

Le traitement des sols par vibro-compactage consiste à améliorer la compacité naturelle des sables, afin de garantir en tout point des sols de fondation sableux des valeurs SPT (Standard Pénétration Test) ou CPT (Cône Pénétration Test) définies après la planche d'essai.

Ceci aura pour effet notamment :

- D'augmenter la compacité des alluvions sous l'ouvrage pour obtenir une contrainte réglementaire (q ELS) proche de la contrainte apportée par l'ouvrage.
- De réduire les tassements.
- De diminuer le coefficient de perméabilité des sables sous le tapis et le noyau

d'argile. [19]

III.6.2.6 Mode opératoire :

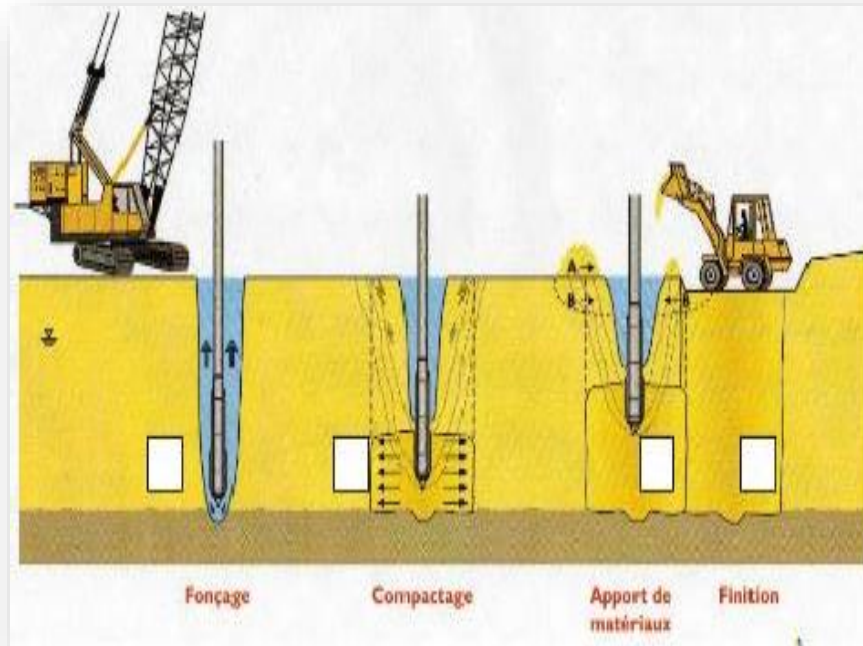


Figure III.14: Phasage des travaux de vibro_compactage.

III.6.2.6.1 Fonçage :

L'outil, dont la puissance et les caractéristiques sont variables en fonction du terrain, est foncé jusqu'à la profondeur finale à atteindre. Sa descente s'opère grâce à l'effet conjugué de son poids, de la vibration et de l'eau de lançage. Le débit d'eau est alors diminué. [19]

III.6.2.6.2 Compactage :

Le vibro-compactage est alors réalisé par passes successives de bas en haut.

Le volume compacté est un cylindre d'un diamètre pouvant atteindre 5m. L'augmentation progressive de l'intensité consommée par le vibreur permet la croissance de la compacité du sol. [19]

III .6.2.6.3 Apport de matériaux :

Autour du vibreur apparaît un cône d'affaissement que l'on comble au fur à mesure soit par des matériaux d'apport (A), soit en décapant progressivement les matériaux du site

(B).En fonction de l'état initial, on peut atteindre une quantité de 10% de matériaux ajoutés par rapport au volume traité. [19]

III.6.2.6.4 Finition :

Après traitement, la plate-forme est réglée et recompactée à l'aide d'un rouleau vibrant. [19]



Figure III.15: la cône d'affaissement autour de vibreur (barrage _Harka_TUNISIE).



Figure III.16: Remplissage de l'affaissement conique par un matériau d'apport (Barrage_Harka_TUNISIE).

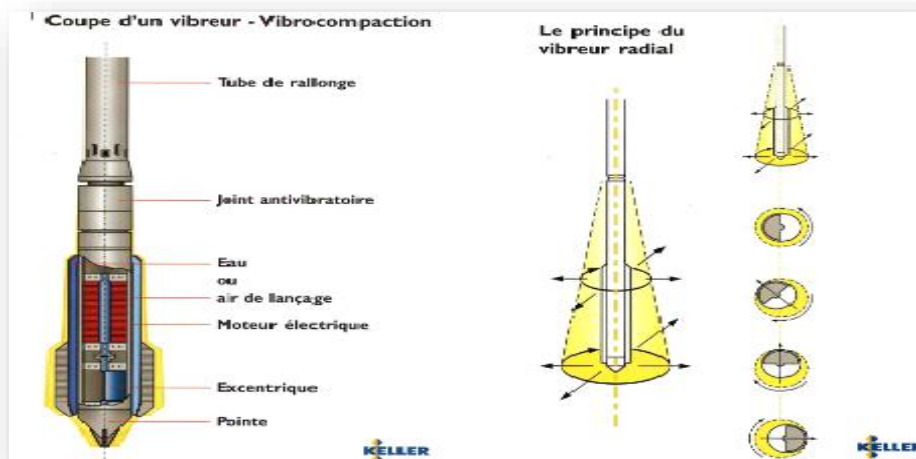


Figure III.17: Composantes du vibreur et principe de fonctionnement de l'excentrique.

III.6.2.7 Limite d'utilisation :

La présence ou non de fines (silt, limons, argiles) ou de matière organique est très important dans l'efficacité du vibrocompactage puisque ces éléments atténuent, voire annulent le caractère non cohésif du sol, et donc la capacité intrinsèque du vibrocompactage à améliorer la compacité des tranches de sols concernées.

S'agissant de la présence de fines, il est communément admis les conclusions suivantes :

- Lorsque le sol présente un pourcentage de fines (passant à 80 microns) inférieur à 5 %,

l'efficacité du vibrocompactage reste optimale. Il n'y a donc pas d'incidence sur

l'interprétation des résultats.

- Lorsque le sol présente un pourcentage de fines compris globalement entre 5% et 10 %,

l'efficacité du vibro-compactage peut être altérée. Le compactage de masse conservera en général un résultat global satisfaisant, mais il se peut qu'un sondage localisé de type SPT n'apporte de résultats clairement probants. Il convient alors de relativiser la lecture directe de la valeur mesurée avec l'amélioration globale apportée par le vibro-compactage dans la zone traitée.

- Si le pourcentage de fines dépasse les 10 %, nous nous plaçons alors dans un sol limoneux ou silteux, voire argileux, la proportion de fines devient trop importante pour pouvoir constater une efficacité du vibro-compactage.

Ces couches de sols doivent être exclues de l'analyse. Prendre à proximité dans des zones d'emprunts définies par l'entreprise générale et livrés sur la plateforme de travail. [19]

III.6.2.8 Inconvénients de vibroflottation :

- Intervention d'engins lourds (incompatible avec la plupart des zones urbaines).
- Impossible pour les mauvais sols profonds (plafond de l'ordre de 20m).
- L'opération est répétée selon un maillage prédéfini selon les objectifs (maillage plus large que pour les injections). [19]

III.6.3 Compactage dynamique :

Cette technique est particulièrement applicable aux sols granulaires lâches a placée près de la surface au sol.

Il s'agit d'un procédé qui consiste à pilonner le sol en surface avec une masse. L'énergie transmise par chaque impact pénètre dans le sol et produit une déstructuration. Au bout de quelques jours (ou semaines), une restructuration s'opère qui aboutit à des caractéristiques de portance améliorées.

Le matériel est constitué d'un pilon de 8 à 50 t (coque d'acier cubique ou cylindrique pleine de béton armé) manipulé par un engin de levage (jusqu'à 40 m de hauteur de chute).

L'énergie unitaire nécessaire augmente linéairement avec le carré de la hauteur de couches à compacter (de 200tm à 2 000tm). La hauteur courante est de 10/15m, elle peut atteindre 25/30m.

Souvent, plusieurs opérations de compactage sont nécessaires, séparées par un laps de temps de quelques semaines (2 à 6).

Le procédé s'applique aux sols sablo-graveleux, et aux matériaux argilo-limoneux saturés condition qu'il y ait présence d'air occlus (1 à 4%) (Cas des tourbes ou des

remblais récents avec matières organiques). Son emploi peut être intéressant pour consolider des couches sous l'eau.

Cette méthode permet de traiter en profondeur par des actions de surface des terrains industriels et commerciaux à viabiliser. La consolidation dynamique permet de compacter les sols granulaires de 5 à 10 m de profondeur tandis que la réalisation de plots ballastés permet d'étendre cette technique à des terrains plus cohérents. [19]



Figure III.18: Atelier de compactage dynamique (compactage des sols à l'aide d'une masse en chute libre).

III.6.4 Renforcement par jet grouting soilcrete :

Le nom «Soilcrete» vient de la rencontre des notions de «soil» (sol) et «concrete» (béton en anglais). Du sol avec une consistance de béton, une description qui caractérise ce type de stabilisation de sol.

Le procédé de jet grouting «Soilcrete» se définit comme une stabilisation de sol à l'aide de ciment. Le sol est découpé grâce à des jets sous haute pression d'eau ou de coulis de ciment (éventuellement enrobés d'air), présentant des vitesses supérieures ou égales à 100m/sec en sortie de buse. [19]

III.6.4.1 Domaine d'application des différentes techniques d'injection :

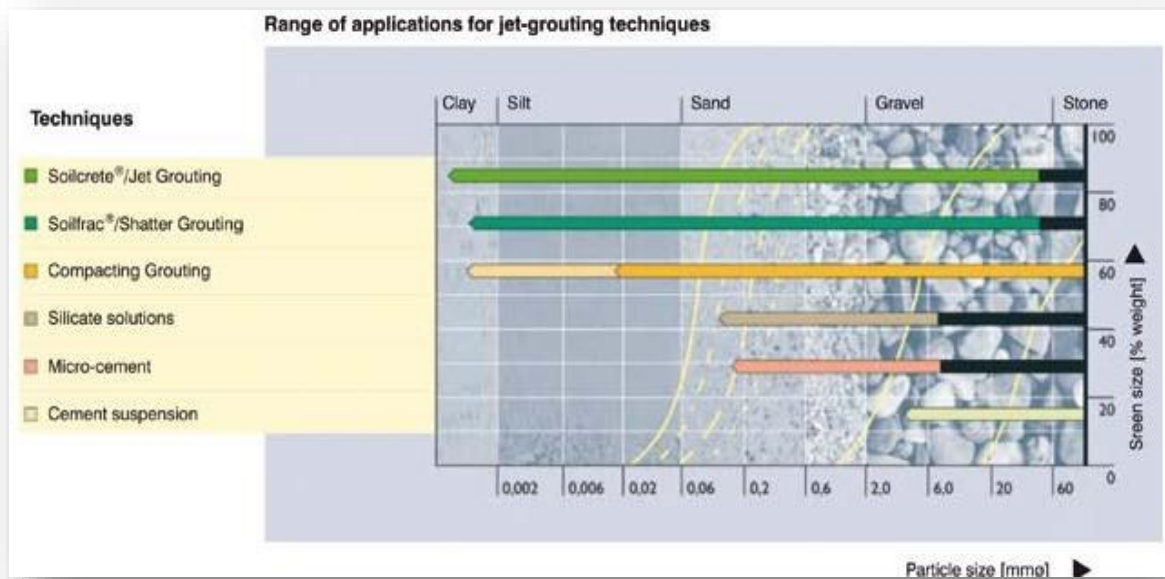


Figure III.19: Les techniques d'injection.

Le sol découpé autour du forage est mélangé au coulis de ciment. Ce mélange sol/coulis est en partie refoulé jusqu'en haut du forage par l'espace annulaire entre les tiges et la paroi du forage. Différentes configurations géométriques d'éléments de Soilcrete peuvent être réalisées.

Le rayon de découpage du jet, qui peut atteindre 2,50m, varie en fonction du type de sol à traiter, du type de procédé Soilcrete et de la nature du fluide à haute énergie.

Applications Contrairement aux méthodes de stabilisation de terrain conventionnelles, le Soilcrete peut être utilisé pour stabiliser et étancher tout type de sols (des alluvions lâches aux argiles).

Ceci s'applique également aux sols hétérogènes et aux couches à caractéristiques

changeantes, y compris les matériaux organiques. Les roches tendres comme le grès ont aussi été traitées par Keller. [19]

III.6.4.2 Les différents procédés :

Le Soilcrete peut être réalisé de trois façons différentes. La méthode à utiliser est déterminée par le type de terrain prédominant, la forme géométrique, ainsi que la qualité recherchée des éléments de Soilcrete. [19]

III.6.4.2.1 Procédé direct Simple :(Soilcrete- S)

S'effectue avec un jet de coulis pour découper et mélanger le sol simultanément sans enrobage d'air. La vitesse du jet en sortie de buse est supérieure à 100 m/sec.

Le procédé Soilcrete S (**Figure III.20**)est utilisé pour des petites à moyennes colonnes de jet grouting. [19]

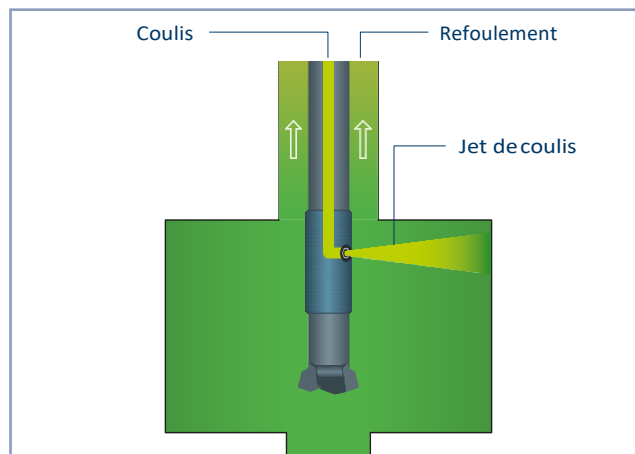


Figure III.20: Procédé Soilcrete S.

III.6.4.2.2 Procédé direct Double : (Soilcrete- D)

S'effectue avec un jet de coulis pour découper et mélanger le sol simultanément. Pour augmenter la capacité d'érosion et le rayon d'action efficaces du jet de coulis, le jet est enrobé d'air au moyen d'une buse annulaire.

Le procédé Soilcrete D (**Figure III.21**) est principalement utilisé pour des blindages de fouilles, reprises en sous-œuvre et bouchons étanches. [19]

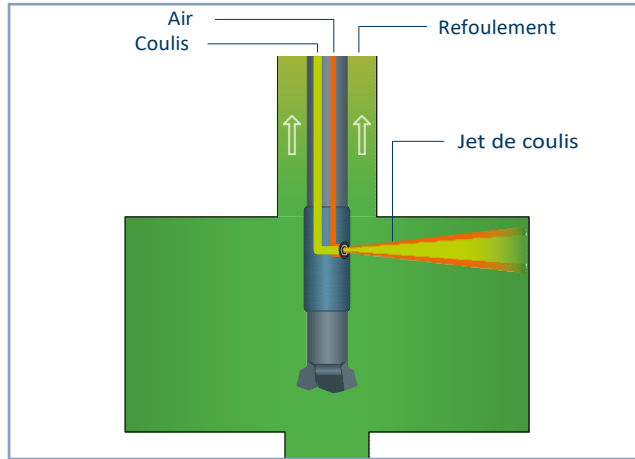


Figure III.21: Procédé Soilcrete D.

III .6.4.2.3 Procédé Triple : (Soilcrete- T)

Découpe le sol avec un jet d'eau enrobé d'air. Le coulis est injecté simultanément par une buse supplémentaire située sous la buse d'eau. La pression du coulis est supérieure à 15 bars. Une alternative à ce procédé consiste à utiliser le jet d'eau sans enrobage d'air, notamment pour des colonnes subhorizontales.

Le procédé Triple (**Figure III.22**) est utilisé pour les projets de reprise en sous-oeuvre, voiles étanches et bouchons étanches. [19]

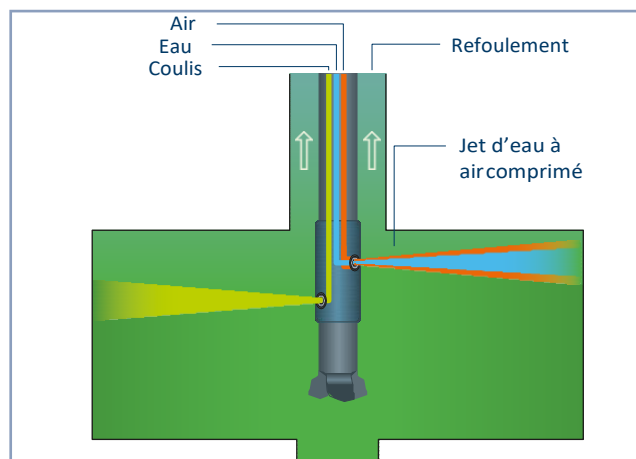


Figure III.22: Procédé soilcrete T.

III.6.4.3 Séquences de mise en œuvre :

L'installation de chantier pour le Soilcrete comprend des containers de stockage, des silos et une unité compacte de malaxage et d'injection. Des flexibles relient l'unité de

pompage à la foreuse en station. La hauteur du mât varie de 2,40 m dans les soubassements à plus de 35 m dans les espaces ouverts.

Les points de forages sont normalement situés dans des petites tranchées équipées de pompes. De là, les poils, mélange eau/ciment/sol, sont pompés vers des bacs de décantation ou des réservoirs. [19]

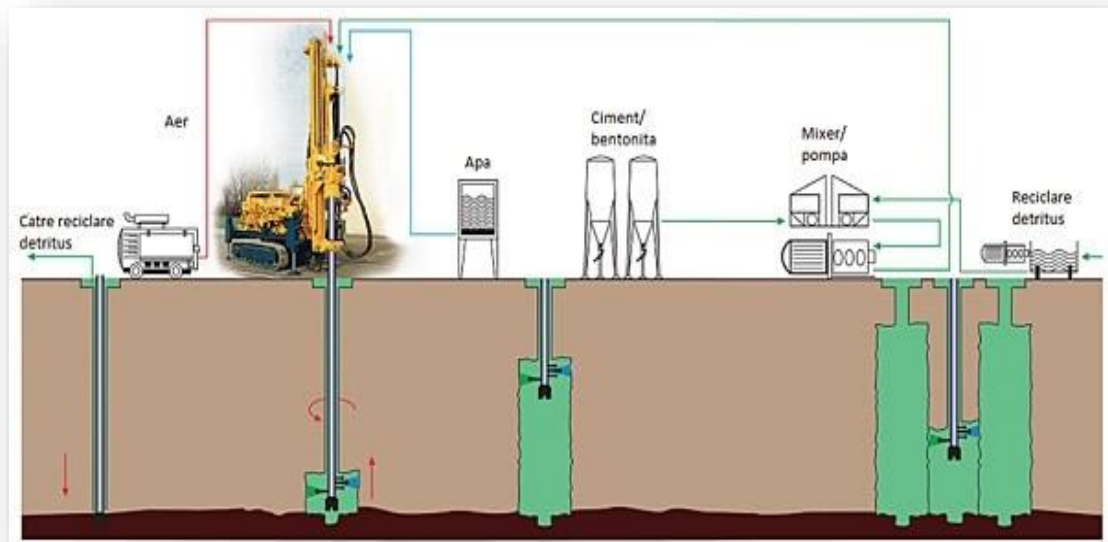


Figure III.23: les étapes du procédé.

III.6.4.3.1 Forage:

Des tiges de forage équipées avec un porte-buses de jet et un taillant sont utilisées pour forer le trou jusqu'à la profondeur requise. En général, le coulis est utilisé comme fluide de forage pour stabiliser le forage pendant la phase de forage. [19]

III.6.4.3.2 Jet :

La déstructuration de la structure granulaire avec un puissant jet de fluide commence en partie basse de l'élément de Soilcrete. L'excédent du mélange eau/sol/ciment est évacué à la surface par le vide annulaire entre la tige de forage et la paroi du forage. Les paramètres de production prédéterminés sont enregistrés en continu. [19]

III.6.4.3.3 Injection :

Pour tous les types de Soilcrete, un coulis de ciment est injecté sous pression

simultanément à l'érosion du sol. Les turbulences créées par la technique du Jet résultent en un mélange uniforme du coulis avec le sol dans la zone de traitement. Jusqu'à ce que l'élément de Soilcrete commence à faire prise, la pression hydrostatique dans le forage est maintenue par l'ajout de coulis dans le forage. [19]

III.6.4. 3.4 Remontée :

Les éléments de Soilcrete de toutes formes peuvent être réalisés aussi bien en

continu qu'avec des reprises, et combinés et connectés de toutes les manières. [19]

III .6.5 Technique de drainage :

On peut réduire l'effet de la liquéfaction par l'amélioration du système de drainage du

sol. Si l'eau interstitielle existe dans le sol peut s'écouler librement, la pression excessive d'eau interstitielle sera réduite. Les techniques de drainage incluent l'installation des drains de gravier, du sable ou des matériaux synthétiques. Les drains synthétiques de mèche peuvent être installés à divers angles, contrairement aux drains de gravier ou de sable qui sont généralement installés verticalement. Les techniques de drainage sont souvent utilisées en combinaison avec d'autres types de techniques d'amélioration de sol pour une réduction plus pertinente du risque de liquéfaction.

Drainage: Un drainage est une opération qui consiste à faciliter, au moyen de drains ou de fossés, l'écoulement de l'eau en excès dans un terrain.

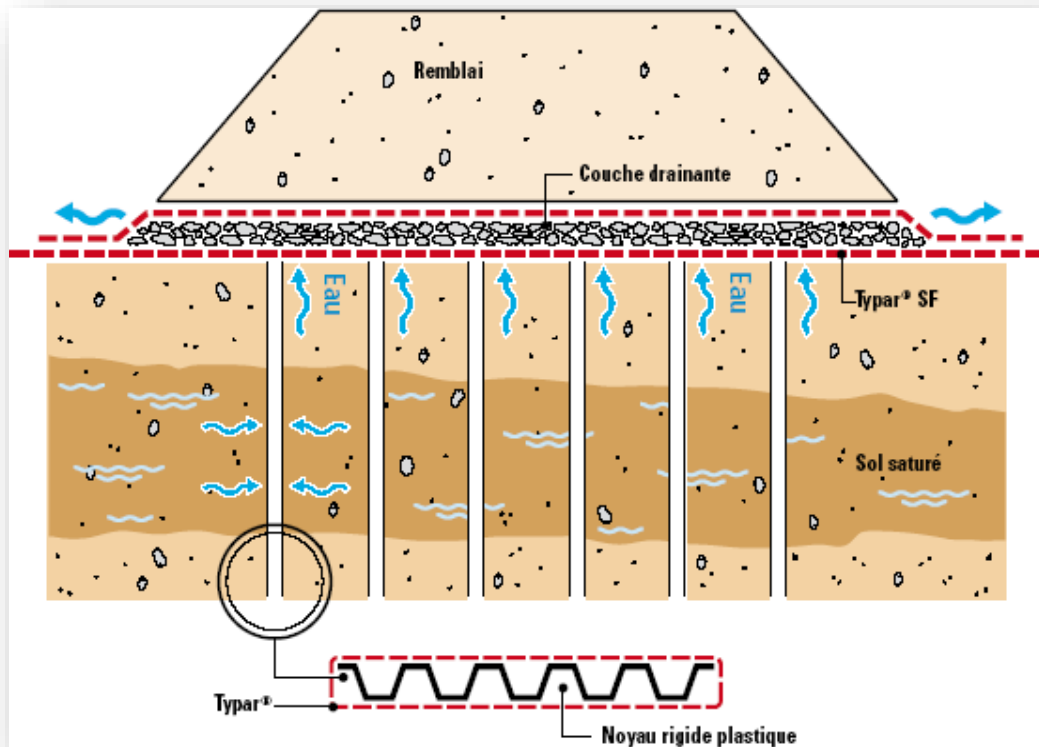


Figure III.24: Technique du drainage.

Les drains verticaux sont utilisés pour l'amélioration de sols saturés en eau (ex: terrain silteux ou argileux).leur mise en œuvre est rapide et économique.

La technique consiste à foncer verticalement dans le terrain, suivant un maillage déterminé, un drain préfabriqué. Au moment de sa mise en service, le drain véhicule l'eau du terrain jusqu'à la surface. La surcharge est apportée soit par un remblai pré-chargement, soit par d'autres méthodes. [19]

III. 7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'essentiel qui existe dans la littérature sur le phénomène de la liquéfaction des sols.A travers cette recherche bibliographique la définition et explication du phénomène ont été présentées,ainsi les effets induit par ce phénomène.Ensuite les principales approches qui permettent l'évaluation de la susceptibilité à la liquéfaction d'un sol ont été exposées brièvement. Finalement quelques techniques de traitement des sols liquéfiable ont été présentées.

**Chapitre IV: Elaboration
des cartes, Commentaires et
interprétations**

IV. 1 Introduction :

La conception des cartes est significativement influencée par les technologies modernes de traitement de l'information qui, grâce à différents logiciels, permettent la réalisation de cartes en affichant sélectivement chaque couche de données. La mise à disposition de ces programmes permet aux cartographes amateurs issus d'autres professions de compiler des cartes.

Néanmoins, sans connaissances cartographiques, le résultat final donne souvent des résultats qui ne répondent pas aux fonctions essentielles d'une carte : fournir des informations fiables.

Cependant, les cartes restent le seul type de documents qui communiquent avec rapidité et précision de très grandes quantités d'informations spatiales.

La conception cartographique conjugue tous les processus intellectuels que parcourt le cartographe lors de la phase de modélisation qui initie le processus de conception. La conception cartographique est une activité complexe mettant en œuvre à la fois des aspects intellectuels et visuels, des outils technologiques et non technologiques, et qui relève d'une ou de plusieurs disciplines. (Dent, Torgusin et Hodeler, 2009).

Pour concevoir des cartes, il faut connaître les systèmes de projectio

n et de références cartographiques, les différents types de cartes et la toponymie .

Il y a différentes méthodes de conception cartographique, pour les cartes topographiques comme pour les cartes thématiques. L'opération de conception cartographique la plus complexe est celle utilisée pour les atlas.

La carte topographique est une production cartographique de référence . Un aspect fondamental de la conception cartographique pour les cartes topographiques est l'exactitude des positions en planimétrie (situation en deux dimensions) et en altimétrie (niveau au-dessus de la mer) à l'échelle de la carte.

Idéalement, les cartes thématiques sont le résultat d'une création collaborative entre experts de deux métiers différents. Le premier étant un expert du contenu thématique, le second un cartographe (un expert en visualisation). Un expert thématique peut être un climatologue, un géologue, un botaniste, un hydrologue, un touriste, un militaire, un économiste ou un autre professionnel requis pour communiquer "ses informations thématiques" sur une carte. Le cartographe est responsable de la pertinence de la

symbolisation, mettant ainsi en œuvre un processus qui permettra au lecteur d'accéder exactement à l'information que l'expert a voulu voir figurer. La coopération entre ces deux experts est nécessaire dans la plupart des cas - un expert thématique ne pourrait afficher ses données correctement sans l'aide d'un cartographe, et sans l'expert, un cartographe n'aurait aucune idée au sujet de la nature et des raisons de la présence des informations sur la carte.

Pour que le processus d'élaboration d'une carte puisse se faire sur des critères qualitatifs pointus (c'est-à-dire pour produire une carte qui fournisse les informations voulues correctement, précisément et rapidement), un cartographe doit également prendre en compte la notion d'usage de la carte. Le début de la phase de conception doit être en cohérence avec l'objectif de l'utilisation de la carte . [20]

IV.2 Elaboration des la cartes, Commentaires et interprétations :

IV .2.1 Localisation de la zone d'étude :



Figure IV .1 : Carte de Ain Témouchent (Google Earth) .

IV.2.2 La carte d'état major de la zone d'étude :



Figure IV. 2 : Carte d'état major .

- **Commentaire et interprétation :**

cette carte est réalisée à partir du levé photogrammétrique, et la prise de vue aérienne de 1987 dressé et publiée par l'institut national de cartographie, complétée sur le terrain en 1989.

Elle porte le N°64 oueste, et les caractéristiques suivantes :

- Projection UTM.
- Ellipsoïde de CLARK 1880 .
- E équidistance des courbes est de 10 mètres.
- Projection UTM fuseau 30 (Nord Sahara 1959) .
- Longitude/latitude (WGS 1984) .
- Longitude entre $1^{\circ}10'00''$ et $10^{\circ}6'30'$
- Latitude entre $35^{\circ}19'30'$ et $35^{\circ}16'00'$

Cette carte est la carte de référence, elle est utilisée comme fond topographique pour la carte des zones susceptibles à la liquéfaction des sols de la ville de Ain Témouchent.

IV.2.3 Le model numerique de terrain MNT :

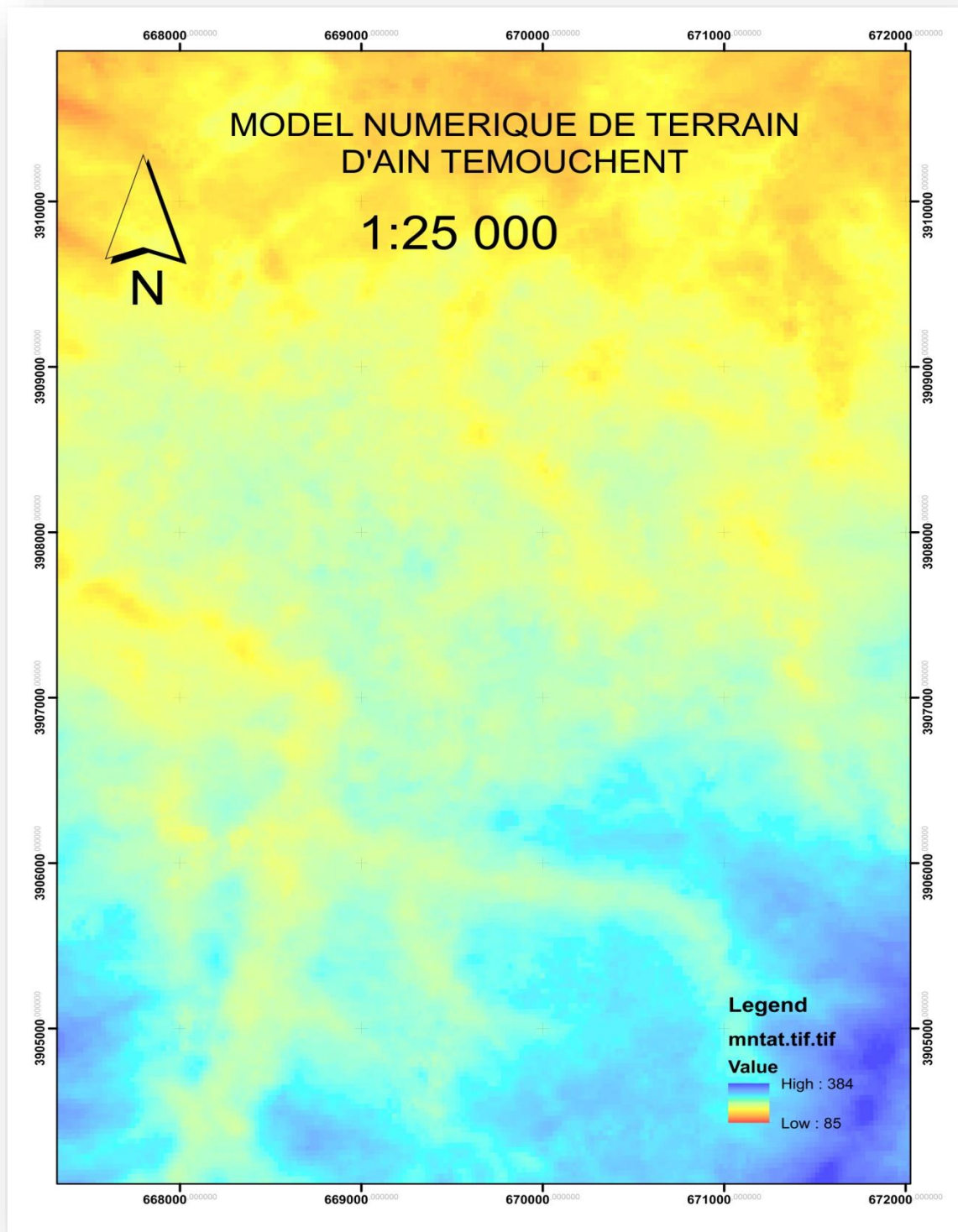


Figure IV. 3 : Carte du model numerique du terrain MNT.

- **Commentaire et interprétation:**

Le modèle numérique de terrain, appelé généralement MNT, est une représentation informatique de la topographie d'une zone géographique, la qualité du MNT est liée directement de l'intervalle de maillage et de la source de données.

Le MNT est indispensable dans divers domaines, il permet de réaliser :

- Les cartes en relief.
- Les cartes de pente.
- Les cartes d'altitude.
- Les cartes hydrographiques.
- Calcul des pentes.
- Le calcul des écoulements....

La zone sélectionner :

Longitude 1° 10' 00 '' à 1° 06' 00''

Latitude 35° 20' 00'' à 1° 16' 00''

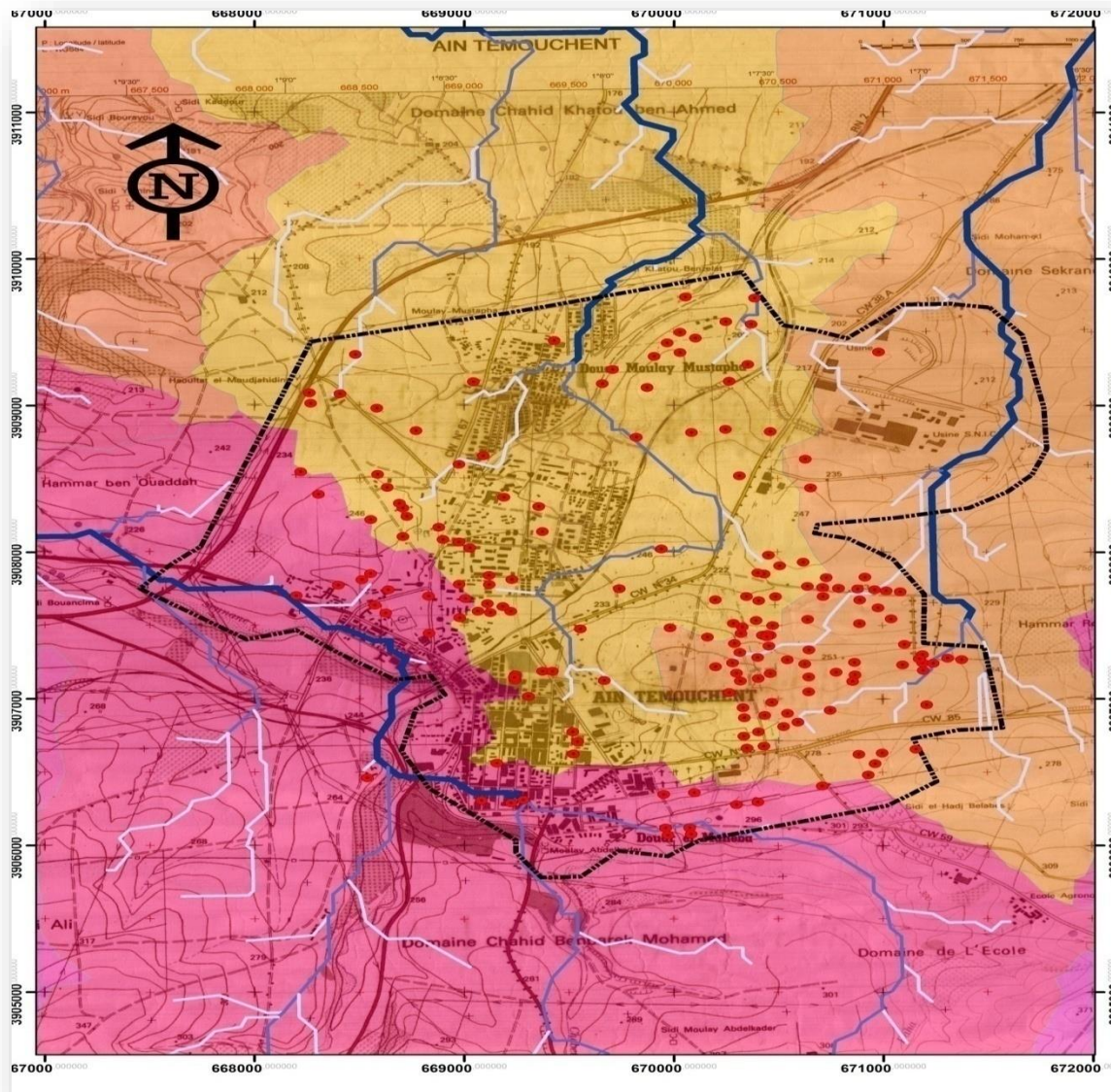
La zone d'étude est caractérisée par un relief, de 384m d'altitude au sud.

(la zonée couleur bleu) ;et de 85m d'altitude au nord (la zone en jaune et orange).

Site web :

<http://gdex.Cr.urgs.gov/gedex>

IV.2.4 Carte hydrographique D'Ain Témouchent :



Ouest	Oued Sennane
Est	Oued SouF ETTEL
Centre	Oued Ain Témouchent

Figure IV.4 : Carte hydrographique D'Ain Témouchent.

- **Commentaire et interprétation :**

La carte hydrographique est réalisée sur la base du MNT et avec le logiciel ArcMap10.2 suivant le chemin :

Arctoolbox_spatial Analyse tools _hydrologie.

Cette carte montre que la zone d'étude est traversée par 3 oueds :

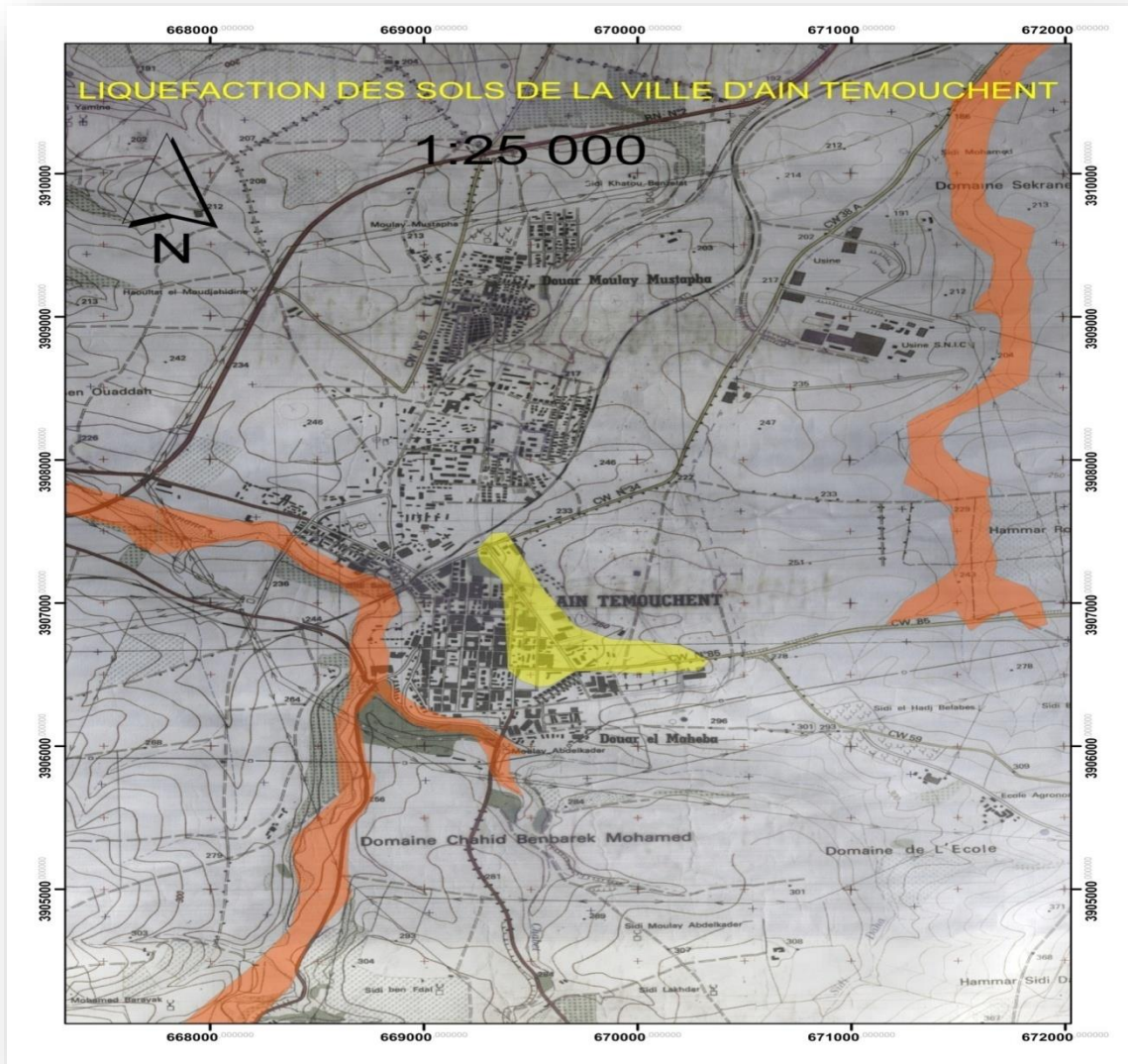
Oued sennane qui prend sa source dans les monts de tessala au sud .



Pour aller rejoindre le bassin versant de oued El MALEH

Oued souf ETTEL dans la partie est de la zone ,et l'oued de Ain Témouchent qui traverse la ville dans le centre

Dont une grande partie de celui-ci est comblée.

IV.2.5 Carte de susceptibilité à la liquéfaction des sols de la ville D'Ain Témouchent :



	Susceptibilité à la liquéfaction des sols forte
	Susceptibilité à la liquéfaction des sols moyenne

Source (ME2I- FRANCE GEOMATRIX-USA)

Figure IV .5 : La carte de liquéfaction des sols de la ville D'Ain Témouchent .

- **Commentaire et interprétation:**

Fond topographique : carte d'état major Ech 1 /25000 projection UTM ellipsoïde de CLARK 1880 UTM Fuseau 30

Tableau IV.1: Surface des zones.

Zone	Surface
Centre	389915 m ²
Droite	1014716 m ²
Gauche	1415935 m ²
Total	2,820566 km ²

-Les sondages effectués, dans cette zone nous relèvent des terrains constitués de sable argileux très fin surmontés d'une couche de vase noire de 6,00 m à 8,00 m de hauteur et une couche de remblai de 1,00 m (voir Annexe).Egalement les essais pénétrométriques réalisés à l'aide d'un pénétromètre dynamique lourd montre le non refus jusqu'à 12 m qui représente la fin des sondages notamment ou boulevard ABID Djelloul (Ex FAUBOURG).

-Sur d'autres parties de la zone les sondages montre des terrains sableux-argileux fin surmontés des couches de remblais de hauteur importantes Allant jusqu'à 8,00 m particulièrement a coté du jardin public et la gare routière D'Ain Témouchent

-Les échantillons ont une granulométrie discontinue avec un pourcentage de 93,20% de fines inférieur a 0,20 mm et un indice de plasticité IP= 30,34 % (sol très plastique) et un degré de saturation de 89% . [21]

-Ces caractéristiques physiques présentent une susceptibilité à la liquéfaction de sol durant un chargement cyclique.

IV.3 Solutions et recommandations :

- Prévoir des fondations profondes sur pieux.
- Prévoir le drainage autour des structures.
- Prévoir des colonnes ballastées.

IV. 3.1 Fondations sur pieux :

- **Définition :**

Un pieu est une fondation élancée, qui reporte les charges de la structure, sur des couches de terrain de caractéristiques mécaniques suffisantes pour éviter la rupture du sol.

Les parties principales d'un pieu sont : la tête, la pointe, et le fût compris entre la tête et la pointe (**Figure IV.6**).

Les pieux peuvent être classés selon le matériau constitutif (en bois, métal, béton armé), ou selon leur mode d'installation dans le sol, les principaux types sont reportés sur l'organigramme (**Figure IV.7**) . [22]

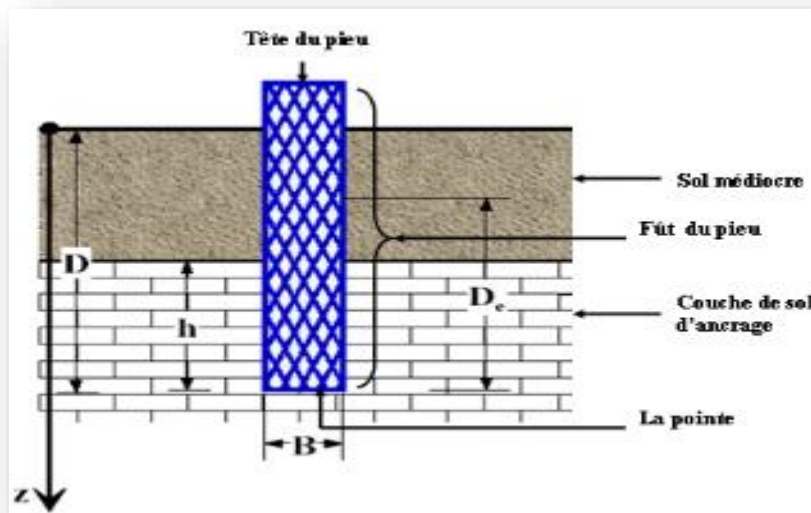


Figure IV.6 : Schéma représentant les différentes parties d'un pieu.

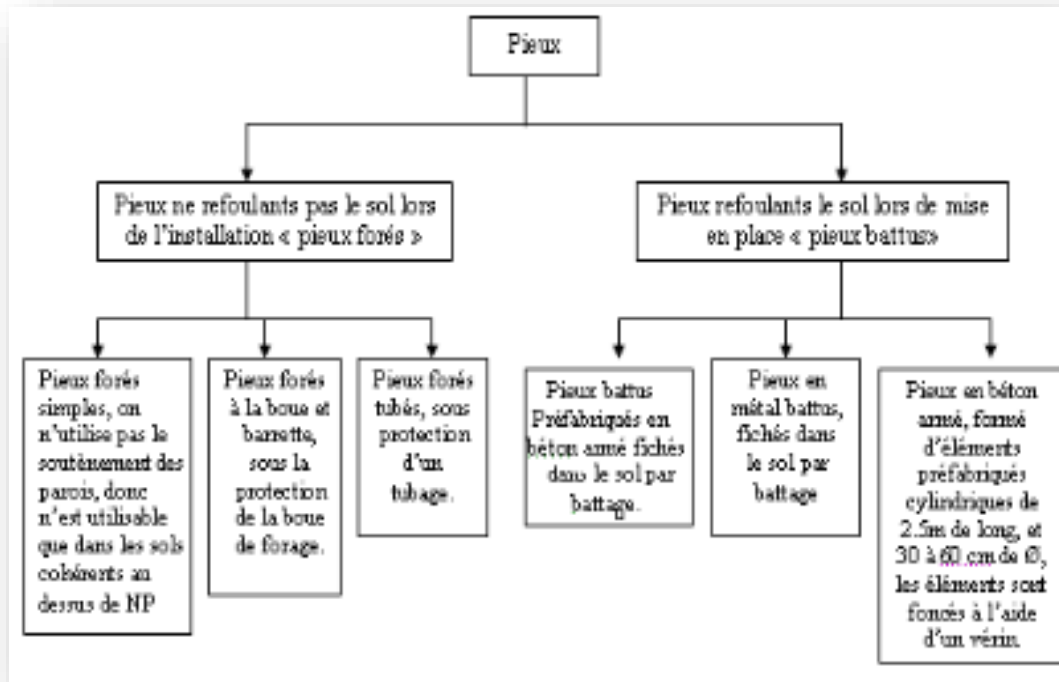


Figure IV.7 : Organigramme donnant les différents types de pieux.

- Procédé de mise en œuvre :

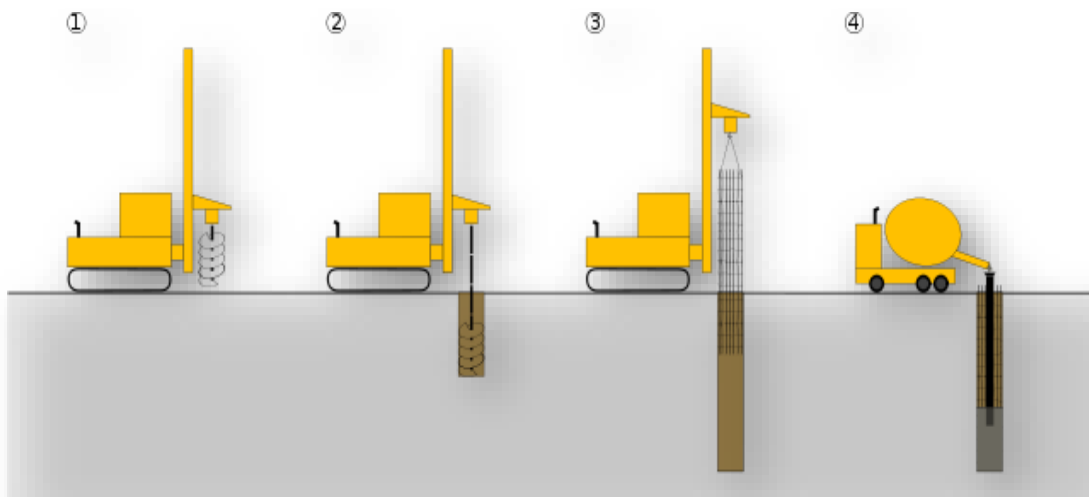


Figure IV.8 : Principe de réalisation d'un pieu foré en béton armé : 1. Mise en station de la foreuse. 2. Forage. 3. Mise en place d'une cage d'armatures. 4. Coulage du béton.

IV.3.2 Colonnes Ballastées :

- **Définition :**

Les colonnes ballastées consistent en une incorporation par compactage de matériau granulaire, dans un terrain présentant des faibles caractéristiques géotechniques. De façon générale elles améliorent les caractéristiques mécaniques des sols par augmentation de leurs capacités portantes et réduction de leurs tassements sous les charges appliquées. Les colonnes ballastées peuvent aussi jouer le rôle d'un drain et réduire les risques de liquéfaction dans les zones sismiques.

- **Procédé de mise en œuvre :**

La réalisation des colonnes ballastées se fait soit :

- Par voie humide : On utilise le lançage à l'eau.
- Par voie sèche : On utilise le lançage à l'air.

Le choix de l'outil, de ses caractéristiques et de la méthode de réalisation dépend étroitement

- De la nature et de l'état de saturation du sol.
- Du but recherché.
- Des caractéristiques des matériaux d'apport.

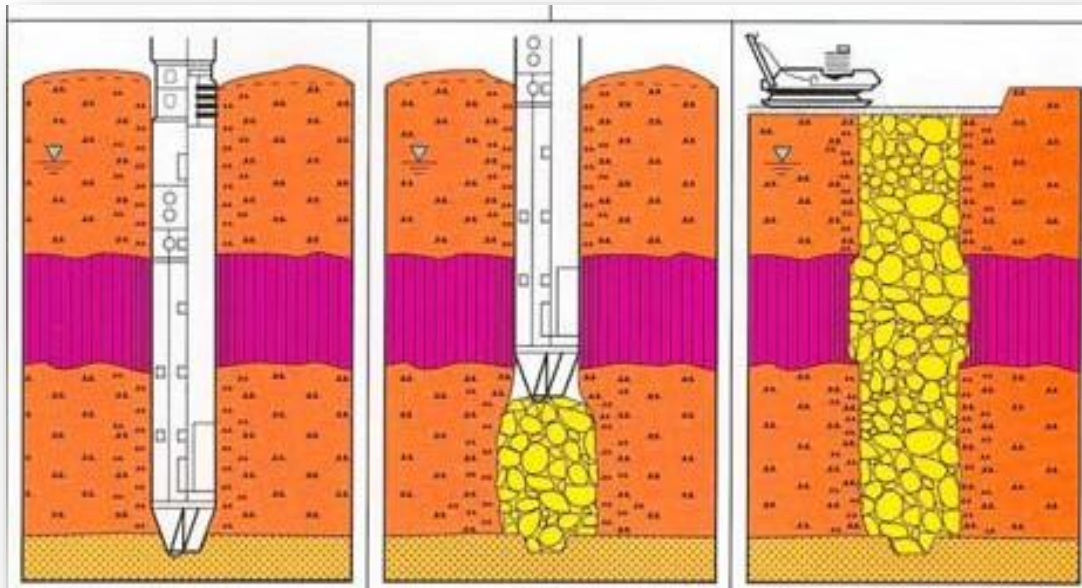


Figure IV.9: Phases d'exécution d'une colonne ballastée (doc. Keller).

IV.3.3 Le Drainage :

- **Définition :**

Un drainage est une opération qui consiste à faciliter, au moyen de drains ou de Fossés, l'écoulement de l'eau en excès dans un terrain.

- **Procédé de mise en œuvre :**

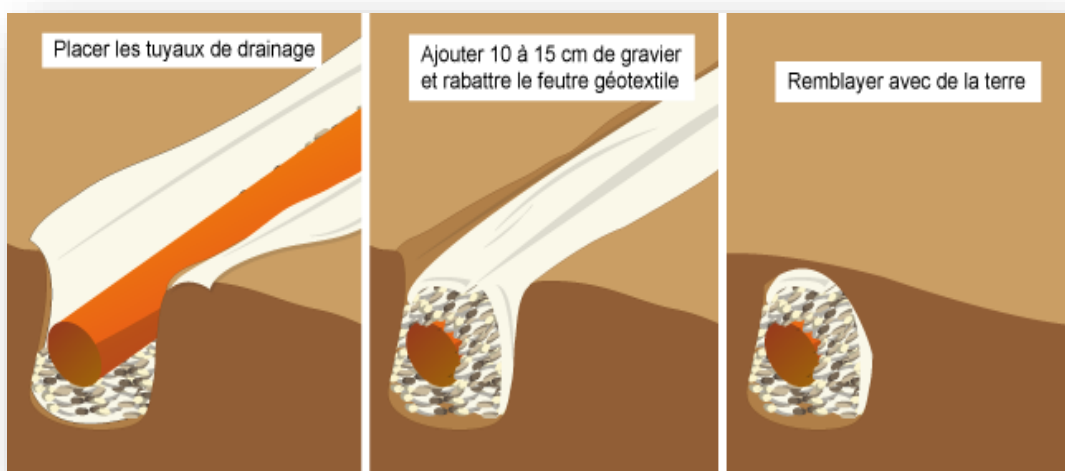


Figure IV.10 : poser les tuyaux de drainage.

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous nous sommes basé sur l'analyse des informations géographiques et hydrogéologiques de la zone d'étude, et on utilisant l'outil informatique, et le logiciel Arcgis 10.2 pour l'établissement de la carte finale. Cette carte met en évidence l'installation d'une grande partie de la vieille ville D'Ain Témouchent sur une zone susceptible à la liquéfaction de sol durant les chargements cycliques (séisme).

**Conclusion générale et
perspectives**

Conclusion générale et perspectives :

Notre travail de mémoire de fin d'étude s'inscrit dans le phénomène de liquéfaction des sols pour les cas existants dans la ville Ain Témouchent, on va élaborer des cartes des zones à hauts risques de ce problème, grâce au résultat obtenus dans ce travail de recherches.

La liquéfaction des sols est un phénomène qui se produit dans les sollicitations sismiques, qui peuvent engendrer des dégâts importants dans les constructions (route, pont, bâtiment ...etc.) .L'utilisation du logiciel Arcmap 10.2 permet d'extraire plusieurs cartes, afin de prévenir d'éventuels phénomènes de liquéfaction des sols et de préserver les édifices de la ville.

Cependant ,la fiabilité des données est un atout majeur pour les événements futurs grâce au logiciel ,nous avons pu identifier le sous bassin versant et les problèmes résultant des 3 oueds existants à ouest ;l'oued sennane,à lest ; l'oued Souf Ettel ,au centre ;l'oued Ain Témouchent (remblayé) ,les 3 éléments représentent le problème de liquéfaction auquel est confrontée la ville de Ain Témouchent .

En perspectives le travail peut être suivi par le traitement des solutions appropriées, l'utilisation des différentes techniques notamment les colonnes ballastées, drainage fondations profondes etc. pour éviter les incidents futurs.

Actuellement les moyens existe, la stabilisation des sols ne représente plus un obstacle grâce à des techniques de pointe et à une formation adéquate de plusieurs ingénieurs dans ce domaine et des échanges avec certaines nations développées.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques :

- [1] Mohamed Haddanou 2010 .Mémoire de historique des cartes.Institut national de cartographie et de télédétection.pp 1-2.
- [2] Didier poidevin 2016.Extrait de son ouvrage (la carte :moyen d'action)aux édition ellipse.Manuel de cartographie-copyright arctique.pp6-17.pp29-40.
- [3]Bengt Rystedt ;suède 2014.221-Article-3 :la cartographie.pp13-14.
- [4] Martine Lapointe 2005.Comprendre et effectuer des projection en cartographie numérique (Arc view 3.2 ;ArGis 8.X et Arc Gis 9.X).Université laval :faculté de foresterie et de géométrie .p 3 .
- [5] Patrick sillard 2000 .Les projections et Référentiels cartographiques .Ecole nationale des sciences cartographiques .pp 5 -8.
- [6] S .Zaragosi 2013. Notion de géodésie .Université de bordeaux .p5-p6.
- [7] Farid Rahal 2014 . Les système d'information géographique appliqués à l'architecture et l'urbanisme sous le logiciel MapInfo. Université des science et de la technologie d'Oran Mohamed Bodiaf ;Faculté d'architecture et de génie civil.pp 32-33 .
- [8] Jilienas 2004. Cour : les projections-ESRI-.Université paris 8.pp 24-28.
- [9] Dr.Djeral lynda .Cour :travaux pratiques de système d'information géographique(SIG).Université des sciences et de technologie Houari Boumedienne. pp 8-9.
- [10] Med Amine Rifi 2010 .Rappel sur les projection(cour). PP 3-12.
- [11]Anouar Chaabane 2014.Projection cartographique(cour).pp12-24.
- [12] Sabrina Merouane et Kheira Meriach 2018 .Mémoire de master :les enjeux de la gestion des ressources en milieu semi aride cas de la région d'Ain Témouchent .Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen.pp 1-6 .
- [13] Gristavao Augusto 2017 .Mémoire de master professionnel : étude d'optimisation d'exploitation du gisement de pouzzolane à la carrière de char Ben Brikhou société des ciments de Béni Saf(SCI BS) .Université Abou Bakr Belkaid de Telemcen .PP 7-10.
- [14] Derfouf Fatiha 2015 .Mémoire de master : contribution à l'élaboration d'une géodatabase du réseau hydrographique cas/la région Ain Témouchent .Centre universitaire Belhadj Bouchaib Ain Témouchent . PP 9-11 .PP16-22 .
- [15] Hachemaoui Djillali et Sadek Mohamed 2016 .Mémoire de master :hydrologie et modélisation pluie _débit :cas du bassin versant de l'oued El_Malleh wilaya de Ain Témouchent .Université Dr Moulay Tahar Saïda .PP 23-25.

- [16] JF Serratrice 2012.Risques sismiques-liquéfaction .CETE Méditerranée.p2.
- [17] Belkacem Djebrou 2007. Mémoire de Traitement du sol par colonne ballastées.SAAD dahleb blida algerie.p6.
- [18] M.Djamel Abderrahmane 2017.Mémoire de master :analyse des potentiel de liquéfaction par les approches empirique et numérique ;cas d'un site recevant un ouvrage d'importance vitale.université M'hamed Bougara de Boumerdes.pp7-9.
- [19] Mohamed Mekerbi et Ismail benabderrahmane 2009.Mémoire de liquéfaction des sols.Université des sciences et de la technologie Houari Boumediéne.pp6-7.pp 22-35.
- [20] Justine Dujardin et Laurent Benosa.Conception cartographique :vit vozenilek,République Tchèque .p1.
- [21] LNHC ;laboratoire Nationale de l'habitat et de la construction antenne D'Ain Témouchent .
- [22] Amina Bacha 2007.Mémoire sur les fondations profondes et semis profondes.USTHB –Géologie de l'ingénieur.pp 1-2.

Site web :

<http://gdex.Cr.urgs.gov/gedex>



Annexe



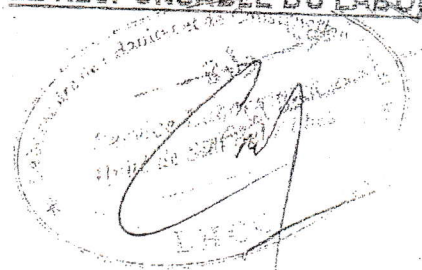
Unité, le 09.01.2014

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ESSAIS

Intitulé du projet		CENTRE COMMERCIAL AIN TEMOUCHENT			
Sondage / Puits					
Profondeur (m)		3.00-3.40		7.40-7.70	
Densité sèche	γ_d (t/m ³)	1.35		1.26	
Teneur en eau pondérale	W (%)	33		33.2	
Degré de saturation	Sr (%)	89		79	
Densité humide	γ_h (t/m ³)	1.80		1.68	
Granulométrie	5 mm				
	2 mm				
	0.08 mm				
Sédimentométrie	20 μ m				
	2 μ m				
Limites d'Atterberg	W _L (%)	58.24		53.47	
	I _p	30.34		25.50	
	W _p (%)	27.90		27.97	
Indice de consistance	IC				
Équivalent de sable	E.S				
Poids spécifique	γ_s (t/m ³)				
Résultats oedométriques	P _c (Bar)	1.460		1.870	
	C _t	0.219		0.139	
	C _g	0.070		0.020	
Perméabilité	K (cm/s)				
Courbe de consolidation	E				
	C _v (cm ² /s)				
Gonflement Libre	GL (Bar)				
Références Proctor	γ_{dmax} (t/m ³)				
	W _{OPT} (%)				
Indice C.B.R à 95 % de l'OPM	I _{CBR} (%)				
Résistance à la compression	R.C.S (Mpa)				
Cisaillement rectiligne ou Triaxial	Type d'essai	CU		CU	
	C (bar)	0.620		1.040	
	ϕ (°)	17.22		11.84	



LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE



Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité sidi Bel abbes - TEL: 048.55.23.58 & 048.55.25.65 - FAX: 048.55.27.87 -

Sondage N°: Sc

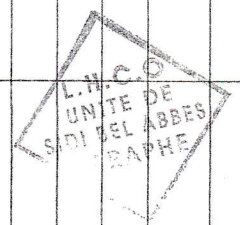
ETUDE : centre d'e commerce
LIEU : Ain-Temouchent
CLIENT : DR.WAKF

DATE DEBUT :
DATE FIN :
NIVEAU NAPPE : m

PROFONDEUR TOTALE : 10 ML
COORDONNEES : X = Y =
Z =

BOUE DE FORAGE : eau
TYPE FORAGE : rotation
TYPE DE MACHINE : galaxy

Prof (m)	Récupération					S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant	Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	W _n %	γ _d T/m ³	I _p %	Class. LPC	Type Essai
	0	25	50	75	100															
0,5												Remblai								
1,0																				
1,5																				
2,0																				
2,5																				
3,0																				
3,5																				
4,0																				
4,20																				
4,5												sable argileux verdâtre avec des cendres volcaniques								
5,0																				
5,5																				
6,0																				
6,5																				
7,0																				
7,5																				
8,0																				
8,5																				
8,80												Sable jaunâtre avec des cendres volcaniques								
9,0																				
9,5																				
10,0																				





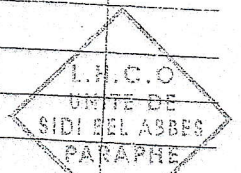
SOCIÉTÉ DE GESTION DES PARTICIPATIONS ÉTUDES ET ENGINEERING « GENE »
 GROUPE LABORATOIRE NATIONAL DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION
 LABORATOIRE DE L'HABITAT ET DE LA CONSTRUCTION- FILIALE OUEST

UNITÉ SIDI BEL ABBES
 Structure Laboratoire

Unité, le 30.12.13

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ESSAIS

Intitulé du projet		CENTRE DES AFFAIRES AIN TEMOUCHENT			
Sondage / Puits					
Profondeur (m)					
Densité sèche	γ_d (t/m ³)		5.80-6.00	6.70-7.00	
Teneur en eau pondérale	W (%)		1.27	1.19	
Degré de saturation	Sr (%)		30.5	30.2	
Densité humide	γ_h (t/m ³)		73	83	
Granulométrie	5 mm		1.65	1.65	
	2 mm				
	0.08 mm				
Sédimentométrie	20 μ m				
	2 μ m				
Limites d'Atterberg	W _L (%)		63.23	57.26	
	I _p		34.06	28.56	
	W _p (%)		29.17	28.7	
Indice de consistance	IC				
Équivalent de sable	E.S				
Poids spécifique	γ_s (t/m ³)				
Résultats oedométriques	P _c (Bar)				
	C _t		2.270	2.000	
	C _g		0.152	0.206	
Perméabilité	K (cm/s)		0.035	0.035	
Courbe de consolidation	E				
	C _y (cm ² /s)				
Gonflement Libre	GL (Bar)				
Références Proctor	$\gamma_{d\max}$ (t/m ³)				
	W _{OPT} (%)				
Indice C.B.R à 95 % de l'O.P.M	I _{CBR} (%)				
Résistance à la compression	R.C.S (Mpa)				
Cisaillement rectiligne ou Triaxial	Type d'essai			CU	
	C (bar)			0.690	
	ϕ (°)			24.48	



LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE

Service Laboratoire
 Unité de Sidi Bel Abbes

L.F.C.O.

Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

Unité sidi Bel abbes - TEL: 048.55.23.58 & 048.55.25.65 - FAX: 048.55.27.87 -

Sondage N°: Sc

ETUDE : centre d'affaire
LIEU : Ain-Temouchent
CLIENT : DR.WAKF

DATE DEBUT :
DATE FIN :
NIVEAU NAPPE : m

PROFONDEUR TOTALE : 10 ML
COORDONNEES : X = Y =
Z =

BOUE DE FORAGE : eau
TYPE FORAGE : rotation
TYPE DE MACHINE : galaxy

Prof (m)	Récupération					S.P.T	R.Q.D	φ Tub	φ Carottier	Echant Profond Ech (m)	Coupe	DESCRIPTION	Cu Bar	φ _u (°)	w _n %	γ _d T/m ³	I _p %	Class. LPC	Type Essai	
	0	25	50	75	100															
0,5											[Pattern]									
1,0											[Pattern]									
1,5											[Pattern]									
2,0											[Pattern]									
2,5											[Pattern]									
3,0											[Pattern]									
3,5											[Pattern]									
4,0											[Pattern]									
4,5											[Pattern]									
5,0											[Pattern]									
5,5											[Pattern]									
6,0											[Pattern]									
6,5											[Pattern]									
7,0											[Pattern]									
7,5											[Pattern]									
8,0											[Pattern]									
8,10											[Pattern]									
8,5											[Pattern]									
9,0											[Pattern]									
9,5											[Pattern]									
10,0											[Pattern]									

