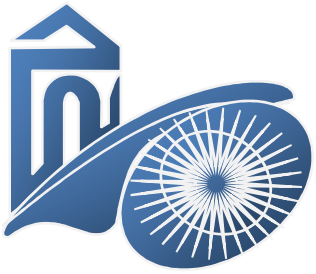
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Dr. YAHIA FARES de MEDEA
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de la Matière



MÉMOIRE DE master en génie climatique

Option : Énergie et Froid Industriel

Thème :

Etude et dimensionnement d'une station de congélation pour la stabilisation d'un sol

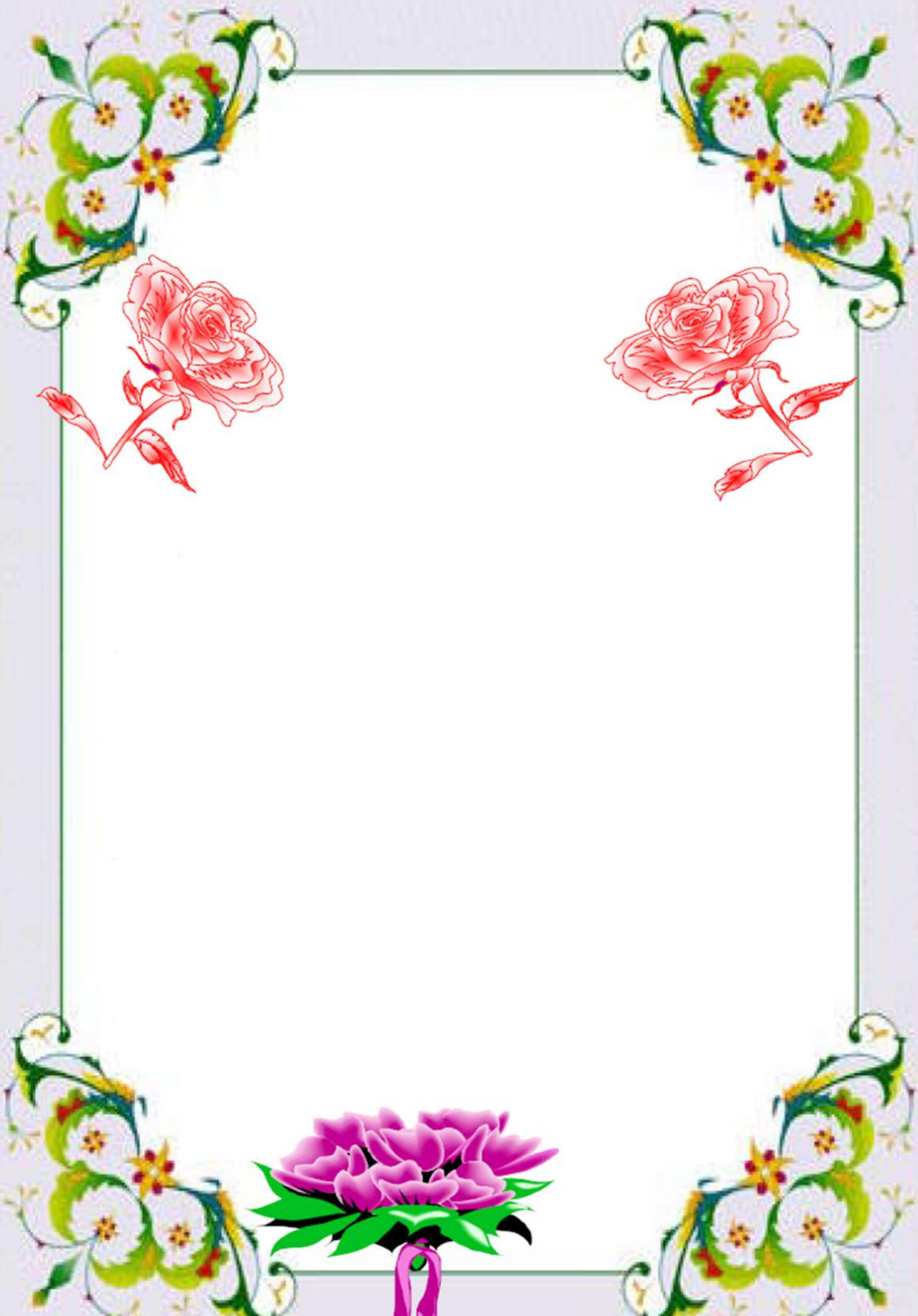
Encadreur :
Dr. BENTCHIkOU Mohamed

Co- promoteur:
Dr. TRIKI Zakaria

Présenté par :
M[elle:] MEKKI Fatimazohra

Promotion 2014-2015





الملخص

.ان التطور الميكانيكي للتربة و البحث في مجال البناء يسمح بتطوير مجموعة من التقنيات لتعزيز خصائص التربة فا التربة لها خصائص ميكانيكية سيئة من خلال التوقعات البيئية وخاصة مواقع البناء القريبة من المراكز الحضارية من بين هذه التقنيات التي سنقوم بدراستها هي تقنية التثبيت المؤقت للتربة في مجال البناء عن طريق التجميد وقد ينطوي هذا العمل علي تطوير نموذج رياضي لتحديد حجم المبرد لتثبيت التربة من خلال عملية التجميد باستخدام سائل التبريد الامونيا ذو درجة حرارة تبخر متغيرة وكذالك محلول ملحي. قد تم تمديد الدراسة لسوائل اخري و المتمثلة في (R22, R134a) القيم المدخلة هي: درجة حرارة ورطوبة التربة، الخصائص الحرارية مثل حرارة معينة، والناتج هوالحرارة المزالة (المستخرجة) من التربة مما يسمح بتجميديها، وتدفق ا لسا ئلين (الامونيا , الملوحة) بعد حساب الاستطاعة اللازمة من اجل التشغيل لأجزاء الة التبريد يتم اختيار معداتها.

الكلمات المفتاحية

الاستقرار المؤقت لتربة ، تحديد ابعاد آلة التبريد، تجميد الترب

Résumé:

Le développement de la mécanique du sol, et les recherches dans le domaine du bâtiment ont permis la mise au point d'une large gamme de techniques permettant l'amélioration d'un sol présentant de médiocres propriétés géo mécaniques en particulier pour des chantiers tout prés des agglomérations urbaines ou pour des travaux sous galeries. Parmi ces techniques on étudiera celle de congélation pour la stabilisation temporaire des sols dans le domaine de construction.

Notre travail consiste au développement d'un modèle mathématique pour le dimensionnement de la machine frigorifique destinée à la stabilisation temporaire des sols par la technique de congélations en utilisant le fluide frigorigène (Ammoniaque) à une température d'évaporation variable et un fluide frigoporteur (saumure). L'étude est étendue à deux autres fluides (R22, R134a) pour l'estimation du cop.

Les valeurs d'entré sont :la températures et l'humidité du sol, ses caractéristiques thermiques comme la chaleur spécifique , et à la sortie on doit avoir la chaleur évacuée par le sol qui permet sa congélation et le débit des deux fluides (ammoniac et la saumure. Après calcul des puissances nécessaires des éléments de l'installation, un choix est fait de l'équipement de la machine.

Les mots clés :

Stabilisation temporaire du sol , dimensionnement d'une machine frigorifique , congélation du sol

Summary:

The development of soil mechanics, and researches in the field allowed the development of a wide range of techniques for enhancing a soil having poor geo-mechanical properties particularly for construction sites near urban centers or for work in galleries. Among these techniques, we will study the temporary freezing soil stabilization.

The work involves the development of a mathematical model for sizing the chiller for temporary soil stabilization by freezing technique using refrigerant (ammonia) with a variable evaporation temperature and a secondary refrigerant (brine). The study was extended to two other fluids (R22, R134a) for estimating the cop.

The input values are: temperatures and soil moisture, its thermal characteristics such as the specific heat, and the output will be heat removed from the soil allowing its freezing, the flow of the two fluids (ammoniac and brine).

After monitoring the necessary powers of different parts of the installation, a choice is made of the equipment of the machine.

The keyword:

Temporary soil stabilization, design of a refrigerating machine, soil freezing

Nomenclature

Symbole Signification …….. .. ……**.Unité**

Q : la chaleur à prélever du sol……..…….($kcal/m^3$)

V_s : Densité sèche du sol…….....(kg/m^3);

c_t : Chaleur spécifique du sol sec…….. ($kcal\ /kg°C$);

w : Teneur en eau du sol (rapport eau/sol sec en poids);……..……..%

T_i : La température initiale du sol …… ……..°C

C_f : Chaleur de fusion de I 'eau……..….... ($kcal/kg$);

C_g : Chaleur spécifique de la glace ……..….$kcal/kg°C$);

Tm : la température moyen des sols congelés…….°C

ΔT : Différence entre la température initiale T, du sol et la température moyenne du sol congelé Tm …….....°C

$\dot{Q}saum$:la puissance de la saumure……..….. ..[w]

T_{ss} :la température de sortire de la saumure …… .°C

T_{es} : la température d'entré de la saumure …… …°C

$C_{p_{saumure}}$:la chaleur spécifique de la saumure ……. . ..kJ/kg.K

$M(Bp)$: le débit du fluide frigorigène a basse pression ……..... kg/s

$M(Hp)$:le débit de fluide à haute pression …….... kg/s

T_c : la température de condensation ……..…..….°C

T_{ev} :la température d'évaporation……..…$°C$

Pth : la puissance théorique…….....kw

$\dot{V}_{asp} =$ débit volumique ……. …. m^3/h

Table des matières

REMERCIEMENTS……..…….…….... ..I
DEDICACE……II
RESUME …….III
NOMENCLATURE…….VI
SOMMAIRE …….…….…. VIII
LIST DES FIGURES ……IX
LIST DES TABLEAU ……..
INTRODUCTION…….....1

Chapitre I : Les problèmes liés au glissement de terrain

Introduction…….....2

I.2.Définition d'un glissement terrain ……...2
I.3. Type de glissement de terrain ……....2
I.3.1. Les glissements lents et continus et les glissements rapides……....2

I.3.1.1. Le glissement lent et continu……..2

I.3.1.2. Les glissements rapides et discontinus…….....5

I.3.2. Glissement plane (translatif)…….8
I.3.3. Glissement circulaire ou rotatif…….8
I.3.4. Glissement quelconque……..8
I.4. La classification du glissement de terrain……8
I.5. les problèmes liés aux phénomènes de glissement……...10
I.6. Des exemples de glissement de terrain dans le monde……..……12
I.6.1. Les coulées boueuses à Rio de Janeiro……..……..12
I.6.2. Chutes de blocs……13
I.6.3. Cavité souterraine…….……...13
I.6.4. Le tassement différentiel……..13
I. 6.5. Eboulement : (Falaise de Belle Fontaine…..……..14
I.6.6. Le glissement de terrain : à MUSSEAU, impasse Avalon……..15

I .6.7. Le glissement de terrain (la Salle en Beaumont « Isère ») France……16
I. 6.8. Glissement de terrain des grands vents sur la rocade d'Alger……16
I.6.9. Retrait et gonflement des argiles de la Wilaya de M'silla…….....17
I.7. L'impacte de glissement ……...17
I.7.1. L'impact de glissement de terrain sur les personnes……..…...17
I.7.2. L'impact de glissement de terrain sur le cadre bâtit …….…....18
I.7.2.1. Vulnérabilité du bâtiment au glissement de terrain ...……18
I.7.2.2.Risque et vulnérabilité au mouvement de terrain…….……18
I.7.2.3.Les différents types de vulnérabilité……..……18
Conclusion …...……....…19
Chapitre II : Techniques de traitement des sols
II.1.Introduction…….....20
II.2. les Techniques de traitement des sols……...…20
II.2. 1. Les techniques de traitement à longue durée ……20
II.2.1. 1. Pré chargement……..….20
- Principe de la méthode ……..…20
- Surcharge en terre……...21
- Consolidation atmosphérique…….…22
- Paramètre d'exécution…….…...22
II.2.1.2. Le renforcement des sols par inclusion rigides…….…….23
- Définition du renforcement par inclusions rigides verticales ……...……23
II.2.1.3. vibrocompactage (ou vibroflottation)…….25
- Planches d'essais……...….26
II.2.1. 4. Colonnes ballastées……28
- Aspects géotechniques…….…..28
- Domaine d'application ……..29
II. 2.1.5. Le compactage dynamique (ou pilonnage)…….…29
- Description du procédé ……29
- Domaines d'application…….…29
II.2.1.6. Technique de l'injection ……....30
- Domaines d'application……....31

- Principe et l'objectif de cette technique…….…..32

I.2.1.7. Drainage ……...…32

- Rabattement temporaire……..…33
- Rabattement permanent……..…34

II.2.2. Technique de traitement temporaire par congélation…….……35

II.2.2.1. Technique de traitement par congélation…….……35

a) Introduction ……...……35

b) Principe de méthode ……..……...……35

II.2.2.2. Les types des méthode de traitement par congélation …..……....36

- La méthode ouverte …….…….36
- La méthode fermée……37
- La méthode combinée……38

Conclusion……41

Chapitre III : Terrain à stabiliser et ses propriétés

III.1. Introduction…… ..42

III.2. Situation géographique de la zone étudiée ……..……..42

III.3.Les couches du sol……...43

III.4. Propriétés physique du sol……45

III.4. 1. Conductivité thermique des composants du sol ……45

III.4.2. Chaleur spécifique des composants du sol (cp)…….…..46

- La densité sèche du sol γs ……..…….47

- La teneur en eau d'un sol (w) …….…..47

Conclusion ……...……48

Chapitre III : Calcule des calories à prélever du sol pour sa congélation et dimensionnement de l'installation frigorifique

IV.1. Introduction……..49

IV.2. Description de l'installation frigorifique ……49

IV.2.1. Circuit primaire :……..……49

IV.2.2. Circuit secondaire ……...49
IV.3. calcul les Calories à prélever du sol ……...……51
IV. 3.1.la chaleur évacuée par le sol pour un 1 m^3……...……51
IV.1. 3.Calcul de la chaleur globale évacuée par le sol……52
IV.4.Calcul du débit de la saumure M_{saum} [kg/s]…….52
IV.4.calcul des puissances théoriques de la machine ……..53
IV.4.1.Calcul des débits du fluide frigorigène ……53
IV.4.1.1. Debit basse pression *M* (Bp) ……...…….53
IV.4.1.2. Debit haute pression *M* (Hp) ……..53
IV.4.2. trace du le diagramme (h,p) pour trouver les enthalpies……53
IV.4.3.Calcul de la puissance théorique de chaque composant de la machine……56
IV.5.4Calcul du cop théorique …….…….…...56
IV.5. Choix des équipements de l'installation frigorifique ……..56
IV.5.1. Débit volumique que doit aspirer le compresseur haute pression…….....56
IV.5.2. Débit volumique que doit aspirer le compresseur basse pression…….57
IV.5.3. choix du condenseur ……....57
IV.5.4. choix de la pompe……....57
IV.5.5. choix de l'évaporateur …….……...58
IV.6. Débit massique a haute pression…….60
IV.7. Débit massique a basse pression……....60
IV.8. Calcul du COP ...……..……..61
Conclusion ……..*62*
Conclusion générale ……...…...63

Liste des figures :

Figure (I-1) : Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre ……...3
Figure (I-2) : Schéma Explicatif des phénomènes: Tassement à MEXICO ……..4
Figure (I- 3) : Schéma Explicatif des phénomènes : Retrait –Gonflement ……..……4

Figure (I- 4) : Phénomène de la Solifluxion ……..……5
Figure (I-5) : Schéma explicatif des phénomènes effondrements des cavités souterrain……..6

Figure (I-6) : Schéma Explicatif des phénomènes : les éboulements, chutes de blocs et de pierres ……6
Figure (I- 7) : Schéma qui illustre une coulée de boue …….…….....7

Figure (I- 8) : Schéma Explicatif des phénomènes : L'érosion littorale …..…….....7
Figure (I- 9) : Les types de glissements de terrain. …….……8
Figure(I-10): Schémas Solifluxion, Glissement superficiel……..……9
Figure (I-11 : Glissement superficiel le long des berges du Rhône... …….……..…..9
Figure (I-12) : coulée de boue dans la région de Rio, …….……..……...12
Figure (I-13) : Une "écaille" rocheuse Maupas. France …….. :……...13

Figure (I-14) : Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse Bargement……...……...……...13
Figure (I-15) : La tour de pise [Italie 1990] ……..14
Figure(I- 16): l'éboulement de la falaise de Belle Fontaine [1991]……...…….14

Figure (I-17) : Vue aérienne sur la localisation de l'impasse Avalon. ..……...15

Figure (I- 18) : Le glissement de terrain à l'impasse Avalon Museau……... ……15
Figure (I- 19) : Glissement de terrain de la salle en Beaumont Isère …….16
Figure (I-20) : Stagnation des eaux en amont dans des fondations abandonnée……..…..17
Figure(I- 21) : fissuration des poutres et des murs à Ain *Hadj el.* ……... ……..17

Figure (II-1): Représentation principe de pré chargement pour le contrôle des tassements. ……..21
Figure (II-2) : représentation technique de pré chargement ……...23

Figure (II-3) : réseaux d'inclusion rigides ……24

Figure(II-4) : schéma de principe d'un renforcement par inclusions rigides verticales d'après Berthelot et al .(2003)……...25

Figure (II-5) : domaine d'application du vibrocompactage …….……26

Figure (II-6) : mode opératoire du vibrocompactage ……..27

Figure (II-7) : le cône d'affaissement autour du vibreur …….28

Figure (II-8): représentation d'un schéma du procédé des colonnes ballastées……28

Figure (II-9) : Exemples de chantiers de compactage dynamique …….....29

Figure(II-10) : chantier de compactage dynamique ……..…….30

Figure (II-11) : représentation de l'application de la technique 'd'injection…….…….…..32

Figure (II-12) : Représentation les phases d'injection ……...32

Figure (II-13) : Représentation d'un drainage vertical……...……33

Figure(II-14) : réalise des drainages par pompage dans des rangées de puits filtrants……...34
Figure (II-15) : la méthode de congélation … ……..……...…...36
Figure(II-16) : principe de la méthode ouverte ……..……..37
Figure (II-17) : principe de la méthode fermée…….38
Figure (II-18) : schéma représentant l'état du sol avant et après congélation ……..38
Figure(II-19) : Représentation la Mise en place de tubes congélateurs……...40

Figure(III-1) : Représentation la situation du situation du site prise par Google Earth……..42

Figure (IV.1) : Schéma de principe du procédé de congélation……..40

List des tableaux

Tableaux (III.1) :la conductivité thermique des composants des sols 45

Tableaux(III.2) : valeurs de Cp pour les différent couche du sol ……46

Tableaux (III.3) : teneur en eau w et densité sèche du sol en fonction de la profondeur de sondage ……47

Tableaux (IV.1)……55

Introduction

Plusieurs problèmes menacent de nombreux pays, dans le demain de construction en génie civil comme les glissements de terrain en particulier dans les pays en voie de développement. Dans ce travail nous allons définir plusieurs techniques de stabilisation de sol pour éviter ce problème et nous allons examiner la technique temporaire par congélation.

L'utilisation des techniques frigorifiques dans le secteur du génie civil concerne les applications de la stabilisation des sols par congélation. Cette technique a été utilisée depuis fort longtemps pour congeler les sols instables ou très humides et arrêter l'écoulement d'eau dans les sols. Cette technique a été mise en œuvre pour la réalisation de fondations, de fossés et de galeries minières. La méthode la plus couramment utilisée consiste en la mise en place de tubes concentriques dans lesquels une saumure circule. dans certains cas l'azote liquide est préféré.

La congélation des terrains aquifères instables est un procédé ancien à caractère provisoire qui permet une consolidation et un étanchement temporaire du sol. Le recours à ce procédé nécessite de bien connaître les transports thermiques liés à la congélation et de bien maîtriser la technologie de mise en œuvre. De plus, dans certains cas, cette technique peut permettre de faire des économies substantielles dans le cadre d'une bonne mise en œuvre et d'un contrôle rigoureux des opérations. La congélation fût employée dès la fin du 19ème siècle avec de la saumure, c'est la méthode reconnue comme étant la plus sûre. Plus tardivement, la méthode fût accélérée avec l'utilisation d'azote liquide, plus onéreuse de part son fonctionnement en circuit ouvert.

L'objet de ce travail concerne le dimensionnement d'un circuit frigorifique fermé d'une installation pour la stabilisation temporaire de sol d'un projet de construction d'un collège situé au gué de Constantine à Alger.

nous présenterons dans le premier chapitre les problèmes liés au phénomène de glissement terrain et dans le second chapitre les différentes techniques de traitement de sol sont présentées. Le troisième chapitre définit les différentes propriétés de sol et le chapitre quatre sera consacré au dimensionnement de la machine frigorifique. Et enfin ce travail se termine par une conclusion.

CHAPITRE 1

❖ ***Les problèmes liés au glissement de terrain***

I.1. Introduction :

De nombreuses régions du monde sont confrontées à des phénomènes naturels susceptibles de provoquer des catastrophes. Ces phénomènes sont d'origines très variées. Les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels d'origine très diverses, résultant de la déformation de la rupture et du déplacement du sol. **[1]**

I.2. Définition d'un glissement terrain

Un glissement de terrain est un déplacement plus au moins brutal du sol ou du sous-sol, sous l'effet d'influence naturelle (agent d'érosion, pesanteur, …etc.) ou anthropique (exploitation, déboisement, terrassement,…etc.). Ce phénomène comprend diverses manifestations : lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure.

I.3.Type de glissement de terrain

Le glissement de terrain a pour caractéristique d'être difficilement prévisible et constitue un danger pour la vie humaine en raison de son intensité, de la soudaineté et du caractère dynamique de son déclenchement. Selon la vitesse de déplacement, plusieurs types peuvent être distingués

I.3.1. Les glissements lents et continus et les glissements rapides

Seuls les glissements rapides sont directement dangereux pour l'homme. Leurs conséquences sont d'autant plus graves que les masses déplacées sont importantes. Les conséquences des mouvements lents sont essentiellement socioéconomiques ou d'intérêt public

I.3.1.1. Le glissement lent et continu

Ces glissements entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent : l'affaissement, le tassement, le glissement, la solifluxion, le fluage, le retrait-gonflement et le fauchage. Ils touchent principalement les biens, à travers la fissuration des constructions. Ces désordres peuvent se révéler si grave pour la sécurité des occupants et par conséquent la démolition des bâtiments s'impose.

- **L'affaissement**

L'affaissement est une dépression topographique en forme de cuvette à grand rayon de courbure dû au fléchissement lent et progressif du terrain de couverture avec ou sans fractures ouvertes. Dans certains cas il peut être le signe annonciateur d'effondrement des bâtiments **[2]**

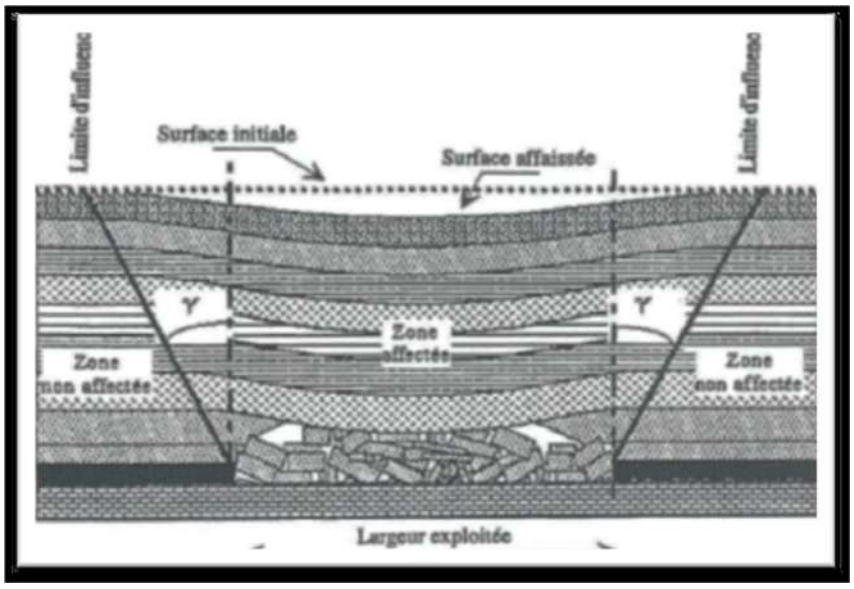


Figure (I-1) : Affaissement lié à une exploitation ancienne avec un recouvrement d'une centaine de mètre [3]

Cet affaissement crée un tassement différentiel sur les fondations qui se traduit par des fissures plus ou moins importantes et ouvertes, parfois travers antes, allant de la dégradation du ravalement à la ruine des murs porteurs, en passant parle blocage des portes et fenêtres [4]

- **Le tassement**

Le tassement est une diminution de volume de certains sols (, argiles...etc.), sous l'effet des charges appliquées et de l'assèchement. Ce phénomène peut être de grande extension et affecte des agglomérations entières (Mexico, construite sur des alluvions, s'est tassée de sept mètres depuis le début du siècle par exploitation excessive de la nappe

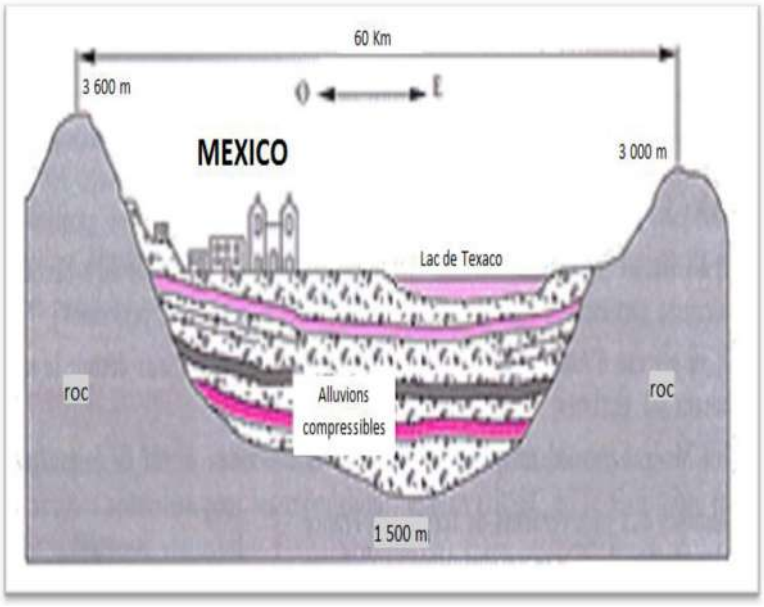


Figure (I-2) : Schéma Explicatif des phénomènes de Tassement à MEXICO :[5]

Le retrait-gonflement

Le retrait-gonflement se manifeste dans les sols argileux, il est lié aux variations d'eau dans le sol. Lors des périodes de sécheresse, le manque d'eau entraine un tassement irrégulier du sol en surface (retrait). A l'inverse, un nouvel apport d'eau dans ces terrains produit un phénomène de gonflement.

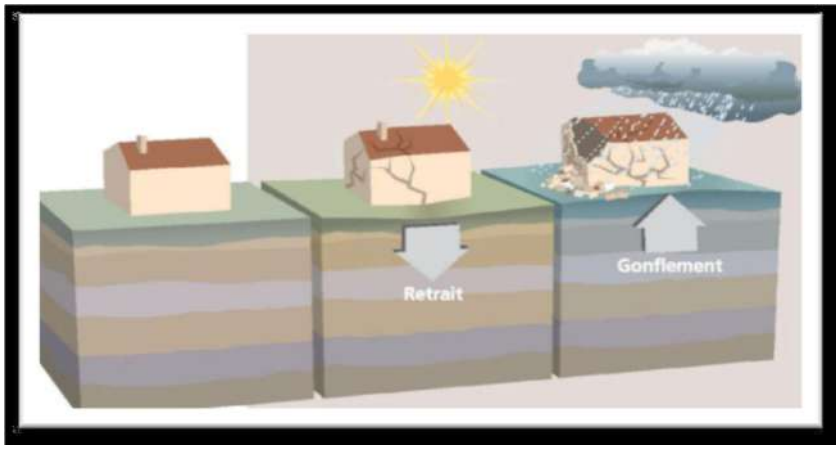


Figure (I- 3) : Schéma Explicatif des phénomènes : Retrait Gonflement [6]

- **Le fluage**

Le fluage est caractérisé par des mouvements lents et continus, mais à des vitesses faibles. dans le cas du fluage, il est difficile de mettre en évidence une surface de rupture. Le

mouvement se produit généralement sans modification des efforts appliqués (contrairement aux glissements) : en fait le matériau est sollicité à un état proche de la rupture. Ce type de mouvement peut : soit se stabiliser, soit évolué vers une rupture [7]

- **Solifluxion**

La solifluxion est un phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles. elle correspond à un mouvement de masse superficiel qui est déclenché lorsque la charge en eau dépasse le seuil de plasticité du matériau. Le sol peut alors fluer dans la pente sur un plan de décollement saturé d'eau.

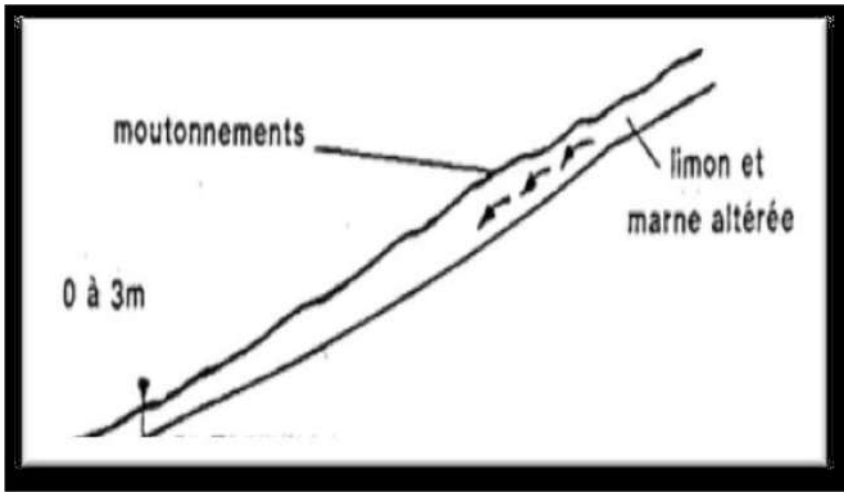


Figure (I- 4) : Phénomène de la Solifluxion [8]

I.3.1.2. Les glissements rapides et discontinus

Ils se propagent de manière brutale et soudaine. Ils regroupent l'effondrement, les chutes de pierres et de blocs, l'éboulement et les coulées boueuses. Les glissements rapides touchent majoritairement les personnes, avec des conséquences souvent dramatiques. Ces mouvements ont des incidences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication…etc.), allant de la dégradation à la ruine totale.

- **Les effondrements de cavités souterraines**

Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus au moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique

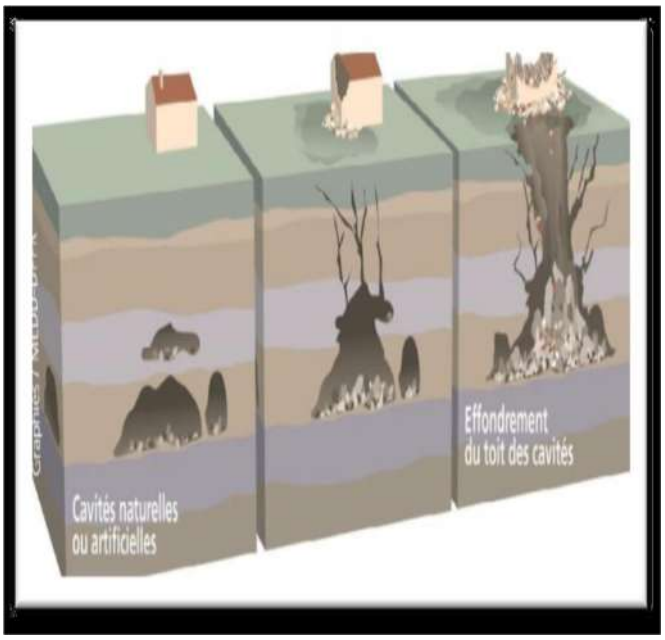


Figure (I-5): Schéma Explicatif des phénomènes : Effondrements des cavités souterraines [6]

- **L'éboulement, chutes de blocs et de pierres**

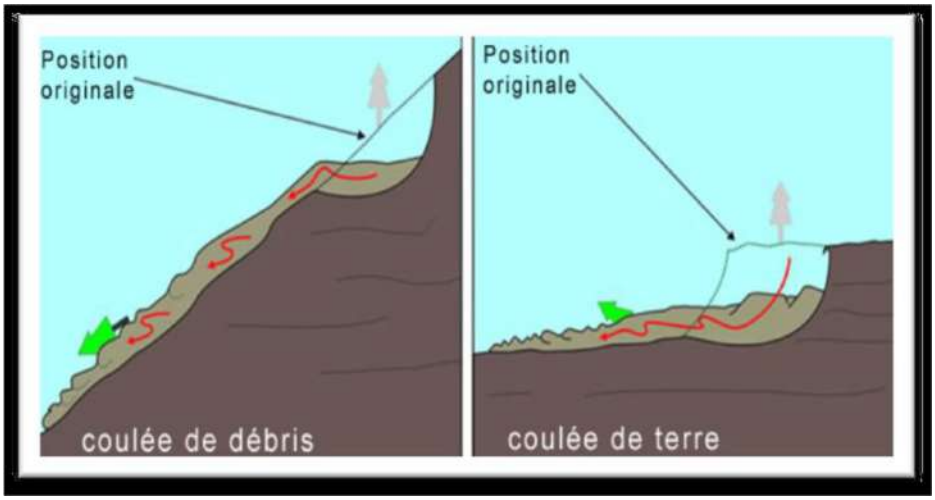
L'évolution des falaises et des versants rocheux engendre des chutes de pierres (volume < 1 dm3), des chutes de blocs (volume > 1 dm3), ou des écroulements en masse (volume pouvant atteindre plusieurs millions de m3



Figure (I-6) : Schéma Explicatif des phénomènes : les éboulements, chutes de blocs et de pierres [6]

❖ **Les coulées de boues et laves torrentielles**

Il s'agit d'un mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Ces coulées de boues prennent fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.



Figure(I- 7) : Schéma qui illustre une coulée de boue [9] :

❖ **Erosion littorale**

Les zones littorales sont soumises à un recul quasi généralisé : glissements ou effondrements dans le cas de côtes à falaises, érosions dans le cas de côtes basses sableuses

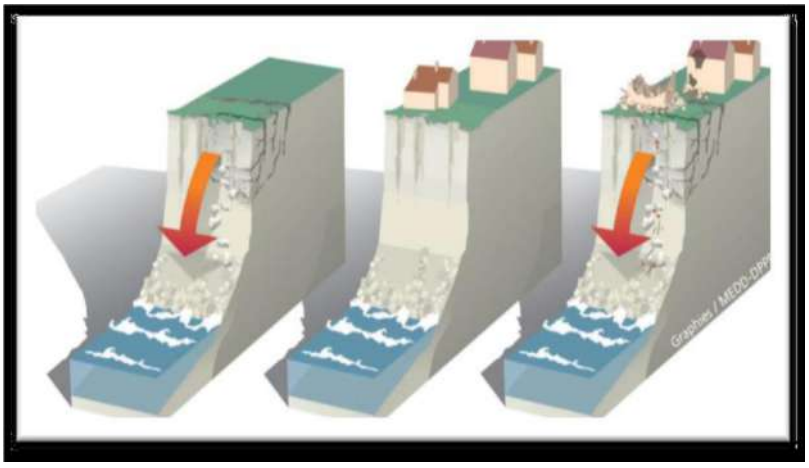


Figure (I- 8) : Schéma Explicatif des phénomènes : L'érosion littorale [6]

I.3.2. Glissement plane (translatif)

Lors d'un glissement plane, les couches de l'ensemble de terrain se déplacent selon une surface plus ou moins plane. Il s'étend sur une surface très vaste allant jusqu'à 30 km². L'épaisseur des masses glissées peut atteindre plusieurs dizaine de mètres

I.3.3. Glissement circulaire ou rotatif

Lors d'un glissement circulaire, la masse se déplace vers l'aval le long d'une surface de rupture circulaire. Habituellement, les glissements de type circulaire sont de faible volume et le déplacement des matériaux est limité.

I.3.4. Glissement quelconque

Le mouvement est très semblable au précédent dans son allure externe, mais la section verticale de la surface de glissement est de forme irrégulière. Il s'agit souvent d'une combinaison des deux cas précédents

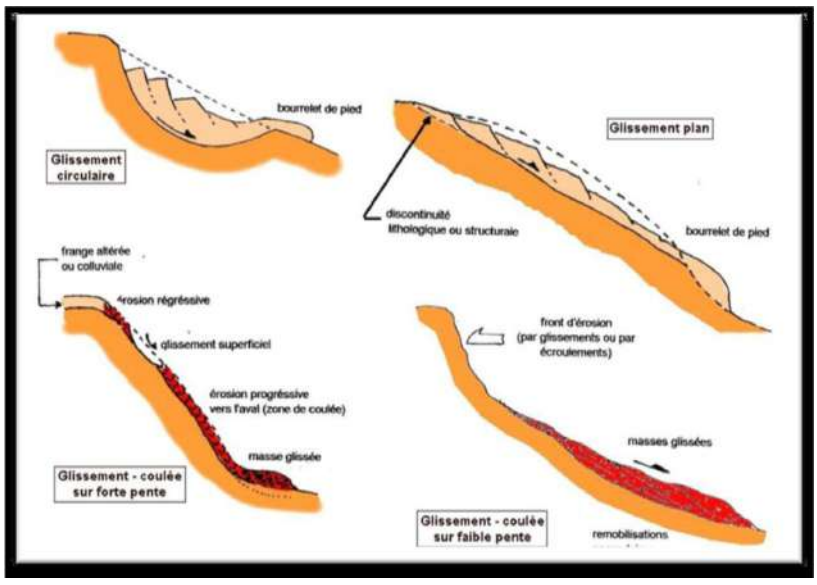


Figure (I- 9) : Les types de glissements de terrain.[10] :

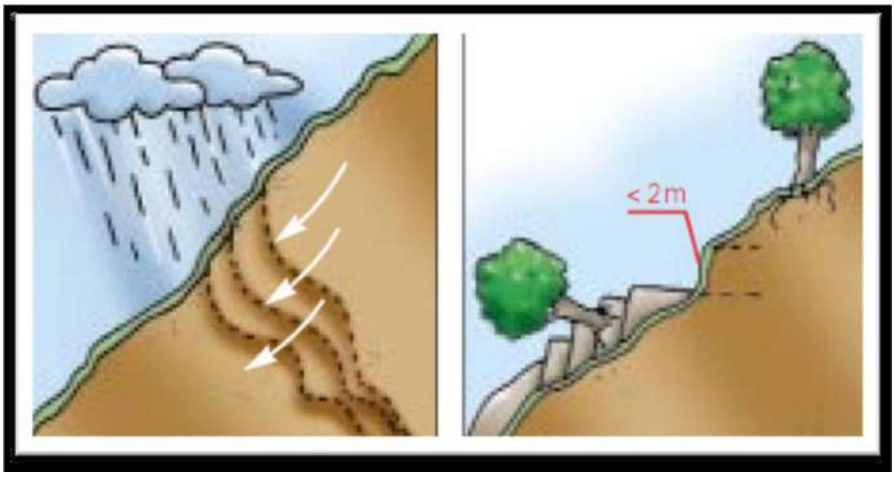
I.4. La classification du glissement de terrain

Les glissements de terrain peuvent être classés en fonction de la profondeur de leur surface de glissement et de la vitesse moyenne du mouvement

- **Glissement superficiel**

Dans les pentes où la couche superficielle se trouve en état d'équilibre limite, une dégradation temporaire de la qualité du sol, par saturation lors de pluies notamment, entraîne soit des écoulements sans limites nettes (solifluxion), soit des glissements avec des arrachements

superficiels mettant à nu la surface. La profondeur limite théorique admise entre glissement profond et superficiel est de 2 m.



Figure(I-10): Schémas Solifluxion, Glissement superficiel. [11]

Le glissement superficiel peut être actif ou peu actif. Un glissement superficiel est actif quand il montre un mouvement supérieur à 10 cm/an. Rappelons que le classement retenu fait l'état de la situation lors du levé topographique sur le terrain et qu'un glissement actif peut se stabiliser (par réduction progressive de la pente et colonisation par la végétation par exemple) Par ailleurs, un glissement peu actif, peut par moment entrer dans une phase rapide (rupture soudaine



Figure (I-11): Glissement superficiel le long des berges du Rhône.[11] :

- **Glissement profond**

Le glissement profond est caractérisé par la présence de niches d'arrachement, généralement multiples, bien marquées, avec un déplacement d'une masse de matériaux meubles ou rocheux

le long d'une ou de plusieurs surfaces de glissement situées en profondeur et de moindre résistance.

I.5. les problèmes liés aux phénomènes de glissement

Le passage de l'état stable à l'état instable est lié à des causes nombreuses et variées qui viennent s'ajouter aux conditions initiales, intrinsèques au terrain. On distingue plusieurs facteurs qui influencent le phénomène du mouvement de terrain.

-Ils correspondent à l'action naturelle ou anthropique nécessaire au déclenchement d'un glissement de terrain. Cette action déclenchant peut être liée à un ou plusieurs stimuli externe (pluie intense, séisme,…etc.) **[12]**

- **Action et influence de l'eau**

La variation des conditions hydrauliques est l'une des principales causes de glissement de terrain et son action dans la rupture de l'équilibre se manifeste à travers plusieurs façons et à différents stades. C'est principalement, la pluviométrie que les auteurs s'accordent à considérer comme étant le facteur le plus influent, et plus particulièrement, ils montrent une occurrence entre des mouvements et des pluies de fortes intensités **[13]** Les eaux provenant des ouvrages construits par l'homme : pratiquement tous recevant ou transportant de l'eau peuvent être à l'origine de glissement de terrain. L'action de l'eau sur différent type de sol, mais surtout pour les sols fins et argileux, l'apport d'eau entraine une baisse de résistance du milieu.

- **Action de la pesanteur**

L'action de la pesanteur est le moteur principal du mouvement. La stabilité d'un bloc est donnée par le rapport entre les forces stabilisantes et les forces déstabilisantes. On parle du facteur de sécurité (F). Si celui-ci est inférieur à 1, il y a rupture de l'équilibre, et s'il est supérieur à 1, il y a conservation de l'équilibre. Si l'on augmente le poids d'un bloc ou d'une portion de terrain, cela engendrera une augmentation des forces déstabilisantes et le rapport F diminuera jusqu'à atteindre le seuil d'équilibre limite avant rupture. L'action de la pesanteur, en tant que facteur de mouvement, est intimement liée à l'action anthropique, car le plus souvent l'homme change les conditions du milieu vers et parfois au-delà de la limite de rupture, soit par surcharge, soit par suppression de la butée en pied

- **La nature des terrains**

La nature des terrains est un des principaux facteurs d'apparition de ce phénomène tout comme l'eau et la pente. La très grande majorité des glissements apparaissent dans des terrains argileux ou dans des formations grenues suffisamment chargées en argile pour que ce

matériau impose son comportement. La prédisposition au glissement des terrains fins et argileux tient d'abord du rôle que peut jouer l'eau sous ses diverses formes [14]

- **Les actions mécaniques externes**

La pente du versant, les fouilles et affouillements au pied du versant, le déboisement du site et la surcharge déposée sur une pente, peuvent avoir des conséquences sur la stabilité des terrains comme la suppression de la butée de pied de versant. La suppression de la butée de pied peut avoir plusieurs origines :

* Par terrassement

* Par affouillement ou érosion régressive

* Par dragage : fouille réalisée sous l'eau

*Implantation des surcharges sur un versant

Il peut s'agir d'un remblai (route, terrasse...etc.), d'un immeuble fondé superficiellement, d'un mur de soutènement, d'une décharge, d'un stockage, d'un gros engin de chantier…etc. Lorsqu'elles sont placées en haute ou à mi- pente d'un versant, les surcharges sont fréquemment à l'origine d'un glissement de terrain. A l'inverse, les surcharges de pied de versant, parle couple stabilisateur qu'elles apportent accroissent pratiquement toujours la stabilité du site.

- **Actions sismiques**

Les séismes, par la mise en vibration des éléments du sol et la modification des conditions de pesanteur peuvent être à l'origine de la déstabilisation des masses en place.
nous avons vu également dans les milieux meubles saturés, un séisme donnant naissance à une pression interstitielle qui peut entrainer la liquéfaction instantanée, partielle ou totale du milieu.

- **Action de déboisement**

Le déboisement d'un versant entraine fréquemment, l'apparition de glissement de terrain. Il désorganise le terrain en profondeur et favorise ensuite la pénétration des eaux dans la masse. le rôle stabilisateur des arbres tient à plusieurs facteurs :

* L'ancrage par les racines

* Le drainage par évapotranspiration

* La rétention des eaux de pluie : l'eau retenue par des feuilles et la couverture du sous-bois.

* La protection contre l'érosion.

❖ **Actions anthropiques**

L'action anthropique qui influe sur l'aléa : lors des chantiers de construction, les opérations de terrassements peuvent entraîner la suppression d'une butée de pied stabilisatrice d'une masse de terrain, ou bien augmenter la pente d'un versant composé de matériaux pas assez cohérents pour cette nouvelle topographie. Le remblai engendre une surcharge pouvant déclencher ou aggraver un glissement.

I.6. Des exemples de glissement de terrain dans le monde

I.6.1.Les coulées boueuses à Rio de Janeiro

Appeler aussi "glissements de terrains liquides" qui sont très souvent la conséquence de la déforestation. La couche superficielle du sol, soumise à de fortes précipitations, se décroche et glisse en masse visqueux le long de la pente.



Figure (I-12) : Coulée de boue dans la région de Rio, ont fait 205 morts [15] :

Les favelas (bidonvilles) qui poussent comme des champignons sur les collines autour de Rio de Janeiro y sont particulièrement exposés. Les coulées sont caractérisées par le transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide, sur les versants ou dans le lit des torrents (thalweg).

souvent rapides et extrêmement dangereuses, les coulées sont déclenchées par un excès d'eau (pluies exceptionnelles, fonte des neiges ou d'un glacier…etc.)[16]

I.6.2. Chutes de blocs

Les chutes de blocs proviennent de la dégradation d'une falaise ou d'un versant rocheux



Figure (I-13) :Une "écaille" rocheuse Maupas. France : [17]

I.6.3. Cavité souterraine

Il s'agit de cavité naturelle lentement rongée par l'eau durant des millénaires ou de carrière souterraine ayant servi à l'extraction de minerai et de matériaux de construction, il est évidemment plus dangereux de vivre au-dessus d'un trou qu'à côté



Figure (I-14) : Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse Barge ment:[16]

I.6.4.Le tassement différentiel

Le sous-sol de la terre regorge de rivières, de lacs souterrains et de nappes phréatiques qui participent activement au cycle de l'eau. Dans les régions humides (marais, marécages, lagunes…etc.), certains sols argileux ou tourbeux peuvent gonfler et se tasser sous l'effet de l'eau ou, au contraire, de la sécheresse. Dans les deux cas, ceci a de graves conséquences pour les constructions si on n'y prend pas garde. La tour de pise est un exemple de bâtiment

construit sur un sol compressible et dont l'édification a posé des problèmes à des générations d'architectes**. [18]**



Figure(I-15) : La tour de pise [Italie 1990] :[18]

I. 6.5.Eboulement : (Falaise de Belle Fontaine)

Un éboulement tel que celui du 17 octobre 1991 à Belle fontaine en Martinique peut être cité en exemple, d'une part de l'impossibilité d'empêcher le déclenchement du mécanisme, et d'autre part de ce qui peut être entrepris en matière



Figure(I- 16): l'éboulement de la falaise de Belle Fontaine [1991] : [18]

I.6.6. Le glissement de terrain : à MUSSEAU, impasse Avalon

Le 17 novembre 2008, un phénomène spectaculaire survenu à l'impasse **Avalon Museau**(Haut de Delmas). Il résulte de l'effet conjugué :

d'une augmentation de surcharges sur un sol pas assez résistant.

de circulation abondante d'eau dans le sol par infiltration d'eau due à des crues exceptionnelles. de l'effet d'un mouvement gravitaire d'une diminution de la résistance et de la cohésion du sol. Le glissement de terrain de l'impasse Avalon étant très localisé, il n'y a pas lieu d'évoquer l'hypothèse de séisme comme facteur indirect.



Figure (I-17) :Vue aérienne sur la localisation de l'impasse Avalon. Source: Bureau des mines et de l'énergie direction de la géologie et des mines service des mines ; 2008.



Figure (I- 18) : Le glissement de terrain à l'impasse Avalon Musseau. [19]

I .6.7. Le glissement de terrain (la Salle en Beaumont « Isère ») France.

La dénivelée du glissement est de 110m et la niche d'arrachement laisse apparaître des dalles de calcaire fissuré avec de nombreux écoulements d'eau. La pente naturelle du versant était à l'origine d'environ 25° dans le tiers supérieur et 13° à 15° dans les deux tiers inférieurs

en 1994, survenait un glissement de terrain important, une surface de 7 hectares de la Combe des Parajons sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 10 m. Dans sa progression très rapide, le glissement a détruit six habitations, en faisant quatre victimes, coupant la route nationale RN85, barrant le ruisseau de la Salle, avec formation d'un lac qui a inondé quatre maisons. finissant sa course sur l'église du village qu'il a partiellement détruit.les deux tiers inférieurs.

après glissement, la pente moyenne était de l'ordre de 10 à 15°. Le paramètre déclenchant semble de toute évidence l'accumulation d'eau faisant remonter la charge hydraulique et créant des pressions insupportables sur les niveaux argileux de couverture et pouvant aller jusqu'au soulèvement, puis glissement.



Figure (I- 19) : Glissement de terrain de la salle en Beaumont Isère :[20]

I. 6.8. Glissement de terrain des grands vents sur la rocade d'Alger

Il s'agit d'un glissement de terrain sous forme d'une coulée de boues qui a atteint la voie rapide reliant la ville d'Alger à sa banlieue Ouest, qui est un axe routier à fort trafic. Parmi ces causes de déclenchement on a :

* L'existence, en amont de la zone, de fondations abandonnées qui forment des cavités de dimensions relativement importantes. Celles-ci jouent le rôle de lagunes. En effet ces

Cavités sont remplies d'eau. Cette eau alimente en permanence la zone déstabilisée



Figure (I-20) : Stagnation des eaux en amont dans des fondations abandonnées [22]

I.6.9. Retrait et gonflement des argiles de la Wilaya de M'silla

Un recensement des sinistres sécheresses a été effectué sur une période de dix ans (1989 à 2000) par l'organisme de contrôle technique des constructions CTC, auprès des différentes communes de la de la Wilaya de M'sila et a montré que les communes les plus atteintes par le phénomène de retrait gonflement sont les communes du Nord: Ain el Hadj el, Berhoum, chellal, Hammam Dhalaa, Maadid, M'sila, OuledAddiGueballa, Sidi Aissa, Sidi Hadjras



Figure(I- 21) : fissuration des poutres et des murs à Ain Hadj el. [22

I.7. L'impacte de glissement

I.7.1. L'impact de glissement terrain sur les personnes

Les grands mouvements de terrain étant souvent peu rapides, les victimes sont, fort heureusement, peu nombreuses. En revanche, ces phénomènes sont souvent très destructeurs, car les aménagements humains y sont très sensibles et les dommages aux biens sont considérables et souvent irréversibles. Les bâtiments, s'ils peuvent résister à de petits déplacements, subissent une fissuration intense en cas de déplacement de quelques

centimètres, seulement. Les désordres peuvent rapidement être tels que la sécurité des occupants ne peut plus être garantie et que la démolition reste la seule solution.[8]

les mouvements de terrain rapides et discontinus (effondrement de cavités souterraines, écroulement et chutes de blocs, coulées boueuses), par leur caractère soudain, augmentent la vulnérabilité des personnes. Ces mouvements de terrain, ont des conséquences sur les infrastructures (bâtiments, voies de communication …), allant de la dégradation à la ruine totale. Ils peuvent entrainer des pollutions induites lorsqu'ils concernent une usine chimique, une station d'épuration… Les éboulements et chutes de blocs peuvent entrainer un remodelage de paysage ; par exemple l'obstruction d'une vallée par les matériaux déplacés engendrant la création d'une retenue d'eau pouvant rompre brusquement et entrainer une vague déferlante dans la vallée. Pour les mouvements lents, il n'y a pas de risque humain direct et leurs conséquences sont essentiellement socio-économiques ou d'intérêt public. Ce sont des dommages structurels très importants qui mènent à la ruine ou de fréquents arrêts de péril et d'évacuation (destruction totale ou partielle d'ouvrages de construction : habitations, infrastructures routières…). de façon indirecte, ce sont des perturbations au niveau de l'activité et des pertes financières importantes.

I.7.2. L'impact de glissement terrain sur le cadre bâtit

I.7.2.1.vulnérabilité du bâtiment au glissement de terrain

En général, le glissement de terrain se caractérise d'une part par sa variation dans le temps et dans l'espace, il est fonction non seulement de la zone de mouvement et de la densité de la population, et d'autre part au niveau du développement économique et des moyens pour résister à cette crise. Naturellement, la catastrophe sera d'autant plus grande que le glissement soit proche d'un centre urbain, ou bien que son intensité soit plus au moins importante, tout comme la densité de la population et le niveau social de la ville. Cela représente donc plusieurs facteurs à considérer.

I.7.2.2. Risque et vulnérabilité au mouvement de terrain

On définit la Vulnérabilité au mouvement de terrain par le degré d'endommagement pour différents évènements. La vulnérabilité dépend des caractéristiques physiques et géométriques des bâtiments. La vulnérabilité représente le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un glissement de terrain

I.7.2.3. Les différents types de vulnérabilité

Il existe deux types de vulnérabilité qui sont comme suit :

- **La vulnérabilité directe :**

Elle est définie à partir des constructions occupant un territoire donné, décrite en termes spatiales et fonctionnels à usage d'habitation ou établissement recevant du public. Elle doit aussi être décrite en termes de densité et de types d'occupation**.[22]**

- **La vulnérabilité indirecte :**

Tout ce qui concerne les axes de communication, est un facteur important de la vulnérabilité indirecte. Ce type de vulnérabilité est de plus loin le plus difficile à mesurer ; jusqu'à maintenant, elle n'a été que rarement prise en compte dans les études concernant les risques naturels, tout comme la vulnérabilité directe

Conclusion

A l'instar de ce qui a été développé dans ce chapitre, il se dégage que les mouvements de terrain sont des ennemis redoutables, dans la mesure où leurs caractères imprévisibles et violents représentent un danger pour la vie humaine et les biens. Dans ce cadre et à travers notre recherche sur ce phénomène il est relevé deux types de mouvements bien distincts et qui sont les mouvements lents et rapides.

ce qui a été exposé dans ce chapitre concerne le glissement et ses effets. Dans le cadre de notre étude il est nécessaire d'avoir des connaissances sur le phénomène de glissement pour entamer la partie stabilité d'un sol potentiellement sujet à des glissements.

CHAPITRE II

❖ *Techniques de traitement des sols*

II.1.Introduction

Cette méthode est utilisée sur des terrains dont le tassement va se prolonger durant plusieurs années. On applique généralement ces méthodes sur des mauvais terrains de composition principalement argileuse. Le principe consiste à surcharger le terrain afin qu'il se tasse naturellement. Le pré chargement des sols s'opère selon les mêmes principes dans le cas des sols fins ou grenus. Le mode de réalisation est le même, mais la perméabilité élevée des sols grenus permet d'obtenir l'amélioration souhaitée dans des délais beaucoup plus brefs que les sols fins et surtout argileux. préchargement, en essayant d'obtenir par avance une partie au moins des déformations de fluage

II.2. les Techniques de traitement des sols

II.2. 1. Les techniques de traitement à longue durée

II.2.1. 1. Pré chargement

Cette méthode est utilisée sur des terrains dont le tassement va se prolonger durant plusieurs années. On applique généralement ces méthodes sur des mauvais terrains de composition principalement argileuse. Le principe consiste à surcharger le terrain afin qu'il se tasse naturellement. Le pré chargement des sols s'opère selon les mêmes principes dans le cas des sols fins ou grenus. Le mode de réalisation est le même, mais la perméabilité élevée des sols grenus permet d'obtenir l'amélioration souhaitée dans des délais beaucoup plus brefs que les sols fins et surtout argileux. pré chargement, en essayant d'obtenir par avance une partie au moins des déformations de fluage

- **Principe de la méthode**

Cette technique consiste à placer sur le terrain une charge égale à la charge définitive *pf* augmentée éventuellement d'une surcharge *ps* qui assure tout ou partie des effets suivants principe du pré chargement pour le contrôle des tassements [24]

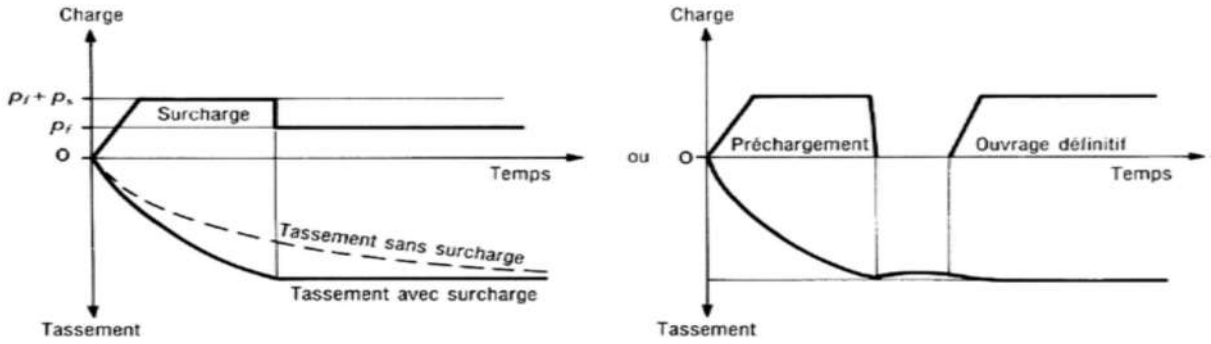


Figure (II-1): Représentation principe de pré chargement pour le contrôle des tassements [25]

Produire un développement rapide des tassements de consolidation primaire et accéléré l'apparition et le développement des tassements de compression secondaire ,on peut rendre ainsi le sol traité plus rapidement constructible, sans redouter à moyen ou à long terme des tassements absolus ou différentiels importants augmenter la résistance au cisaillement et la capacité portante du massif de sol, ce qui peut être utilisé pour une construction par étapes.

- **surcharge en terre**

Lorsqu'un projet est déterminé, on met en place sur le terrain un volume de remblai correspondant a la future charge de l'ouvrage. Sur des sols saturés à très faible perméabilité, ce procédé va permettre l'évacuation de l'eau interstitielle du terrain. La qualité du tassement est directement proportionnelle à la durée du pré chargement. De plus, la lenteur des phénomènes permet le déchargement du terrain pendant la construction sans risque de gonflement et de retour a l'état initial du terrain (phénomènes élastiques). Lors de la mise en place de ce procédé, une couche de sable est préalablement installée pour épouser les déformations du sol sous jacent et contribue a l'évacuation de l'eau qui peut arriver a la surface. Sur des sols très peu perméables, on peut associé le pré chargement a un réseau de drains verticaux afin de faciliter l'évacuation de l'eau. Avec un repère préalablement fixé, on mesure régulièrement le tassement du sol et, lorsqu'il a atteint une valeur considérée acceptable, on peut décharger et exécuter la construction des fondations superficielles. En général, si la hauteur du mauvais terrain dépasse 5 mètres, on prévoit après le chargement un système de fondation en radier car il reste des risques de tassement différentiels.

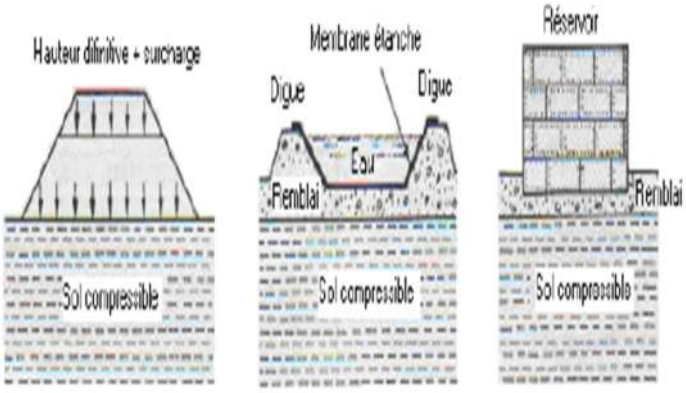
- **Consolidation atmosphérique**

C'est une variante du pré chargement par du remblai. Cette méthode est de type isotrope. Elle permet une amélioration des caractéristiques du sol et la rupture et le fluage latéral sont

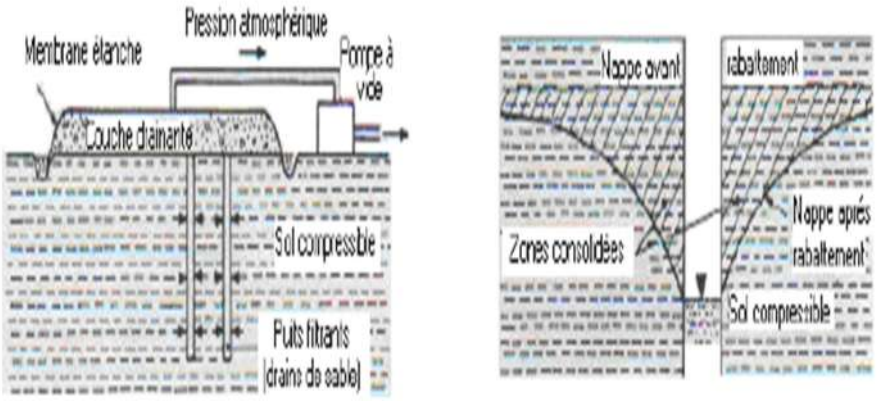
impossibles. Le terrain est recouvert par une membrane étanche sous laquelle on fait le vide le sol est ainsi chargé par la pression atmosphérique. Ce système est toujours couplé a un réseau de drainage vertical et parfois horizontal.

- **Paramètre d'exécution**

Lors de l'exécution du projet après un pré chargement, il faut tenir compte de la décompression des terrains entre les points d'appuis de l'édifice en intégrant, par exemple, des petits vides sanitaires (hauteur décimétrique). pour tous les travaux de chargement dont la durée est mensuelle, il faut prendre des précautions avec le mouvement annuel des nappes. La qualité du tassement sera différente en fonction de la hauteur du niveau piezométrique le contrôle de l'amélioration du sol est réalisé en général au moyen d'essais au pénétromètre ou au pressiomètre régulièrement répartis sur le site, et comparés à des essais réalisés avant traitement dans les mêmes zones. On peut aussi contrôler l'augmentation de la densité du sol en réalisant des diagraphies



A-chargement par remblais ou par réservoir



B-chargement par application du vide C-chargement par rabattent de nappe

Figure (II-2) : Représentation technique de pré chargement [25]

II.2.1.2. Le renforcement des sols par inclusion rigides

- **Définition du renforcement par inclusions rigides verticales**

Le renforcement par inclusions rigides verticales est envisagé pour des ouvrages de types remblais, dallages, silos….lorsque le sol est trop compressible pour supporter sans tassements importants l'ouvrage à construire. On caractérise le renforcement par inclusion rigides verticales par la combinaison entre les inclusions qui assurent le renforcement et une plateforme de transfert de charge disposée entre le réseau d'inclusions et l'ouvrage ; cette plateforme assure la répartition de la charge entre les inclusions et le sol compressible (figure **(II-3)** .les inclusion peuvent être de différentes natures et construites par différentes méthodes que nous détaillerons par la suite ,ce type de fondations peut être défini par le fait que la charge s'applique simultanément aux têtes d'inclusions et au sol compressible, ce qui la différencie des méthodes de fondations traditionnelles .le dimensionnement du réseau d'inclusions et de la plateforme de transfert de charge doit être tel que la part transmise aux inclusion soit beaucoup plus grande que celle transmise au sol. (CNAM. « le renforcement des par inclusion rigides..)



Figure (II-3) : Réseaux d'inclusion rigides :[26]

Le rôle des inclusions est de transmettre la charge due au poids de l'ouvrage et les charge de service vers le substratum afin de réduire ou même annuler les tassement pour cela.les inclusions sont posées sur la couche dure ou légèrement ancrées dans celle -ci .les inclusion Peuvent aussi être coiffées par une tète plus large afin d'augmenter le taux de couverture et optimiser l'efficacité du dispositif .les inclusions sont mobilisées d'une part par la charge directement appliquée sur leur tête mais aussi par l'effet d'accrochage du sol encaissant lorsque celui-ci tasse sous le chargement appliqué par le poids de l'ouvrage la plateforme de transfert de charge a un rôle tôt aussi important puisque les mécanismes assurant la répartition de la charge s'y développent. Cette plateforme peut être composée de matériaux granulaires traités ou non traités : elle peut être renforcée ou no par une ou plusieurs nappes géo synthétiques : sa hauteur ses caractéristiques mécaniques sont des paramètres importants vis-à-vis du développement des mécanismes de transfert de charge

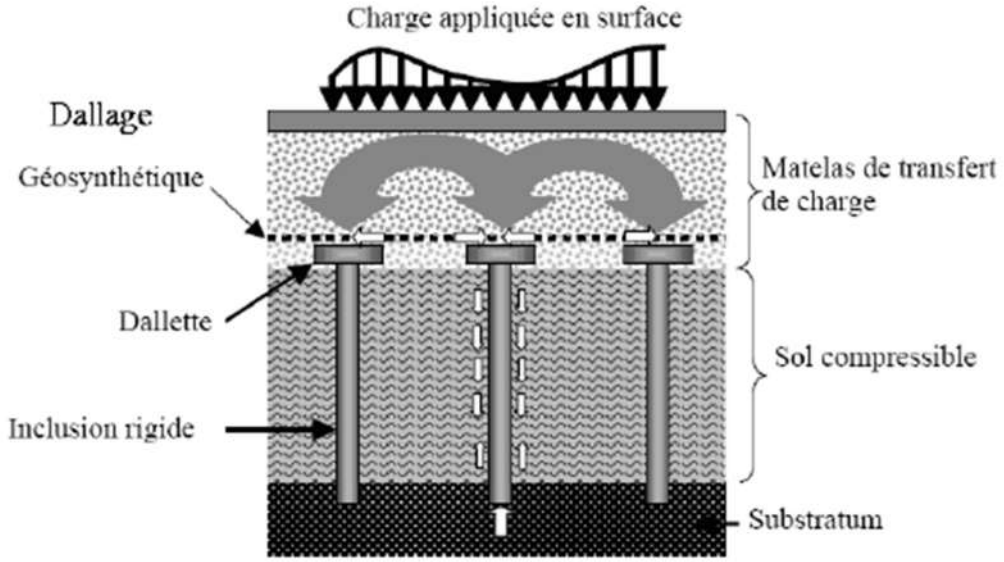


Figure (II-4) : Schéma de principe d'un renforcement par inclusions rigides verticales :[27]

II.2.1.3. Vibrocompactage (ou vibroflottation)

Cette technique s'applique aux sols granulaires non cohérent tels que sables et grives la vibration engendrent un phénomène localisé de liquéfaction sous l'effet des surpressions inertielles, qui met les grains du sol dans un état liquéfié.les grains se réarrangent en un état plus dense .le maillage des points de compactage dépend des caractéristiques initiales et des objectifs à atteindre : il est défini après réalisation des planches d'essais.la maille retenue doit conduire à un traitement le plus uniforme possible. La résistance du sol après traitement dépend de la granulométrie du terrain et de l'adéquation du type de vibreur

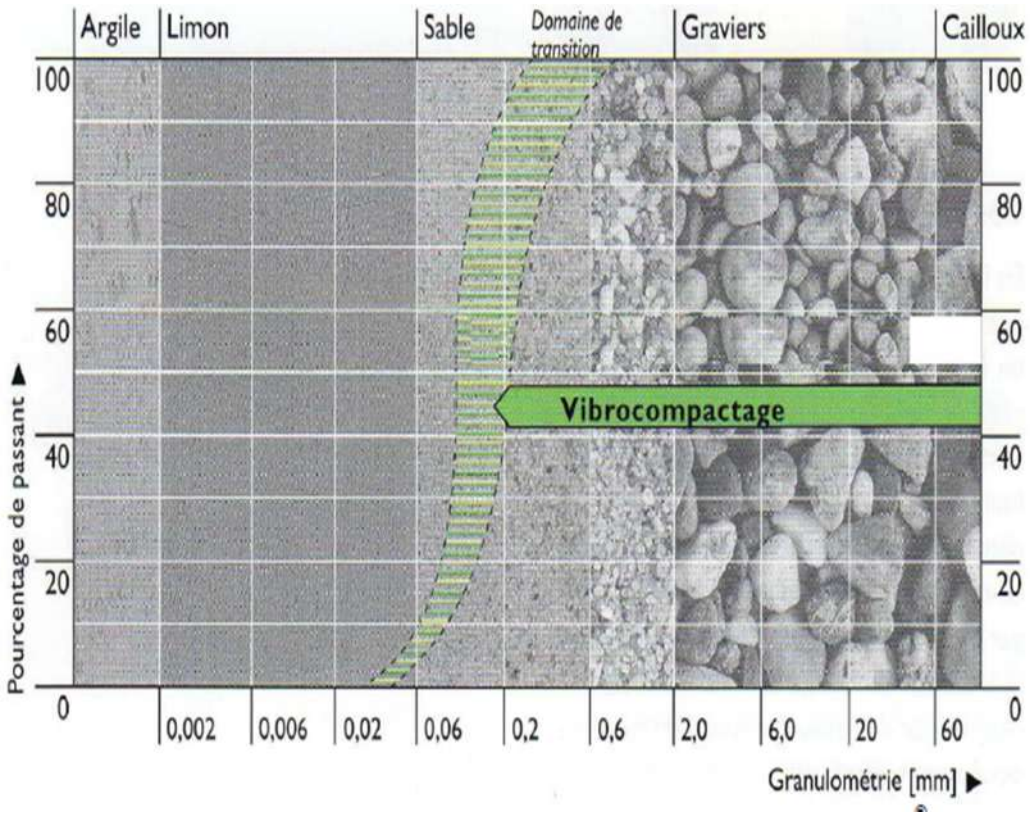


Figure (II-5) : Domaine d'application du vibrocompactage :[27]

- **planches d'essais**

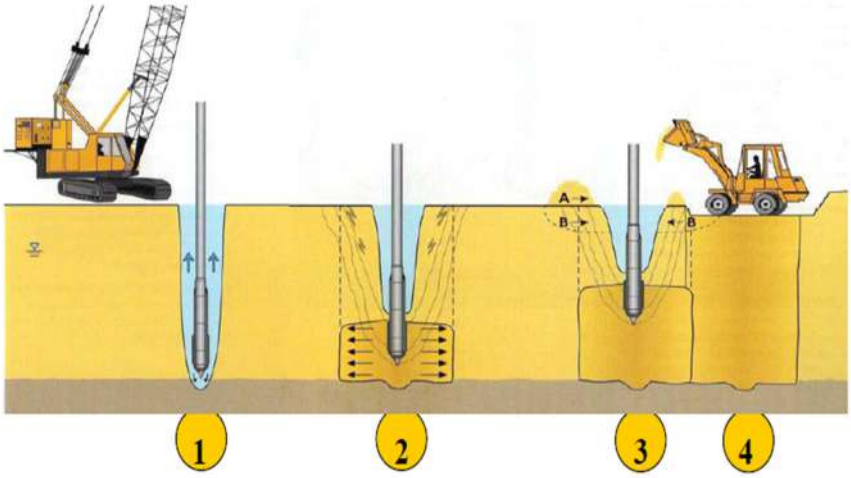
Dans le cas de vibrocompactage ,il n'existe pas de formules qui le maillage nécessaire pour le traitement pour le traitement du sol. On réalise donc des planches d'essais :on divise le terrain à traiter en petites parcelles (exemple 30m×60m)ou' , pour chacune, on réali

- Une reconnaissance géotechnique avant traitement ;
- Traitement du terrain suivant différents maillages ;
- Une reconnaissance géotechnique identique à celle réalisée avant ,pour définir l'amélioration obtenue de la compacité

chaque parcelle est divisée en parties (mailles), ou on fait un traitement en variant :

- La profondeur du traitement
- L'intensité du vibreur,

on retient ainsi la maille qui un traitement optimum (compacité atteinte avec le maillage le moins serré) qu'on généralise sur tout la surface à traiter



Figure(II-6) : Mode opératoire du vibrocompactage :[27]

- **Phase 1 : Fonçage**

On réalise le compactage en masse des sols grenus à l'aide de vibreurs spécifiques à basses fréquences, 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 les outils sont suspendus à des grues, mais peuvent aussi, pour de faibles profondeurs être montés sur porteurs

- **Phase 2 : Compactage**

Le compactage est alors réaliser par passes successives de bas en haut en remontant l'outil selon des critères déterminés par des essais préalables. Le volume compacté est un cylindre de diamètre pouvant atteindre 5m . L'augmentation progressive de l'intensité consommée par le vibreur permet de mesurer la croissance de la compacité du sol

- **Phase 3 : Apport de matériaux**

Autour du vibreur apparait 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

apport au volume traité

- **Phase 4 : Finition**

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



Figure (II-7) : Le cône d'affaissement autour du vibreur [27]

II.2.1. 4. Colonnes ballastées

Les colonnes ballastées consistent dans le renforcement par compactage et incorporation de matériau granulaire, d'un terrain dont les caractéristiques sont insuffisantes pour une fondation direct sur le sol de charges réparties ou ponctuelles .la colonne ballastée agit comme élément porteur et comme drain vertical.

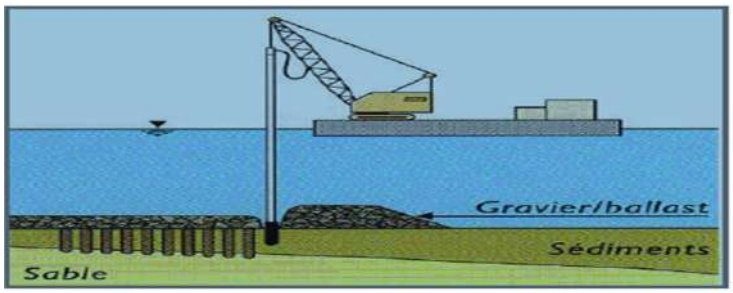


Figure (II-8): Représentation d'un schéma du procédé des colonnes ballastées [27]

- **Aspects géotechniques**

Contrairement au vibrocompactage, on ne considère pas départ d'amélioration de compacité ente colonne, même si celle-ci existe dans certains cas l'amélioration repose sur la réalisation d'inclusion et report de charges, augmentent la capacité portante du sol en diminuant et maitrisant les tassements

- **Domaine d'application**

Les colonnes ballastées sont utilisées pour améliorer les sols très faibles à médiocres (sables limoneux, limons, limons argileux ,argiles, remblais hétérogènes, etc…….)

II. 2.1.5. Le compactage dynamique (ou pilonnage)

- **Objectifs**

Le compactage dynamique vise l'amélioration des propriétés géotechnique de sol lâches sur de grandes profondeurs par l'application d'impacts de très forte intensité



Figure(II-9) : Exemples de chantiers de compactage dynamique : [28]

- **Description du procédé**

Le procédé consiste à faire de façon méthodique et répétée à la cadence de une à trois fois par minute et selon un maillage orthogonale défini par apport à la nature de terrains de lourds pilons d'acier sur la surface du sol à traiter .les impacts qui en résultent créent de puissantes ondes de choc qui se propagent en profondeur provoquant le resserrement des sols traités et l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques. à l'aide de puissantes grues sur chenilles adaptées, les pilons sont levés pour ensuite retomber en chute quasi-libre.la masse de ces pilons varie généralement entre 10 et 18 tonnes métriques .mais avec un système de levage spécial elle peut être portée à 30 tonnes ou davantage pour augmenter la profondeur du traitement. La hauteur de chute varie habituellement entre 10 et 30 mètres au dessus de la surface de travail.

- **Domaines d'application**

L'utilisation la plus fréquente du compactage dynamique, et celle susceptible de générer les plus importantes économies de temps et couts, concerne l'amélioration des sols pour la construction d'un dallage sur sol et de fondations superficielles pour bâtiments ou autres ouvrages de génie civil. Le compactage dynamique remplace souvent l'excavation et le remplacement des sols en place ainsi que les fondations profondes avec des inclusions rigides cette technique est un moyen efficace pour densifier profondément les terrains compressibles, et permettant de gagner sur la mer (exemple : de l'aérodrome de Nice)ou de réaliser des sous-couches convenant à des dallages de bâtiment industriels ou de centres commerciaux.la

consolidation est associée à des systèmes de drainage, en particulier pour les sols fins, permettant ainsi de réduire les temps de dissipation des pressions interstitielles



Figure(II-10) : Chantier de compactage dynamique : [28]

Le compactage dynamique est également utiliser pour :

- Support faible pour fondations superficielles de tous types de structures par l'amélioration de la caractéristique de portance et la satisfaction des critères de tassement total et différentiel sévères ;
- Assure la bonne tenue du revêtement dans les aires de stockage ou de manutention de matériaux hautement chargées, telles celles des entrepôts, pistes d'aéroport, terminaux de matériaux hautement chargés ,telles celles des entrepôts, d'aéroport, terminaux de conteneurs ,etc.,
- Réduire le potentiel de liquéfaction des sols dans les zones à haute sensibilité

II.2.1.6. Technique de l'injection

L'application des injections, il y a quelques années était limitée aux terrains très perméables (graviers et sables) ou aux roches fracturées, pour améliorer les caractéristiques mécaniques des sols fins ou grenus,

- consolider,
- l'étanchement des sols
- la réfection des ouvrages.

le matériel d'injection normalement utilisé consistait en un mélange eau-ciment, éventuellement stabilisé avec de l'argile ou de la bentonite. Aujourd'hui avec l'aide de nouvelles technologies d'injections sous pression et de nouveaux mélanges, il est possible de traiter des terrains de perméabilité moyenne-basse (jusqu'aux sables fins). Ces évolutions récentes des techniques d'injection, l'utilisation de nouveaux coulis et la maîtrise du contrôle

des travaux ouvrent de nouvelles possibilités aux concepteurs dans l'élaboration de leurs projets.

❖ **Domaines d'application**

Quelques types d'injection appliquée, selon la classe du sol à traiter (sols fins ou grenus):

- Injection de consolidation
- Injection d'étanchéité
- Injection de bourrage et de collage
- Injection de comblement
- Injection solide

Ces techniques se font sous pression ou par un maillage de forages très serrés soit : par

➢ **Forages horizontaux :**

(ex : les tunnels), à l'intérieur des tunnels, lorsque la surface n'est pas accessible ou que les ouvrages sont très profonds. dans ce cas, il faut traiter dans un premier temps, puis creuser, puis refaire un traitement sur une certaine longueur, puis recreuser sur cette même longueur, car on ne peut creuser que dans le terrain consolidé, par

➢ **Forages verticaux :**

Traitement depuis la surface (ex : à la ville), on creuse souvent à faible profondeur. alors le chantier d'injection se déplace en surface en précédant le tunnel. Mais le problème en ville pour traiter depuis la surface est un problème d'espace.



Figure (II-11) : représentation l'application de la technique d'injection :[23]

❖ **Principe et l'objectif de cette technique**

L’injection de comblement vise à remplir des vides souterrains, pour éviter leur effondrement, et à traiter les fontis des terrains de couverture… Ces vides peuvent être d’origine naturelle (grottes, ...) artificielle (mines, carrières, souterrains...).

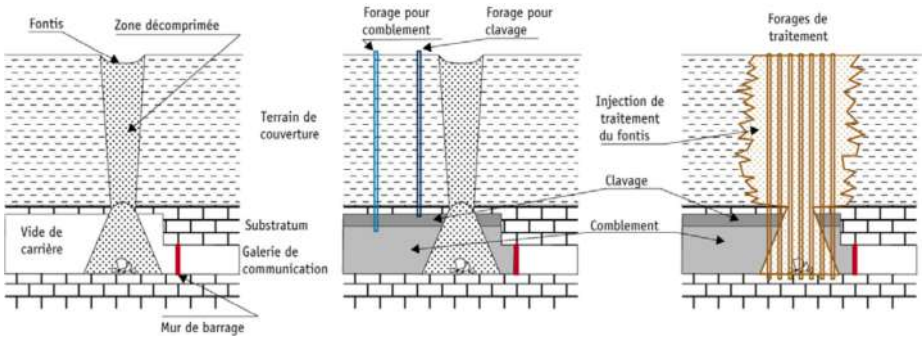


Figure (II-12) : Représentation les phases d’injection

I.2.1.7. Drainage :

Le drainage vertical est une technique complémentaire des techniques de pré chargements. Il permet une consolidation plus rapide du sol.

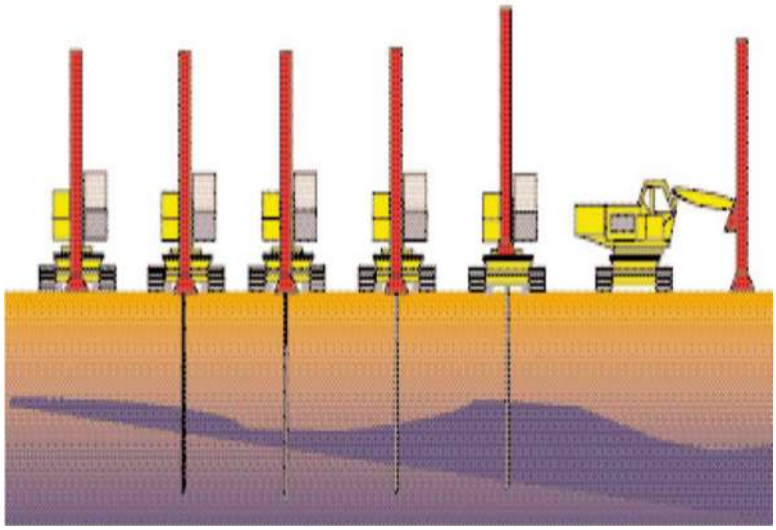


Figure (II-13) : Représentation d’un drainage vertical

le drainage vertical s'applique aux terrains peu perméables et permet d'augmenter considérablement leur vitesse de consolidation. Les drains verticaux sont utilisés pour l'amélioration de sols saturés en eau (ex : terrains silt eux ou argileux). 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 de pré chargement

Les drains verticaux en plastique souple plats ou cylindriques, peuvent atteindre des profondeurs de 40 mètres ou plus. Selon la nature et la composition des terrains à traiter, les drains peuvent être également réalisés sous forme de colonnes de sable ou de granulats.
pour la création d'une autoroute au Maroc près de Rabat plus de 630 km de drains ont été insérés dans le sol.

- **Rabattement temporaire**

Il est utilisé dans le cas de fouille dans des terrains naturellement aquifères. Si la nappe a une faible alimentation ou une circulation lente, la cavité terrassée jouera elle-même le rôle de drain. dans ce cas on réalise des rigoles au fond de la fouille qui canalisent les venues vers u ou plusieurs puisards équipés d'une pompe. On peut aussi tenter de réduire les venues d'eau par un drainage extérieur au chantier ou par le détournement des eaux superficielles. Un rabattement préalable par pompage est indispensable si la filtration de l'eau vers la fouille risque de compromettre la stabilité des talus en cours de creusement. Il est cependant nécessaire avant tout rabattement de **connaître avec précisions les**
Points suivants :- **le rabattement** atteindra-t-il ou non le niveau d'un substratum imperméable - quelle est la **perméabilité** moyenne du terrain aquifère ? - dans le cas d'une hétérogénéité verticale de celui-ci, la variation de la perméabilité se fait elle dans le sens croissant ou décroissant jusqu'au niveau exigé par le rabattement

- **Rabattement permanent**

Il peut être réalisé par drainage. Ce procédé a déjà été évoqué pour le traitement des mouvements de terrain sur versant. Les techniques sont les suivantes : - **les pierrées ou saignées** sont des tranchées, tracées selon la ligne de plus grande pente, pénétrant profondément dans un talus ou un versant naturel et remblayées en pierres sèches. **les drainages par forages horizontaux** sont applicables si le terrain est suffisamment cohérent. Ils sont équipés d'un tube métallique ou plastique, trépigné dans sa partie supérieure.



Figure(II-14) : réalise des drainages par pompage dans des rangées de puits filtrants

Ce procédé, simple, concerne les sols ayant une faible cohésion et des fortes teneur en eau. Le drainage de ces terrains va permettre une accélération du tassement naturel du sol par son propre poids. La plupart du temps, cette opération est irréversible. Sur le terrain, la réduction de la teneur en eau peut s'effectuer: par des barrières étanches en amont de la zone de construction tels que des rideau de palplanches, des parois moulées, des drains horizontaux...par un réseau de puits de pompages permettant un rabattement suffisant du niveau piézométrique de l'aquifère. L'eau dans une fouille peut provenir des eaux de ruissellement extérieures et de celles survenant par les parois et le fond de la tranchée

II.2.2. Technique de traitement temporaire

II.2.2.1. Technique de traitement par congélation

a) Introduction

La congélation des terrains aquifères instables est un procédé ancien, à caractère provisoire, employé pour le creusement de fouilles, de puits ou de galeries, qui permet également le "sauvetage" d'ouvrages à la suite d'incidents (renard, débourrage). Elle rend le sol étanche et résistant. La congélation de l'eau interstitielle d'un sol produit un matériau dont les propriétés sont temporairement améliorées tant que la congélation est entre t'eue la congélation à également pour effet de rendre imperméable le sol et de faciliter les travaux de terrassements au de construction sous les niveaux de la nappe

La méthode de renforcement temporaire des sols par congélation développée principalement pour les matériaux grenus (sables .graviers …) pent être appliquée aux argiles molles et aux

limons lorsque, aucune autre solution n'est possible. l'effet de congélation dépend de la température il au augmente quand la température diminue par ailleurs n il faut réaliser la congélation le plus rapidement possible pour limiter le gonflement du sol et il faut tenir compte la déstabilisation du massif de sol au dégel

b) Principe de méthode

Le schéma de principe du procédé est le suivant :

- exécution de sondages encaissant l'ouvrage a construire, sur la hauteur des couches aquifères, espacement des forages voisins de
- la mise en place de tubes réfrigérants (sondés) : fermés à la leur base, ils continuent des tubes plus petites ouverts à la leur partie inférieure ;
- mise en circulation d'un liquide à basse température arrivant par le tube intérieur et remontant dans l'espace annulaire en empruntant la chaleur au terrain dans encaissant
- congélation progressive des couches autour des ondes, obtention d'une paroi de terrain gelé dur et imperméable
- maintien de cette paroi durant les travaux de génie civil il existe plusieurs méthodes de congélation



Figure (II-15) : la méthode de congélation : [26]

II.2.2.2. Les types des méthode de traitement par congélation

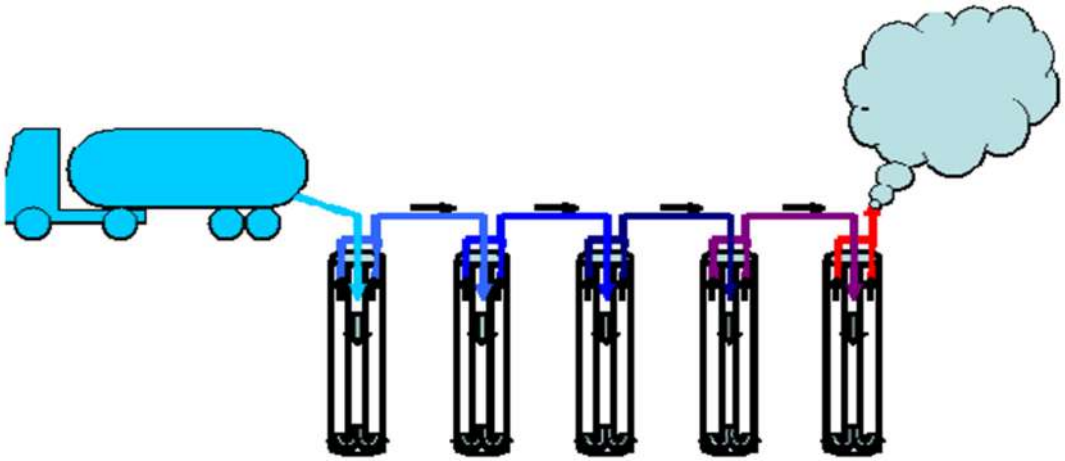
Il existe plusieurs méthodes :

- la méthode ouverte, à l'azote liquide,
- La méthode fermée, à la saumure,

- La méthode dite combinée.

❖ **La méthode ouverte :**

Le liquide réfrigérant est l'azote liquide. Il est transporté au chantier par des camions-citernes spéciaux où il est maintenu à une température de - 196°C sous une pression de 5 bars environ. cette pression sert à assurer la circulation de l'azote dans les sondes. A l'aval de la dernière Sonde une vanne libère l'azote devenu gazeux dans l'atmosphère, à une température de -60°C environ. Le rejet dans l'atmosphère de l'azote gazeux n'est pas une nuisance, même en ville. le rendement cryogénique est de 39 kcal/l pour la chaleur spécifique de vaporisation et de 27 kcal/l pour le passage de -196°C à -60°C. La mise en froid du terrain encaissant est rapide: 2 à 3 jours. Ensuite, on assure simplement l'entretien. La résistance du sol ainsi congelé est généralement élevée: écrasement sous 30 à 50 bars en compression simple. L'inconvénient principal est le coût élevé de la fourniture en azote liquide. La méthode est bien adaptée aux chantiers de courte durée.



Figure(II-16) : Principe de la méthode ouverte :[29]

❖ **La méthode fermée**

Un circuit frigorifique primaire, au moyen de compresseurs et de condensateurs, liquéfie le fluide. En se vaporisant, ce fluide assure le refroidissement du liquide réfrigérant qui circule dans les sondes, en circuit fermé. Le fluide primaire peut être l'ammoniaque ou le fréon. le liquide réfrigérant est généralement une saumure ayant une température d'utilisation variable entre -25 et - 30°C. Dans ce cas, les sondes ont un diamètre plus grand qu'avec l'azote. cependant, la mise en froid demande sou ce pendant, la mise en froid demande souvent 3 à 4

semaines.

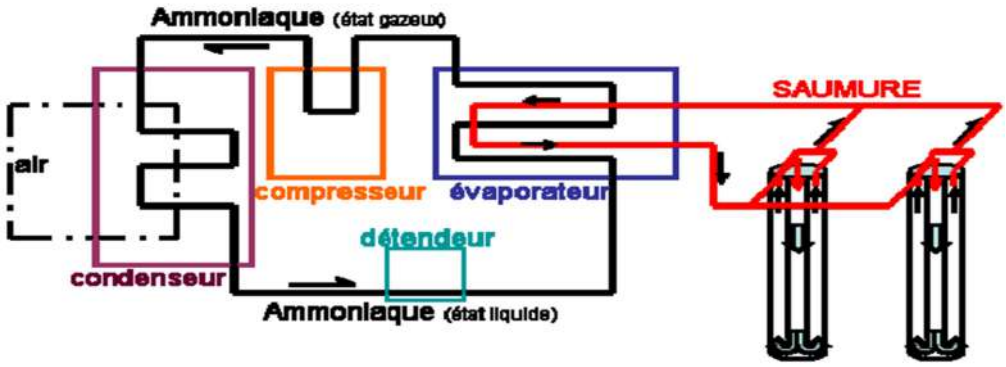


Figure (II-17) : Principe de la méthode fermée :[30]

- **La méthode combinée**

Elle consiste à rendre complémentaires les méthodes précédentes, en utilisant les mêmes tubes congélateurs. On combine ainsi une mise en froid rapide (azote) et un entretien économique (saumure). Souvent, il est nécessaire d'assurer un traitement préalable du terrain par injection. Il s'agit de faire un traitement léger qui a pour objet de fermer les vides ou les circulations importantes, et de consolider un peu le sol. L'avantage est double : économie de frigories (moins de pertes) et sécurité accrue. L'augmentation de volume de l'eau lors de sa transformation en glace peut provoquer des désordres dans le voisinage de la zone traitée et doit être prise en compte lors de l'élaboration du projet de traitement

d) Propriété du sol gèle

le sol congelé est composé d'un squatte solide de sol et d'une matrice poreuse (glace +eau liquide +air le comportement est dépendant des écharnements physiques qui ont lieu en continue au cours du temps et qui sont fonction de la température de l'état de contrainte et des efforts appliqués notons que ces rapports varient suivant le type de sol

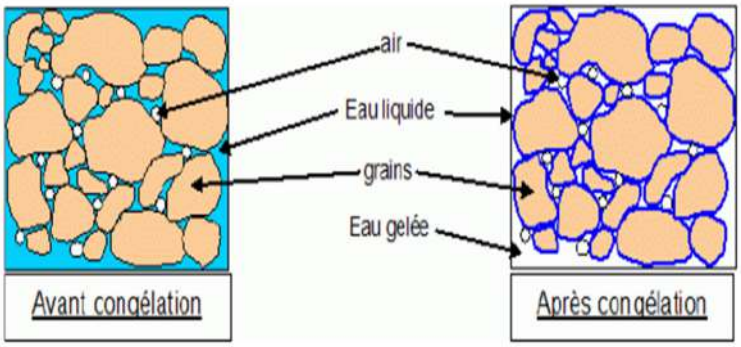


Figure (II-18) : Schéma représentant l'état du sol avant et après congélation

les mécanismes physiques in fluant sur la résistance immédiate ou à long terme dépendent de paramètres :la résistance de la glace la résistance du sol et l'intentes ont tous des caractéristiques thermique très différente érection entre le squelette du sol et la glace . les tests sont habituellement effectués à une température comprise entre -10 et -20 ç ou une température correspondant aux température allant être appliquées sur le chantier dans le sol la transmission de la chaleur dépend des propriétés physiques des particules de leur degré de compacité et de la c teneur en humidité le sol est beau de compacité et de la teneur en humidité le sol est beaucoup plus compliquée que dans un corps solide homogène dont la conductivité thermique et la capacité calorifique sont des paramètres établis bien définis le sol se compose de particules minérales de matières organiques et de pores qui peuvent contenir soit de l'eau soit de l'air ces éléments ont tous des caractéristiques thermique très différentes

- **Angle de frottement interne φ et cohésion** C

L'angle de frottement interne φ pour un sol congelé est égal ou légèrement inférieur au sol non congelé la cohésion d'un sol congelé est logiquement largement supérieure à celle d'un sol non congelé

- **Salinité**

La teneur en sel est bien entendu un facteur non négligeable, qu'il faut mesurer au cas plus la teneur en sel est importante moins le sol congelé sera résistant

- **Teneur en eau w**

Le composant assurant une bonne résistance dans le sol congelé est l'eau qui sera transformée englace autour du processus il est important de connaitre la teneur en eau pour voir si la congélation est applicable

e) Procédé d'exécution

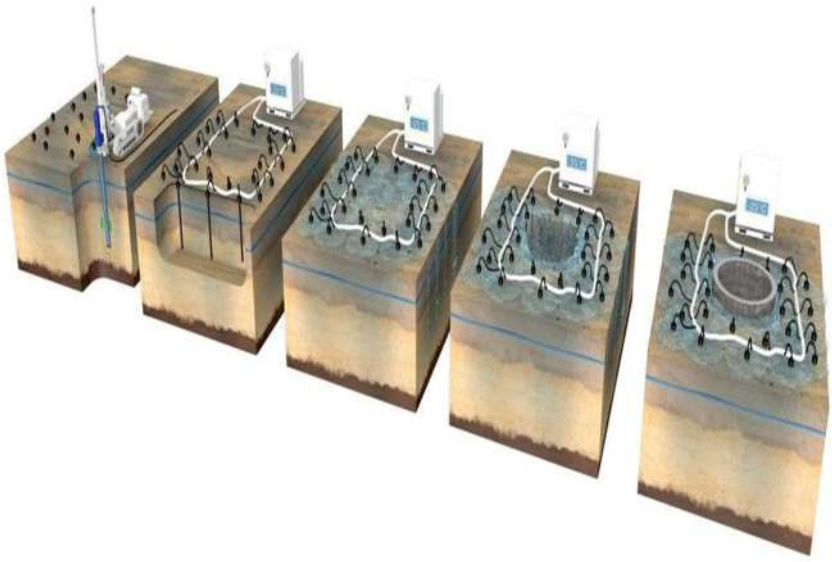
1. Exécution de forages disposés selon le maillage choisi, dans le massif du sol à congeler, sur la hauteur des couches aquifères.

2. Mise en place de tubes congélateurs (tubes réfrigérants) fermés à la base, équipés de tubes intérieurs plus petits ouverts dans leur partie inférieure.

3. Congélation par circulation d'un liquide à basse température (frigoporteur) entrant par le tube intérieur. Le fluide remonte par l'espace annulaire entre le tube intérieur et le tube extérieur et emprunte la chaleur au terrain encaissant.

4. Congélation progressive et radiale du sol autour des tubes jusqu'à formation d'une paroi de glace étanche et stable, correspondant au critère d(-r'3 0e congélation fixé (épaisseur calculée).

5. Phase de maintien: la paroi est maintenue durant les travaux à réaliser.



Figure(II-19) : Représentation de la Mise en place de tubes congélateurs

f) Domaine d'application

- Terrain aquifère ou humide nécessaire, mais pas de courants d'eau importants
- Fouilles complexes dans des environnements et des situations très difficilement accessibles

- Protection pour passage de galerie, puits, galerie de liaison entre tunnels

g) Environnement

- ❖ Espace nécessaire pour le placement de l'installation de congélation importante
- ❖ Attention au gonflement (contrôle des conduites ou structures existantes)
- ❖ Maîtrise de la technologie de mise en œuvre: contrôle rigoureux des opérations, éviter arrêt et redémarrage de l'installation de congélation

h) Spécifications techniques

- La congélation de l'eau souterraine augmente la résistance du sol gelé reprenant ainsi les efforts nécessaires pour la réalisation de l'excavation.
- Un liquide de refroidissement circule dans des tubes forés dans le sol, entraînant la congélation de l'eau retenue dans le terrain.
- Technique onéreuse (voir maintien de la surface gelée durant toute la durée de l'excavation)
- Détermination et connaissance de la conductivité thermique

Conclusion

Les techniques d'amélioration de sols sont très importantes. L'application de ces méthodes nécessite une bonne connaissance du sol à traité (granulométrie, composition, teneur en eau). Il existe un grand de procédés différents, dans ce chapitre ce qui nous intéresse est la technique de traitement temporaire les traitements peuvent avoir un caractère définitif ou provisoire pendant la phase chantier. Ces techniques restent assez onéreuses car il faut des entreprises spécialisées.

CHAPITRE III

- ***Terrain à stabiliser et ses propriétés***

III.1. Introduction

Le comportement du sol dans les constructions est l'un des paramètres dont l'incidence est prépondérante pour les constructions, voir même pour les projets de construction nous savons que le sol est un milieu dont l'exploration est particulièrement difficile, les moyens d'investigation sont ponctuels et leur précision toute relative. L'interprétation et l'extrapolation des résultats d'une compagne de reconnaissance géotechnique, comporte toujours des risques d'erreurs notamment dans les sites très hétérogènes comme c'est le cas du terrain choisit pour notre étude

III.2. Situation géographique de la zone étudiée

Dans le cadre de la réalisation d'un collège base 07 à Gue de Constantine et suite à la demande faite par la direction des équipements publics (DEP) d'Alger , l'unité Oued Smar du laboratoire de l'habitat et de la construction du centre (LHCC) a procédé à l'investigation géotechnique concernant ce projet. les travaux d'investigation se sont déroulés au mois de février puis mars 2014 suite à une visite sur site, effectuée conjointement avec le représentant de la D.E.P d'Alger.

Le terrain destiné à recevoir le collège 07 se trouve à gué de Constantine, il est délimité comme suit

- **Au nord** : logements sociaux OPGI Dar el Beida
- **Al' est :** logements sociaux OPGI dar el Beida
- **Au sud** : logements sociaux OPGI Dar el Beida
- **A l'ouest :** chemin +habitations précaires



Figure(III-1) : Représentation la situation du site prise par Google Earth

On suppose que les travaux relatives à la stabilisation du sol s'effacement au printemps ou la température moyen à la surface du sol est de 15°C en moyenne et en profondeur elle peut être de 10°C

III.3.Les couches du sol [31]

Dans ce projet nous avons fait (05) sondage carottés et un seul (01) forage à la tarière .ces derniers ont révélé la lithologie suivante

- **sondage 01**

Profondeur(m)	**Les couches du sol**
0.00-3.20	Remblais
3.20-4.50	Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron
4.5-5.45	Limon argileux caillouteux beige
5.45-7.00	Argile limoneuse peu sableuse peu graveleuse brunâtre
7.00-11.00	Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron

- **Sondage 02**

Profondeur(m)	**Les couches du sol**
0.00-5,45	Remblais
5,45-12,30	Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron parfois encroutée et avec présence de graves calcaires
12,30-13,00	Argile limoneuse peu sableuse peu graveleuse brunâtre

❖ **Sondage 03 :**

Profondeur(m)	**Les couches du sol**
0,00-6,00	Remblais
6,00-9,70	Argile limoneuse graveleuse graveleuse caillouteuse marron
9,70-11,60	Argile limoneuse graveleuse graveleuse caillouteuse bariolée
11,60-13,00	Limon argileux graveleux à caillouteux marron rougeâtre à bariolé
13,00-15,00	Argile limoneuse sableuse graveleuse à caillouteuse marron

❖ **Sondage 04 :**

Profondeur(m)	**Les couches du sol**
0,00-6,60	Remblais
6,60-7,20	Argile limoneuse graveleuse marron
7,20-8,55	Argile limoneuse graveleuse encroutée marron
8,55-9,50	Argile limoneuse sableuse sableuse graveleuse à caillouteuse marron
9,50-11,10	Graves et cailloux dans une matrice argilo-limoneuse
11,10-12,50	Argile marneuse encroutée bariolée avec un passage de graves
12,50-15,00	Argile limoneuse très graveleuse parfois caillouteuse

❖ **Sondage 05 :**

Profondeur(m)	**Les couches du sol**
0,00-0,60	Remblais
0,60-2,00	Argile peu limoneuse très graveleuse marron
2,00-4,00	Argile marneuse encroutée bariolée
4,00- 6,00	Argile peu limoneuse graveleuse encroutée marron à bariolée
6,00-7,80	Limon argileux graveleux rougeâtre
7,80-10,00	Argile limoneuse très graveleuse à caillouteuse beige

III.4. propriétés physiques du sol

Nous avons fait nos premières études pour le terrain du premier sondage

III.4. 1. Conductivité thermique des composants du sol

Le tableau qui suit regroupe les valeurs de la conductivité thermique des composants du sol.

Tableaux (III-1) :la conductivité thermique des composants des sols

composants du sol	**La conductivité thermique(λ)** $(w/\mathrm{m.k})$
Remblais	**0,9**
Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron	**2,5**
Limon argileux caillouteux beige	**2,0**
Argile limoneuse peu sableuse peu graveleuse brunâtre	**1,9**

Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron	**2,5**

III.4.2. Chaleur spécifique des composants du sol (Cp)

Le sol comme il est montré dans le tableau (III-1) est constitué entre autre par du remblais qui est un matériau hétérogène. Pour trouver la valeur de la chaleur spécifique de remblais nous avons fait la moyenne de ses différents constituants qu'on suppose du sable, argile **,** débris rocheux, substances organiques, dérivés, du bois , plastique , végétaux ……. etc.)

La chaleur spécifique du remblais pourra être pris comme la moyenne des chaleurs spécifiques de ses composants. Cp remblais =1,35 kj/kg °C

Tableaux(III.2) : les valeurs de Cp pour les différentes couche du sol

Le composant de sol	**La chaleur spécifique** *cp*(kj/kg°C)
Remblais	**1,35**
Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron	**1,4**
Limon argileux caillouteux beige	**1,5**
Argile limoneuse peu sableuse peu graveleuse brunâtre	**1,38**
Argile limoneuse graveleuse à caillouteuse marron	**1,4**

En fonction de la profondeur de sondage, l'humidité et la densité des différentes couches du sol varient comme on le voit sur tableau (III-3)

- **La densité sèche du sol vs**

C'est le rapport du poids total du matériau sec contenu dans une matrice de sol au volume de ce même sol, les valeur obtenues de 1,54 à 1,88 t/m^3 permettent de dire qu'il s'agit d'un sol de faible densité

- **La teneur en eau d'un sol (w)**

C'est le rapport du poids de l'eau libre présente dans un certain volume de sol, au poids des éléments solides compris dans ce volume. à la teneur qui varient de 15 à 28%

Tableau (III-3) :teneur en eau w et densité sèche du sol en fonction de la profondeur de sondage

Sondage	Profondeur (m)	La teneur en eau w(%)	La densité sèche v_s (t/m^3)
Sondage 1	4,6 - 5,0	15	1,81
	7,2 -7,8	15	1,84
Sondage 2	7,0 -7,5	19	1,75
	12,4-12,6	19	1,73
Sondage 3	7,7-8,0	15	1,88
	12,2-12,6	19	1,70
Sondage 4	7,2-7,2	12	1,88
Sondage 5	3,2-3,6	28	1,54
	6,5-7,0	18	1,77

❖ Conclusion

Les terrassements, on l'a vu, posent beaucoup de problèmes, parfois difficiles à maîtriser. C'est qu'ils viennent perturber dans son équilibre un sol aux propriétés complexes, mal connues et variables dans le temps.

Nous avons essayé de regrouper dans ce chapitre les différentes propriétés du sol qu'on pourra éventuellement utiliser dans le chapitre quatre réservé au calcul et dimensionnent de l'installation frigorifique à des fins de stabilisation du sol

CHAPITRE

IV

- ***Calcule des calories à prélever du sol pour ça congélation et dimensionnement de l'installation frigorifique***

IV.1. Introduction

La congélation qui est la technique adoptée pour la stabilisation du sol étudié qui nécessite un prélèvement de calories. Le dimensionnent de l'installation frigorifique va se baser essentiellement sur la chaleur à extraire du sol.

IV.2. Description de l'installation frigorifique

La figure IV. 1 donne le schéma de principe du procédé de congélation qui comporte deux circuits :

IV.2.1. Circuit primaire :

La saumure utilisée comme fluide frigoporteur prélève la chaleur du sol pour son congélation. En s'échauffant, la saumure doit être refroidie dans l'évaporateur dans lequel circule le fluide frigorigène (ammoniac) qui va absorber la chaleur de la saumure.

En s'évaporant l'ammoniac sera aspiré par le premièr compresseur basse pression pour être refoulé ensuite dans une bouteille intermédiaire à la pression pi. cette vapeur sera refroidie à l'aide de l'ammoniac provenant du condenseur du circuit secondaire pour être réinjecté dans l'évaporateur

IV.2.2. Circuit secondaire :

Il est formé par : le compresseur (hp) , le condenseur à eau et la bouteille intermédiaire. A la sortie du compresseur (bp) l'ammoniac passe par la bouteille intermédiaire qui sera refroidi par l'ammoniac provenant du condenseur comme il a été dit pour le circuit primaire

l'échange de la chaleur aspiré dans la bouteille intermédiaire fait que l'ammoniac, sous forme de vapeur s'échauffe et donc sera refoulé vers le compresseur haut pression hp. A la sorti du compresseur l'ammoniac à la pression (hp) sera injectée dans le condenseur. Après détente, l'ammoniac est introduit dans la bouteille intermédiaire.

.

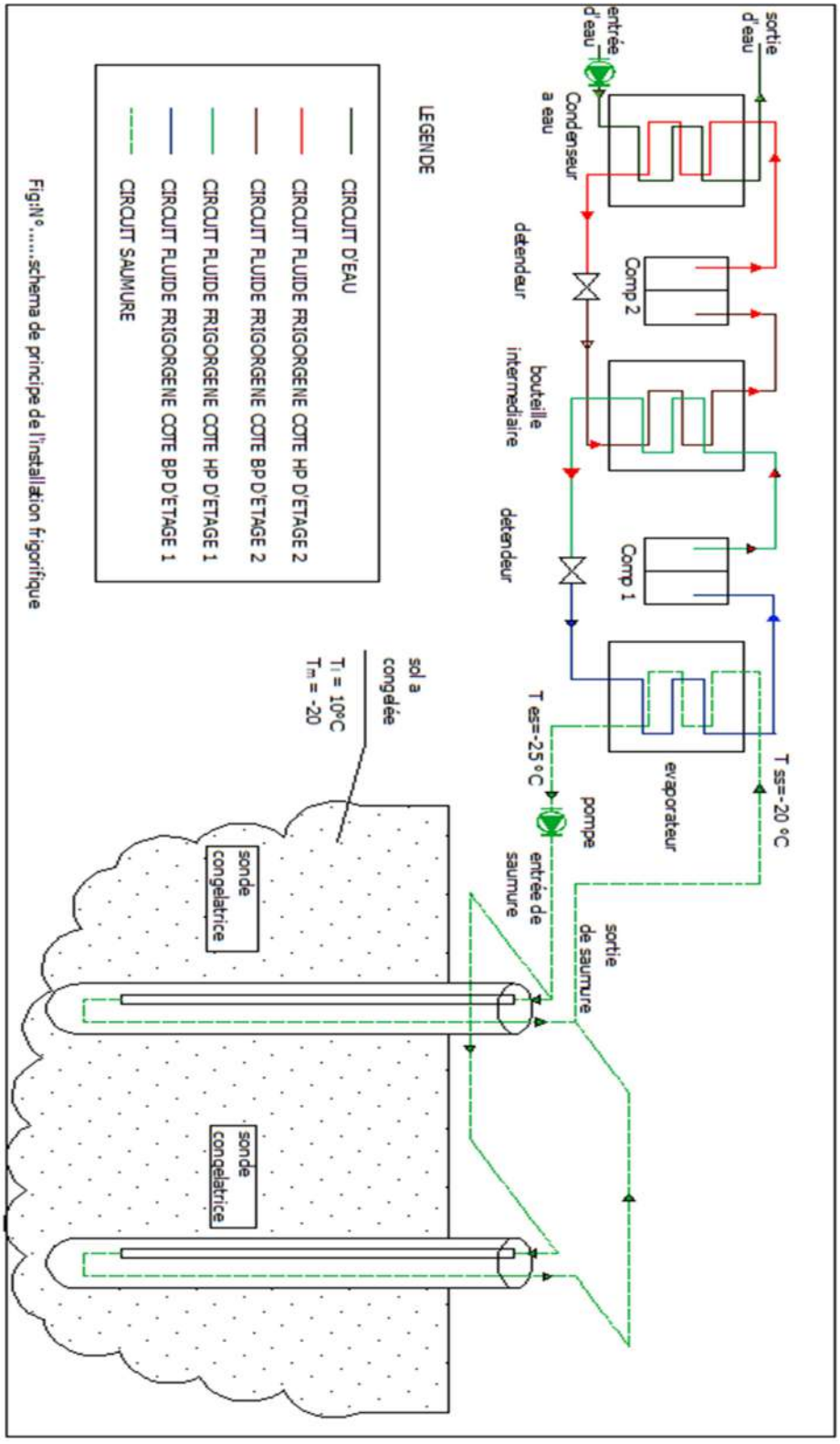


Figure (IV.1) : Schéma de principe du procédé de congélation

IV.3. Calcul les Calories à prélever du sol

Au lieu de la formule complexe dérivée de la théorie de Kakhimov [32], on présente ci-dessous une expression moins précise mais bien plus simple, des calories à prélever du sol pour la congélation en kcal /m3

$$\boldsymbol{Q = [c_t * V_s * \Delta T + w * V_s(C_g * T_i + C_g * \Delta T + C_f)]\alpha} \quad \text{.....(IV.1)}$$

Q : la chaleur à prélever du sol ($kcal/m^3$)

$\boldsymbol{V_s}$: Densité sèche du sol (kg/m^3);

$\boldsymbol{c_t}$: Chaleur spécifique du sol sec ($kcal\ /kg°C$);

$\boldsymbol{w}$: Teneur en eau du sol (rapport eau/sol sec en poids);

$\boldsymbol{T_i}$ **:** La température initiale de sol =10 C°

$\boldsymbol{C_f}$: Chaleur de fusion de l 'eau ($kcal/kg$);

$\boldsymbol{C_g}$: Chaleur spécifique de la glace ($kcal/kg°C$);

$\boldsymbol{\alpha}$**:** est entre 1,5 et 2,00 : coefficient pratique pour tenir compte des frigories utilisées à l'extérieur du volume théorique du sol congelé.

Introduisons les valeurs indicatives des coefficients thermiques :

$\boldsymbol{c_t = 0.2\ (Kcal/kg.°C)}$

$\boldsymbol{c_g = 0.5\ (Kcal/kg.°C)}$

$\boldsymbol{c_f = 80\ (Kcal/kg)}$

$\boldsymbol{\Delta T}$: Différence entre la température initiale Ti, du sol et la température moyenne du sol congelé Tm

$\boldsymbol{Tm}$: la température moyen des sols congelé = -20C°

$$\boldsymbol{\Delta T = Ti - Tm = 30C°} \quad \text{.....(IV.2)}$$

IV. 3.1. la chaleur évacuée par le sol pour un 1 m^3

en utilisant la formule IV. 1 et en tenant compte des données, on aura :

$\boldsymbol{q_{év/sol}}$ = [0,2 *1,81*10^3 *30 +0,15 *1,81*10^3 (0,5*10 +0,5 *30 +80)]1,5

$\boldsymbol{q_{év/sol}}$ **= 57,01. 10^3 Kcal**

IV.1. 3. Calcul de la chaleur globale évacuée par le sol

Dans ce projet on considère un volume théorique du sol congelé égal à 50 m^3

$q_{év/sol}$ =57,01*10^3 *50 = | = 2850,5*10^3 kcal |

IV.4. Calcul du débit de la saumure M_{saum} [kg/s]

Tout d'abord, on calcule la puissance absorbée par la saumure durant un temps de fonctionnement normal d'une installation frigorifique (16 h)

Ona : $Q_{saumure}$ = la puissance absorbe par la saumure [w]

$$Q_{saumure} = q_{év/sol} / t \quad \text{.....(IV.3)}$$

$t = 16$ heures /jour pour les installations frigorifiques de congélation

$$Q_{saumure} = 2850{,}5 * 10^3/16\ heures = 178{,}15 * 10^3 \quad kcal/h$$

Ona : 1 kcal/h ⟶ 1,16[w]

$178{,}15 * 10^3$ $kcal/h$ ⟶ $Q_{saumure}$

$$Q_{saumure} = 178{,}15 * 10^3 * 1{,}16 = \boxed{207{,}66 * 10^3\ [w]}$$

h

$$Q_{saumure} = M_{saumure} * C_{p_{saumure}} (Tss - Tes)$$

$$M_{saumure} = Q_{saumure} / C_{p_{saumure}} (Tss - Tes) = 207{,}66 * 10^3 / 3{,}05(-20 - (-25) =$$

$\boxed{13{,}55 * 10^3 kg/s}$

Avec :

T_{ss} : la température de sortie de la saumure °C

T_{es} : la température d'entrée de la saumure °C

$C_{p_{saumure}}$:la chaleur spécifique de la saumure kJ/kg.°C = 3,05 kcal/kg°C

IV.4. Calcul des puissances théoriques de la machine

IV.4.1. Calcul des débits du fluide frigorigène

Comme le fluide frigogène circule dans les deux circuits, on a deux débits : le débit basse pression M (Bp) et le débit haute pression M (Hp)

IV.4.1.1. Debit basse pression *M* (Bp) :

$$\boldsymbol{M(Bp) = Q_{saumure}} \ /(h1 - h8) * (1000) \quad \text{.....(IV.4)}$$

$\boldsymbol{I_0 = (Q_{saumure}/1000)}$ **[kw]** $= 207{,}66\ [kW]$ c'est la puissance frigorifique [kw]

IV.4.1.2. Debit haute pression *M* (Hp) :

Pour calculer le débit à haute pression nous allons faire un bilan enthapique dans la bouteille On

$$M(Hp)h6 + M(bp)h2 = M(bp)h7 + M(Hp)(h3) =$$

$$\boldsymbol{M(bp)(h2 - h7) = M(Hp)(h3 - h6) =}$$

$$\boldsymbol{M(Hp) = M(Bp)} * (h2 - \mathrm{h}_7 \ / h3 - h6) \quad \text{.....(IV.5)}$$

IV.4.2. Tracé du diagramme (h,p) pour trouver les enthalpies

Pour tracer le diagramme (h.p) nous allons utiliser logiciel thermoptim d'après les valeurs suivantes :

Ona :

$\boldsymbol{T_c}$: la température de condensation **°C**

$\boldsymbol{T_c = Teau + \Delta p\ échauffement + \Delta t\ pencement}$

$\boldsymbol{T_c}$ **=25+5+7=37C°**

$\boldsymbol{T_{ev}}$ **:**la température d'évaporation **= -30** °C pour le fluide **R717**

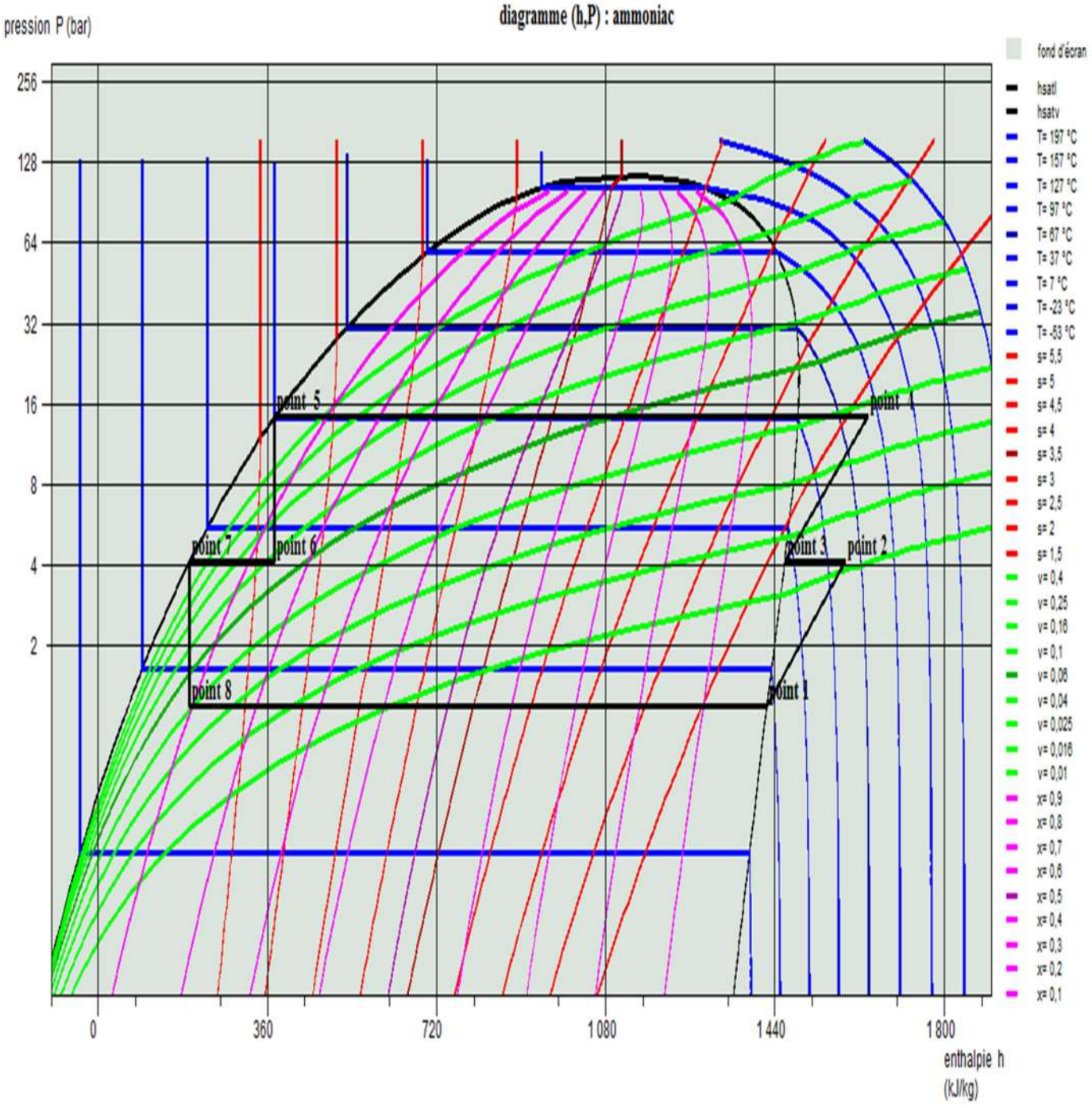


Figure (IV.2) : Représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme enthalpique pour l'Ammoniac et Tf= -30°C

Tableau (IV.1) : Tableau Enthalpies massiques des différents points du cycle (l'annexe 1)

Points	Enthalpie massique (kJ/kg)
$h1$	**1423 ,40**
$h2$	**1589,61**
$h3$	**1460,81**
$h4$	**1638,23**
$h5$	**375,76**
$h6$	**375,76**
$h7$	**194,92**
$h8$	**194,92**

On a :

$$\boldsymbol{M(bp)} = 207{,}66/(1423{,}40 - 194{,}92\ ) = \quad \boxed{\mathbf{0,16\ kg/s}}$$

$$\boldsymbol{M(Hp)} = \mathbf{0,16} * 10^3(1589{,}61 - 194.92/1460{,}81 - 375{,}76) = \quad \boxed{\mathbf{0,21\ kg/s}}$$

Remarque :

en annexe on regroupe les diagrammes enthalpiques des cycles thermodynamiques pour d'autres fluides frigorigènes et des températures d'évaporation allants de Tf= -28°C jusqu'à -33°C, afin de savoir le meilleur fluide qui donne la meilleure valeur du cop.(annexe 2 ,annexe ,3 , annexe, 4)

IV.4.3. Calcul de la puissance théorique de chaque composant de la machine

$$\boldsymbol{P\ th\ Compresseur\ (bp)} = M(bp)\ (h2 - h1) \qquad \textbf{…….(IV.6)}$$

$$\boldsymbol{P\ th\ Compresseur\ (bp)} = \mathbf{0,16} * (\ 1589{,}61 - 1423{,}40) = \quad \boxed{28{,}01\ kw}$$

$$\boldsymbol{P\ th\ Compresseur\ (Hp)} = M(Hp)\ (\ h4 - h3) \qquad \textbf{…….(IV.7)}$$

$$\boldsymbol{pth\ Compresseur\ (Hp)} = \mathbf{0,21} * (1638{,}23 - 1460{,}81) = \boxed{38{,}40kw}$$

$$\boldsymbol{pth\ condenseur}\ (\boldsymbol{Hp}) = M(Hp)\,(h4 - h5)$$

$$\boxed{\boldsymbol{pth\ condenseur}\ (\boldsymbol{Hp}) = M(Hp)\,(h4 - h5)} \quad \textbf{.....(IV.8)}$$

$$\boldsymbol{pth\ condenseur}\ (\boldsymbol{Hp}) = \mathbf{0,21} * (1638{,}23 - 375{,}76) = \boxed{273{,}31\ kw}$$

$$\boldsymbol{pth}\ \text{é}\boldsymbol{vaporateur}\ (\boldsymbol{bp}) = M(bp)\,(h1 - h8)$$

$$\boxed{\boldsymbol{pth}\ \text{é}\boldsymbol{vaporateur}\ (\boldsymbol{bp}) = M(bp)\,(h1 - h8)} \quad \textbf{.....(IV.9)}$$

$$\boldsymbol{pth}\ \text{é}\boldsymbol{vaporateur}\ (\boldsymbol{bp}) = \mathbf{0,16} * (1423{,}40 - 194{,}92) = \boxed{207{,}01\ kw}$$

IV.4.4.Calcul du cop théorique

$$\boxed{\boldsymbol{COP} = {}^{\boldsymbol{Q_{saumure}}}\!/_{pth\ (bp) + pth(hp) * (1000)}} \quad \textbf{.....(IV.10)}$$

$$\boldsymbol{COP} = {}^{206{,}66}\!/_{26{,}59 + 35{,}54} = \boxed{\mathbf{3{,}11}}$$

IV.5. Choix des équipements de l'installation frigorifique :[33]

Après avoir choisi le cycle suivi par le fluide frigorigène, et connaissant la puissance frigorifique à fournir, on peut sélectionner les composants de la machine frigorifique.

IV.5.1. Débit volumique que doit aspirer le compresseur basse pression

D'près la formule **(IV.4)** on peut déduire la valeur du Débit volumique

$$\boxed{\dot{V}_{asp} = \boldsymbol{M(Bp)} * \nu'_1} \quad \text{.....(IV.10)}$$

D'près la formule **(IV.5)** on peut déduire la valeur du Débit volumique

$$\boxed{\dot{\mathbf{V}}_{\mathbf{asp}} = * \boldsymbol{M(Hp)} * \boldsymbol{\nu'_3}} \quad \textbf{.....(IV.11)}$$

Finalement, et avec ces paramètres on peut sélectionner les compresseurs. les cordonnées thermodynamiques liées sur le diagramme log P-h du fluide frigorigène correspondant à notre installation bi-étagée sont présentés dans le tableau suivant :

IV.5.2. Débit volumique que doit aspirer le compresseur basse pression

Calcul des débits volumiques de l'installation (l'annexe 1)

$$\dot{V}_{asp} = 0{,}16 * 0{,}97 * 3600$$

$$\dot{V}_{asp} = 558{,}72 \text{ m}^3/\text{h}$$

On va choisir le compresseur BP, qui a un volume balayé presque-égale ou supérieur au débit volumique aspiré

D'après le catalogue du constructeur BITZER le compresseur à choisir pour basse pression est de type à vis ouvert **Sérié : OSKA 8591– K** de puissance 75 kw (l'annexe 5)

Calcul du débit volumique aspiré par le compresseur HP

$$\dot{V}_{asp} = 0.21 * 0.3 * 3600$$

$$\dot{V}_{asp} = 226{,}80 \text{ m}^3/\text{h}$$

D'après le catalogue du constructeur BITZER le compresseur à choisir a haute pression est de type à vis ouvert **Sérié :OSNA 7462 – K** de puissance 68 kw (l' annexe 6)

IV.5.3. Choix du condenseur

D'prés les calculs faits précédemment, on a trouvé que la puissance de notre condenseur est égale à 273 kW et après la recherche dans le catalogue « BITZER on a choisi le condenseur suivant :

Condenseurs refroidis à l'eau sérié K1973TB –k de puissance 275kw (l'annexe 7)

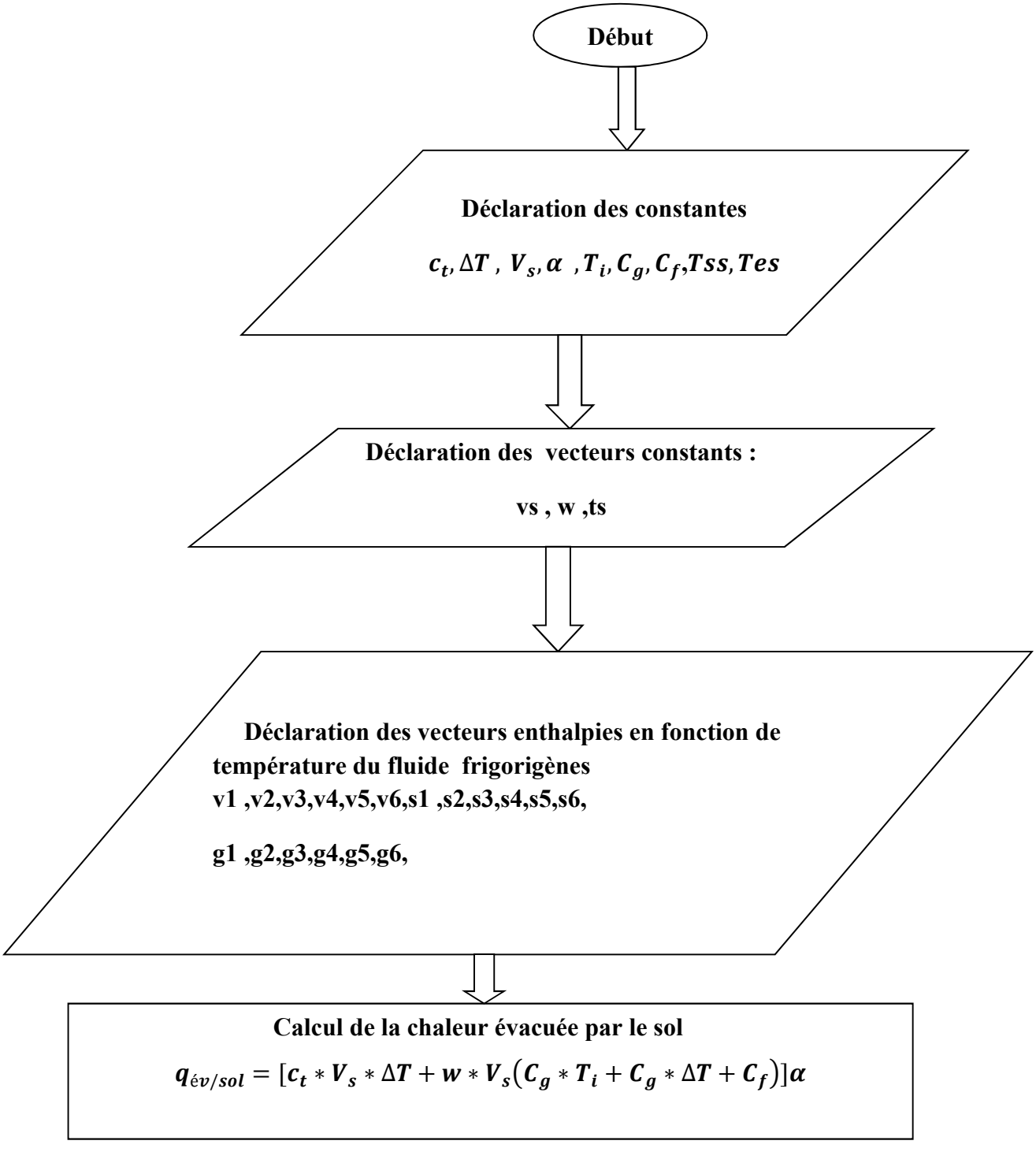
IV.5.4. Choix de la pompe

D'après les calculs du débit absorbé par la saumure et d'après la recherche dans le catalogue SLAMSON on choisi la Pompe à d'eau sérié Zoom 320C

IV.5.5. Choix de l'évaporateur

D'prés les calculs faits précédemment, on a trouvé que la puissance de notre condenseur est égale à 207,01 kW et après la recherche dans le catalogue « BITZER on a choisi l'évaporateur suivant : échangeur a type évaporateur sérié **K1353T** de puissance 210kw (annexe08)

Pour automatiser les calculs on a utilisé MATLAB comme outil de programmation et on présente ci-dessous l'organigramme des différentes étapes de calcul.



Calcul de la puissance absorbée par la saumure

$$\boldsymbol{Q_{saumure}} = \boldsymbol{q_{év/sol}} \ \boldsymbol{/t}$$

Calcul du débit de la saumure

$$\boldsymbol{M_{saumure}} = \boldsymbol{Q_{saumure}} \ / \boldsymbol{C_{p_{saumure}}} \ (\boldsymbol{Tss} - \boldsymbol{Tes})$$

. **Calcul du débit du fluide frigorigène**

$$\boldsymbol{M(Bp)} = \boldsymbol{Q_{saumure}} /(h1 - h8)*1000$$

$$\boldsymbol{M(Hp)} = \boldsymbol{M(Bp)} * (h2 - h_7 \ / h3 - h6)$$

Calul des puissances théoriques

Pth compréssseur(bp)= M(bp) (h2 − h1)

Pth compréssseur (hp)= $M(Hp)$ ($h4 - h3$)

pth condenseur (hp) = $M(Hp)$ ($h4 - h5$)

pth evaporateur (bp)= $M(bp)$ ($h1 - h8$)

Calcul du COP :

Cop : $\boldsymbol{Q_{saumure}}/_{\text{pth (bp)} + \text{pth(hp)}} *1000$

fin

IV.6. Débit massique a haute pression

D'près le calcul du débit a haute pression par le logiciel MATLAB nous avons obtenu les résultats suivants (annexe9)

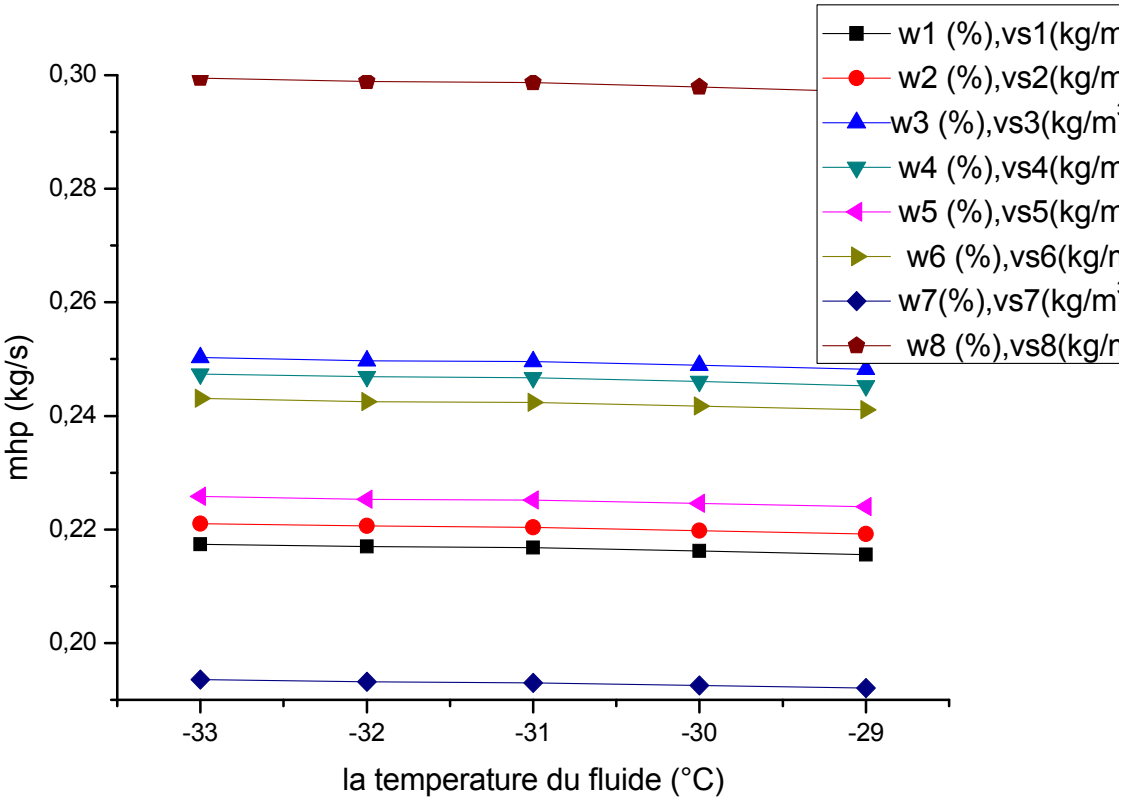


Figure (IV-3) : Variation du débit à haute pression en fonction de la température du fluide, la densité sèche et la teneur en eau du sol

Dans ce graphe, on remarque que : si la température de fluide diminue le débit massique a haute pression augmente et si on augmente la teneur en eau le débit augmente aussi sachant que la teneur en eau est inversement proportionnelle à la densité sèche

IV.7. Débit massique a basse pression

D'après le calcul du débit a haute pression par logiciel MATLAB nous avons obtenu les résultats suivants (Annexe 9)

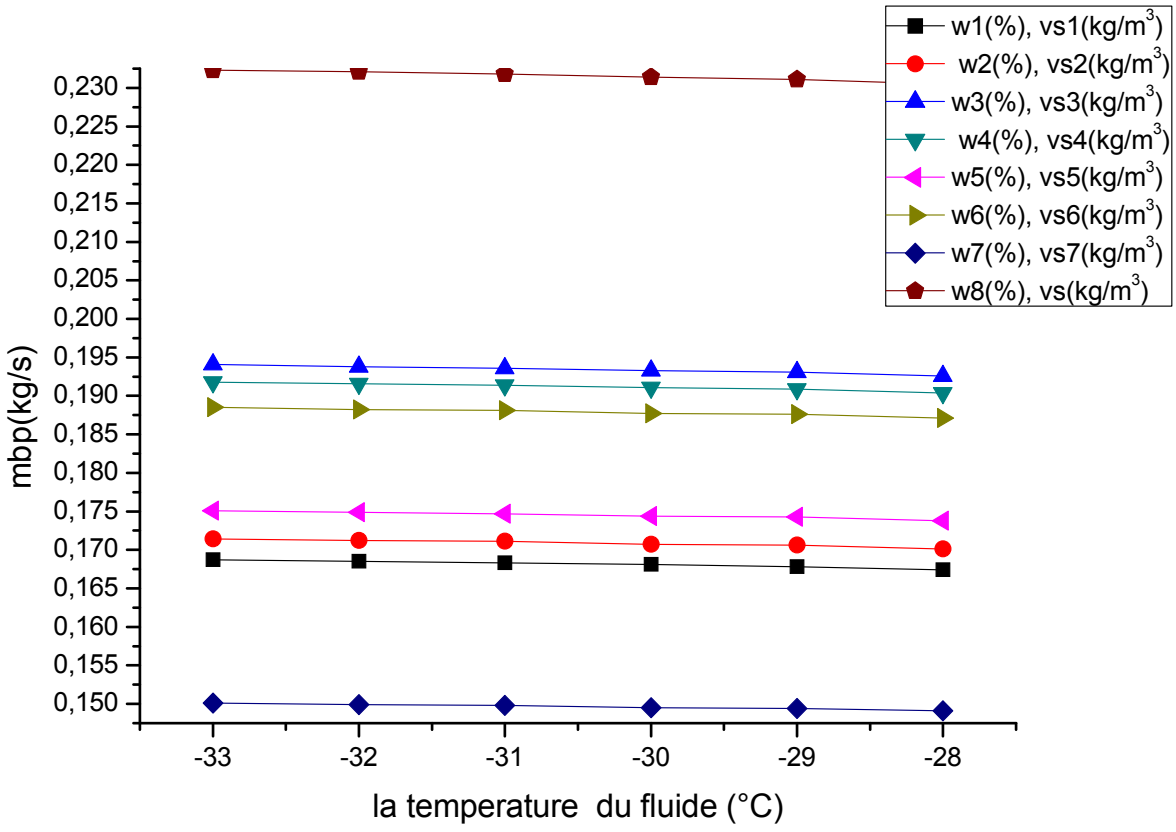


Figure (IV-4) : Variation du débit à basse pression en fonction de la température du fluide, la densité sèche et la teneur en eau du sol

Dans ce graphe, on remarque que : si la température de fluide diminue le débit massique a haute pression augmente et si on augmente la teneur en eau le débit augmente aussi sachant que la teneur en eau est inversement proportionnelle a la densité sèche

IV.8. Calcule du COP

Après calcul des valeurs du cop pour trois fluides testés (R717, R134a, R22) afin d' estimer le meilleur fluide, nous avons obtenu les résultats qui sont résumés sur le graphe de la figure IV. 4 (voire annexe10) pour les valeurs présentées dans un tableau)

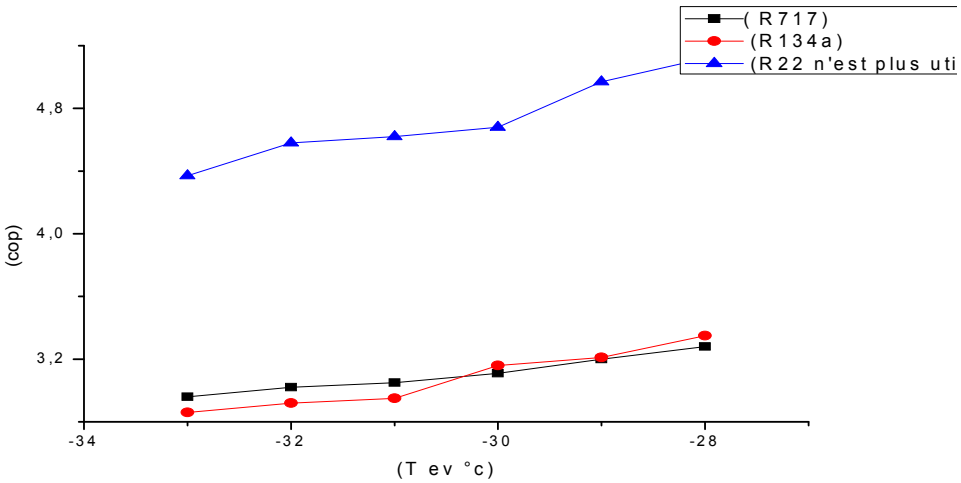


Figure (IV-5) : variation du cop en fonction de la température du fluide

D'après ce graphe, en voit que si la température d'évaporation du fluide diminue le cop diminue aussi.

aussi, le (R22) est beaucoup plus meilleurs que les deux autres (R134a ,R717) (mais n'est plus utilisé car il est interdit d'après le Protocol de Kyoto signé le 11 décembre 1997)

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait les calculs de dimensionnement des différents composants de l'installation, après avoir déterminé les débits a basse et haute pression. O na fait aussi une étude paramétrique pour déterminer l'influence des caractéristiques du sol sur les paramètres de calcul. les valeurs trouvées montrent que si la température de fluide diminue le débit massique (a haute et basse pression) augmente. Il est montré aussi que si la teneur en eau augmente, le débit augmente aussi et si la température d'évaporation du fluide diminue le cop diminue aussi.

Conclusion générale

Le sujet de notre projet de fin d'études concerne le dimensionnement d'une installation frigorifique pour la stabilisation temporaire d'un terrain sur lequel des travaux de construction iront se dérouler par la technique de congélation du sol. La machine proposée est à deux étages pour laquelle on a fait les calculs de puissance thermique théoriques de chaque composant (compresseur, évaporateur, condenseur). Aussi une étude paramétrique est rajoutée pour estimer la contribution des facteurs les plus influents dans le fonctionnement de la machine. Une programmation sur MATLAB est réalisée pour automatiser les calcules.

Les résultats obtenus du débit de fluide dans le compresseur haute pression montre que :

- Si la température de fluide diminue le débit massique a haute pression augmente et si on augmente la teneur en eau le débit augmente aussi
- Si la température de fluide diminue le débit massique à basse pression augmente et si on augmente la teneur en eau le débit augmente aussi
- Si la température d'évaporation du fluide diminue le cop diminue aussi.

L e (R22) est beaucoup plus meilleurs que les deux autres (R134a ,R717) du point de vue cop. (mais n'est plus utilisé car il est interdit d'après le Protocol de Kyoto signé le 11 décembre 1997)

Bibliographie

Bibliographié

[1] : Olivier maquaire ,aléa gémorphologique (mouvement de terrain), mémoire de magister année 2001-2002 .17 p

[2] : M elle .benechkche Imene investigation de la détraction du cadre bati sous l'effet du glissement terrain mémoire de magister université de mentouri de Constantine année fév 2012

[3] : Ineris institut national de l'environnement industriel et des risque , tirée de référence [2]

[4] : Plan de prévention du risque mouvement de terrain « direction de d'partement de L'équipent Hauts-de-seine : atelier urbanisme et habitat l'anné 2004/2005 .13p

[7] : Thomas lebourg, tirés de référence [2]

[8] : Risque de mouvement de terrain commue de clouage .http://www.moselle .equipement . gouv .fr /IMG/pdf/ notic e- cleldla 2 .pdf

[12] : Crudem et varnes 1996, tirée de référence[2]

[13] : Cartier et delmos .1984, tirée de référence [2]

[14] : Besson « «les risque naturels en montage traitement, prévention surveillance « ed Artès-publial.grenoble, année 1995-1996 .438p

[15] :www.zone –ufo.com.

[16] : Bisque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètre de terrain pour l'utilisation des paramètres géotechniques ; mémoire de magister .option géotechnique
Année 2008-2009, 38-38p

[17] : Laboratoire centrale de pont et chaussée (1996), tirée de référence [2]

[18] : Goyallon.J. « mouvement de terrain , rapport du bureau des recherche géologiques et minières France .année 2000 .21p

[19] : Bureau des mines et de l'énergie direction de la géologie et des mines services des mines :2008- tireé de référence [2]

[20] : Guide méthodologie plan de prévention des risques naturels ,risque de mouvement terrain ,tirée de référence [2]

[22] : Arab Rabah, zermani messaud, tabti said ; 2009, tirée de référence [2]

[22] : CTC. Tirée de référence [2]

[23] : Natacha ,sertier a mélioration des sols . mémoire de licence IUP université de la réunion années 2005- 2006 2p

[24] : Zighmi Iméne –Bassma-étude numérique de l'influence des paramètres géotechniques sur le comportement des sols renforcés mémoire de magistère , université mouloud Mammeri zizi ouzou ,année 2012.

[25] :M,J ,p et pilot , g 1988, tirée de références[24]

[26] : Doucement de sole lonche , buchy ,tirée de référence [24]
[27] : Berthelot et al .(2003)- tirée de référence [24]
[28] : Document de géopoc et Ménord . sol traitement . référence [24]
[29] : Revue. Française. de géotechnique « mécanique . des sols année novembre fig .9- 10p
[30] : Revue. Française. de géotechnique « mécanique . des sols année novembre fig .9- 12p
[31] : La boratoire national de l'habitation de la construction ,unité oued smar
etude géotechnique , site gue de Constantine , wilaya alger
[32] : Revue Française .de géotechnique « mécanique des sols géologie de l'ingénieur
Année novembre 1982, 9p
[33] : Marié –France terraine : livre froid industriel 2 édition année 2010 .392 p

Bibliographie électronique

[5] : Risque d'effondrement de bâtiments et les mouvement de terrain .htt : www.csdivonne .fr.st
[6] : www.prim.net
[8] : Risque de mouvement de terrain commue de clouage .http://www.moselle .equipement . gouv .fr /IMG/pdf/ notic e- cleldla 2 .pdf
[9] : www.atlas-hrcn.gc.ca /auth /français/ hrcan.
[10] : www.brgm.fr
[11] : www.sieng.ch

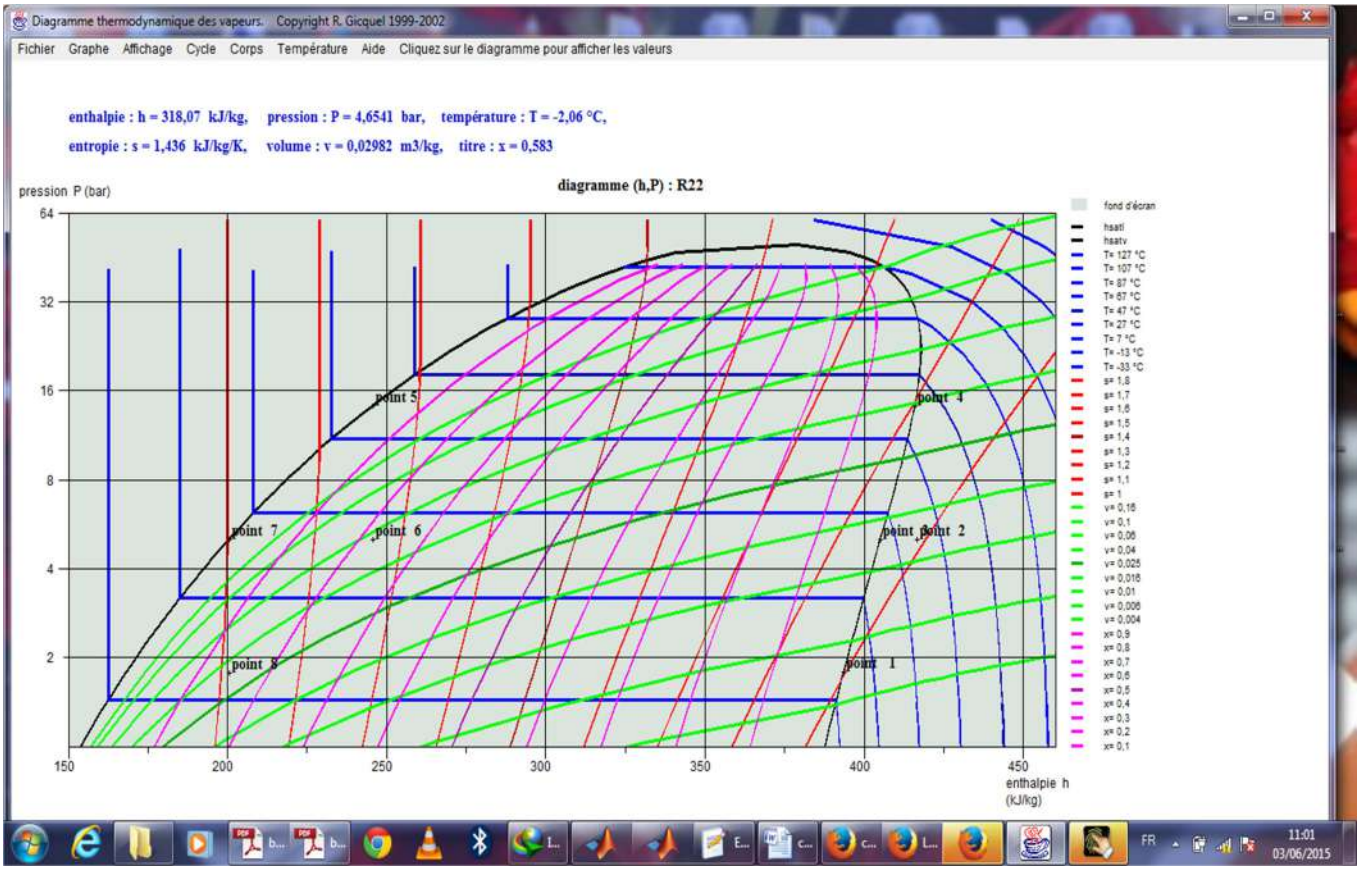
ANNEXE :01

Tableaux :les caractérisriques thermodynamique d'ammoniac (tev = -30°C)

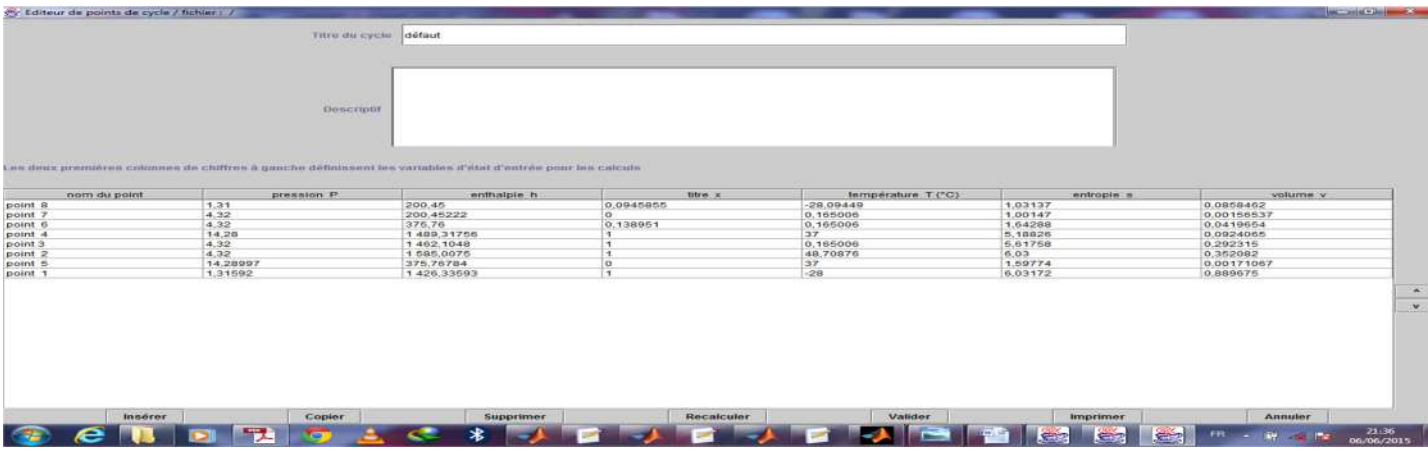
nom du point	pression P	enthalpie h	température T (°C)	entropie s	titre x	volume v
point 1	1,19503	1 423,40181	-30	6,06532	1	0,973234
point 8	1,19503	194,92464	-29,99982	1,01298	0,0963693	0,0951242
point 7	4,13	194,92464	-1,03389	0,981296	0	0,00156144
point 6	4,13	375,76784	-1,03389	1,64588	0,142859	0,0449089
point 5	14,28997	375,76784	37	1,59774	0	0,00171067
point 4	14,28997	1 638,2371	86,87348	5,6333	1	0,113686
point 3	4,13	1 460,81082	-1,03389	5,6333	1	0,30499
point 2	4,13	1 589,61414	50,36232	6,06532	1	0,370913
point 1	1,19503	1 423,40181	-30	6,06532	1	0,973234

ANNEXE :2

Annexe . 2.1. Diagramme (R22) Pour t= -28°C par exemple



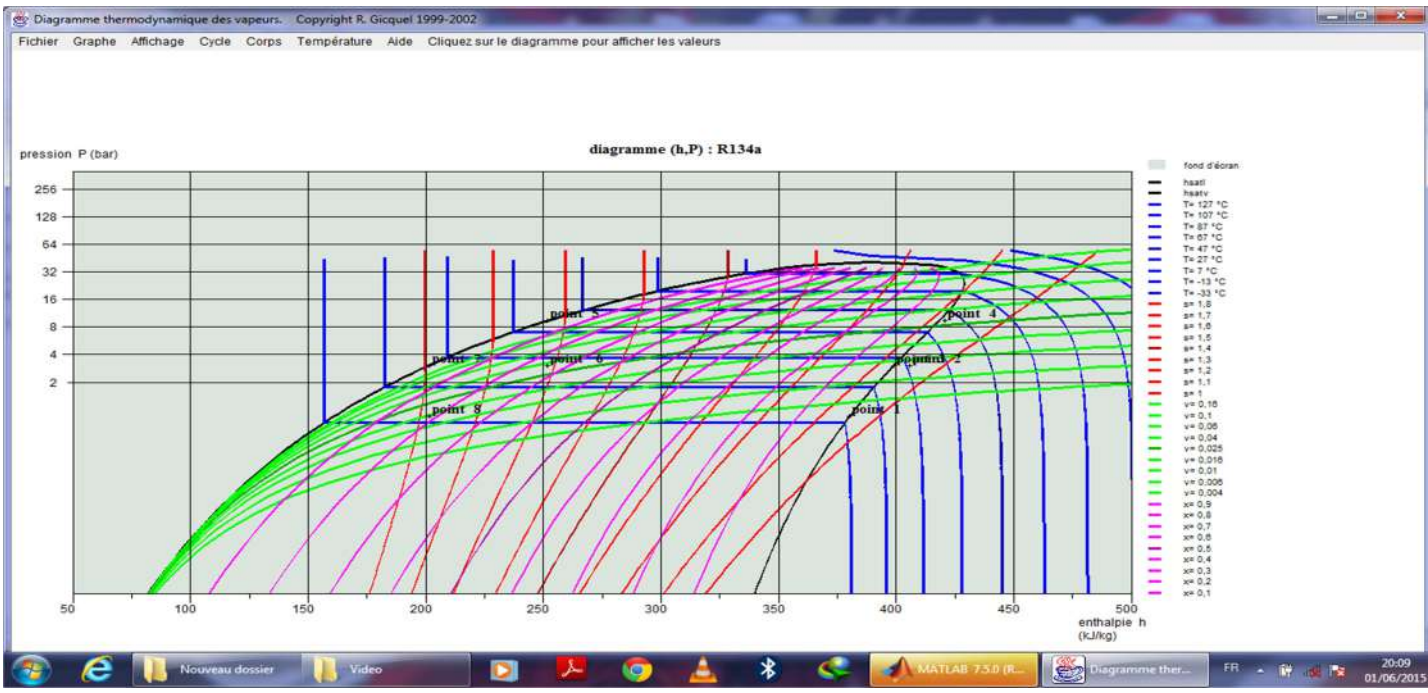
Annexe. 2.2. Tableau des caractéristique thermodynamique de (R22) Pour t= -28 °C



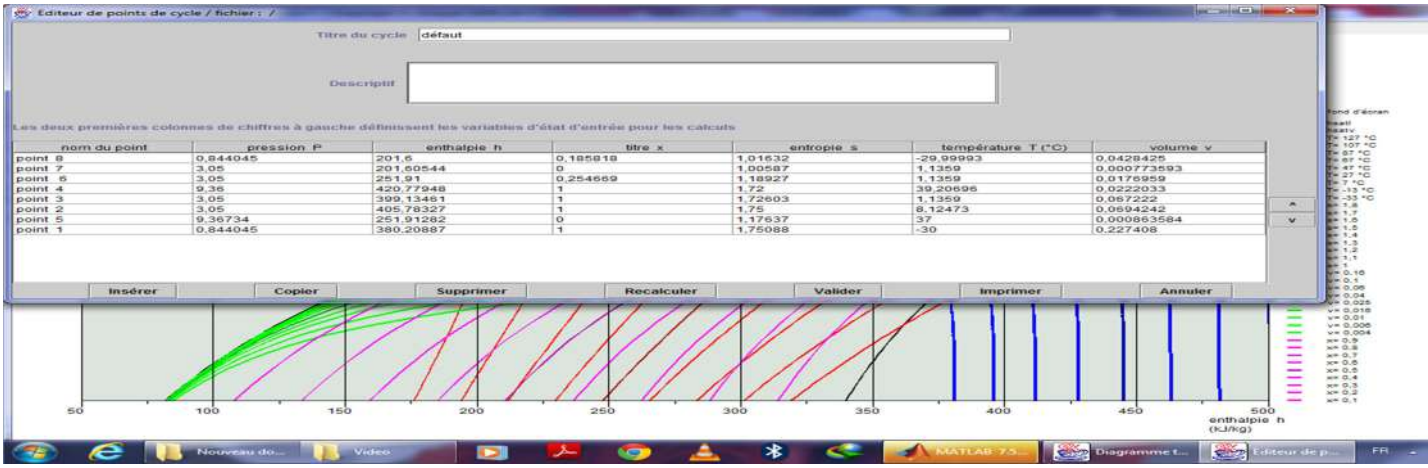
nom du point	pression P	enthalpie h	titre x	température T (°C)	entropie s	volume v
point 8	1,31	200,45	0,0945855	-28,09449	1,03137	0,0858462
point 7	4,32	200,45222	0	0,165006	1,00147	0,00156537
point 6	4,32	375,76	0,138951	0,165006	1,64288	0,0419654
point 4	14,28	1 489,31756	1	37	5,18826	0,0924065
point 3	4,32	1 462,1048	1	0,165006	5,61758	0,292315
point 2	4,32	1 585,0075	1	48,70876	6,03	0,352082
point 5	14,28997	375,76784	0	37	1,59774	0,00171067
point 1	1,31592	1 426,33593	1	-28	6,03172	0,889675

ANNEXE :3

Annexe . 3.1. Diagramme (R134a) Pour t= -30°C par exemple



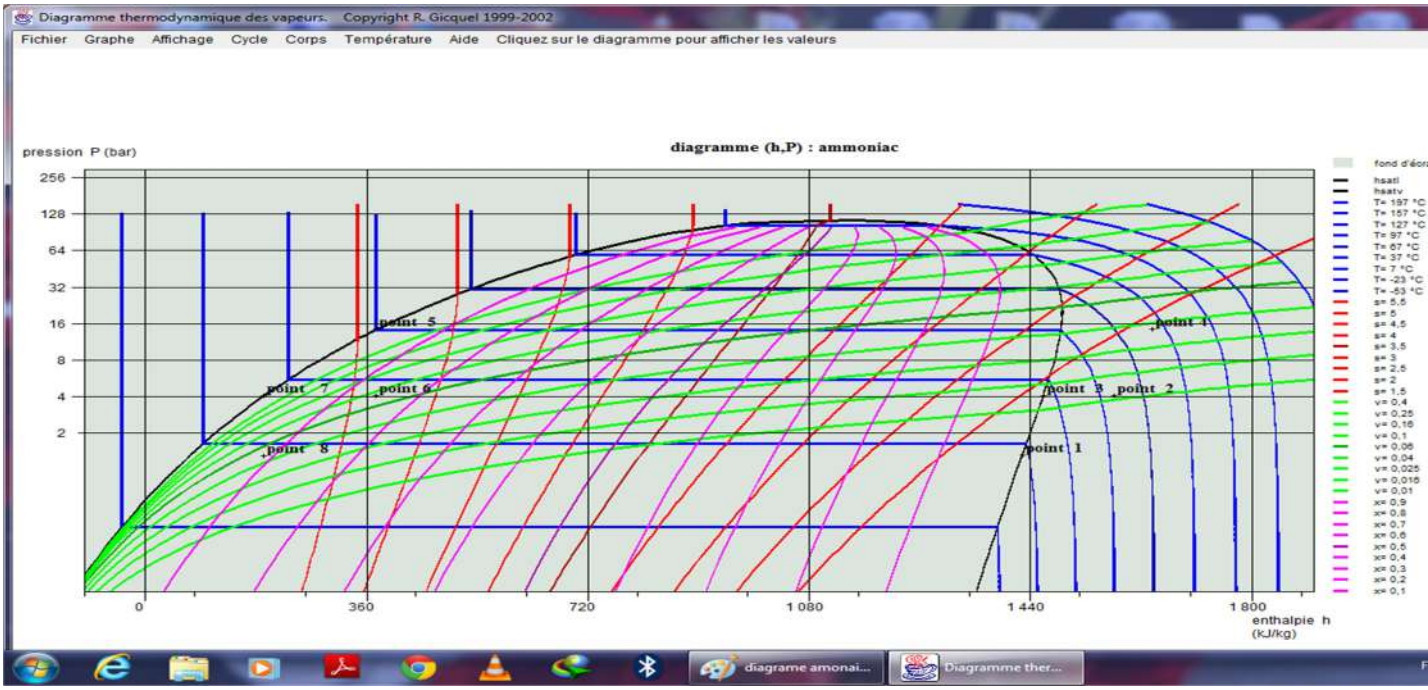
Annexe. 3.2. Tableau des caractéristique thermodynamique de (R134) Pour t= -30 °C



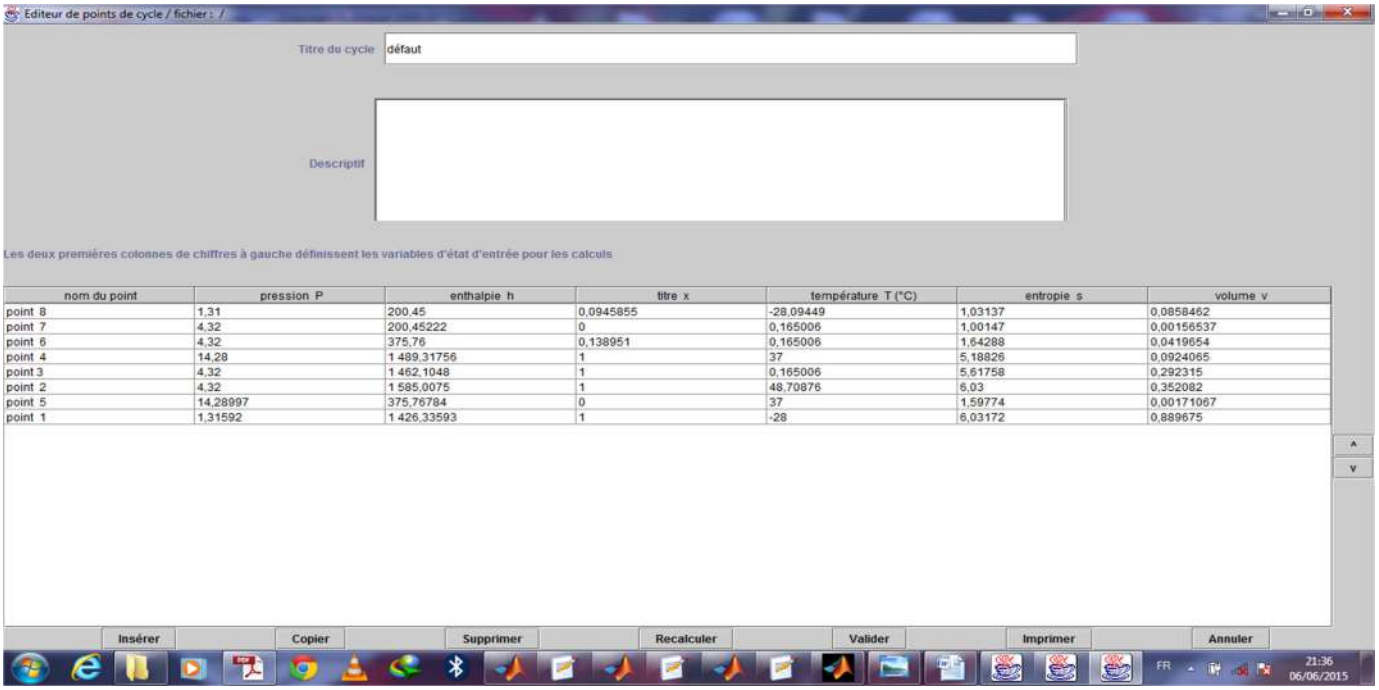
nom du point	pression P	enthalpie h	titre x	entropie s	température T (°C)	volume v
point 8	0,844045	201,6	0,185818	1,01632	-29,99993	0,0428425
point 7	3,05	201,60544	0	1,00587	1,1359	0,000773593
point 6	3,05	251,91	0,254669	1,18927	1,1359	0,0176959
point 4	9,36	420,77948	1	1,72	39,20696	0,0222033
point 3	3,05	399,13461	1	1,72603	1,1359	0,067222
point 2	3,05	405,78327	1	1,75	8,12473	0,0694242
point 5	9,36734	251,91282	0	1,17637	37	0,000863584
point 1	0,844045	380,20887	1	1,75088	-30	0,227408

ANNEXE :4

Annexe . 4.1. Diagramme (R717) Pour t= -28°C par exemple



Annexe. 4.2. Tableau des caractéristique thermodynamique de (R717) Pour t= -28 °C

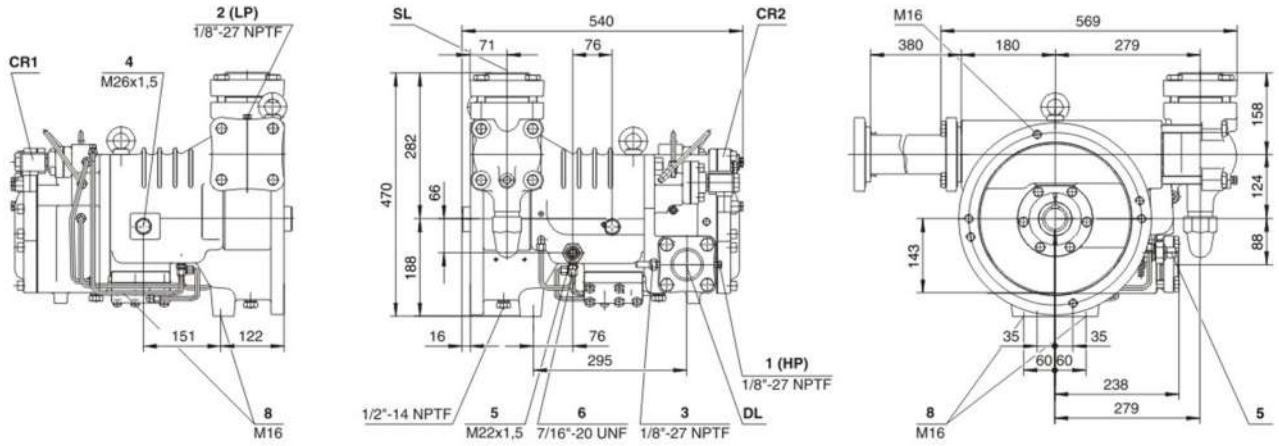


nom du point	pression P	enthalpie h	titre x	température T (°C)	entropie s	volume v
point 8	1,31	200,45	0,0945855	-28,09449	1,03137	0,0858462
point 7	4,32	200,45222	0	0,165006	1,00147	0,00156537
point 6	4,32	375,76	0,138951	0,165006	1,64288	0,0419654
point 4	14,28	1 489,31756	1	37	5,18826	0,0924065
point 3	4,32	1 462,1048	1	0,165006	5,61758	0,292315
point 2	4,32	1 585,0075	1	48,70876	6,03	0,352082
point 5	14,28997	375,76784	0	37	1,59774	0,00171067
point 1	1,31592	1 426,33593	1	-28	6,03172	0,889675

ANNEXE 5

Données techniques: OSKA 8591– K

Dimensions et raccords



Données techniques

Informations techniques	
Volume déplacé (2900t/min 50 Hz)	550m³/h
Volume déplacé (3500 t/min 60 Hz)	232 m³/h
Puissance absorbée Max.	75,0 kW
Plage des vitesses autorisées	1450 .. 4000 min-1
Sens de rotation (compresseur)	links / counter-clockwise
Poids	176 kg
Pression max. (BP/HP)	19 / 28 bar
Raccord cond.d'aspiration	76 mm - 3 1/8"
Raccord cond.d'asp.(NH3)	DN 80
Raccord cond. de refoulement	54 mm - 2 1/8"
Raccord cond.de refoulement (NH3)	DN 50
Adaptateur pour ECO (NH3)	DN 20 (Option)
Huile utilisée NH3	Reniso KC68 , SHC 226E
Standard de livraison	

(Annex 08) :

Echangeur a type a évaporateur

Données de départ

Puissance d'évaporateur	210 kW
Série	Standard
Fluide frigorigène	R717
Fluide caloporteur	Monoéthlène glycol (40%)
Température d'évaporation	-30,0 °C
Température d'entrée d'eau	--
Fluide sous refroidi (après le condenseur)	1,00 K

Encrassement	0,000040 m²K/W

Result

Type d'évaporateur	K1353T	K1973T	K2923T
Nombre de passes	2	4	4
Puissance d'evaporation	210 kW	210 kW	210 kW
Capacité maxi permise	262 kW	298 kW	427 kW
Temp. d'évaporation	-30,0 °C	-30,0 °C	-30,0 °C
Temp. de sortie d'eau	-20,00 °C	-27,0 °C	-22,4 °C
Débit volumétrique	9,10 m³/h	5,54 m³/h	6,34 m³/h
Débit volumétrique min.	5,84 m³/h	4,22 m³/h	6,15 m³/h
Débit volumétrique max.	29,2 m³/h	21,1 m³/h	30,8 m³/h
Débit	0,78 m/s	0,66 m/s	0,51 m/s
Perte de charge	0,04 bar	0,06 bar	0,04 bar

Annexe 9

Annexe 9.1. Tableau des valeurs du débit à haut pression en fonction de la température d'évaporation et propriétés du sol

Mhp (kg/s) W1,vs1	Mhp(kg/s) W2,vs2	Mhp(kg/s) W3,vs3	Mhp(kg/s) W4,vs4	Mhp(kg/s) W5,vs5	Mhp(kg/s) W6,vs6	Mhp(kg/s) W7,vs7	Mhp(kg/s) W8,vs8	Tf (°C)
0,2149	0,2184	0,2473	0,2445	0,2232	0,2402	0,1913	0,2961	-28
0,2156	0,2192	0,2482	0,2453	0,2241	0,2411	0,1921	0,2971	-29
0,2163	0,2198	0,2489	0,2460	0,2246	0,2417	0,1925	0,2487	-30
0,2167	0,2203	0,2496	0,2462	0,2252	0,2417	0,1931	0,2489	-31
0,2170	0,2206	0,2497	0,2469	0,2253	0,2425	0,1932	0,2995	-32
0,2174	0,2210	0,2503	0,2474	0,2258	0,2431	0,1936	0,21996	-33

Annexe 9.2. Tableau des valeurs du débit à basse pression en fonction de la température d'évaporation et propriétés du sol

Mbp (kg/s) W1, vs1	Mbp (kg/s) W2,vs2	Mbp (kg/s) W3,vs3	Mbp(kg/s) W4,vs4	Mbp(kg/s) W5,vs5	Mbp(kg/s) W6,vs6	Mbp(kg/s) W7, vs7	Mbp (kg/s) W8,vs8	Tf (°C)
0,1674	0,1701	0,1926	0,1904	0,1738	0,1871	0,1490	0,2305	-28
0,1678	0,1706	0,1931	0,1909	0,1743	0,1876	0,1494	0,2311	-29
0,1680	0,1707	0,1933	0,1911	0,1744	0,1877	0,1495	0,2314	-30
0,1682	0,1710	0,1936	0,1914	0,1747	0,1881	0,1498	0,2318	-31
0,1648	0,1712	0,1938	0,1916	0,1749	0,1882	0 ,1499	0,2320	-32
0,1689	0,1714	0,1941	0,1918	0,1751	0,1888	0,1501	0,2322	-33

ANNEXE 10

Tableau des valeur du cop en fonction de la température

La température du fluide	-28	-29	-30	-31	-32	-33
Cop R717	3,28	3,20	3,11	3,059	3,02	2,96
Cop R134a	3,35	3,21	3,16	2,95	2,92	2,86
Cop R22	5,12	4,97	4,68	4,62	4,58	4,37