

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



06.06/05



جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياة
المهنية
رقم الجرد : 667
UNIVERSITE DE JIJEL
FACULTE DES SCIENCES

02/02

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
Spécialité : Géologie de l'ingénieur



Thème

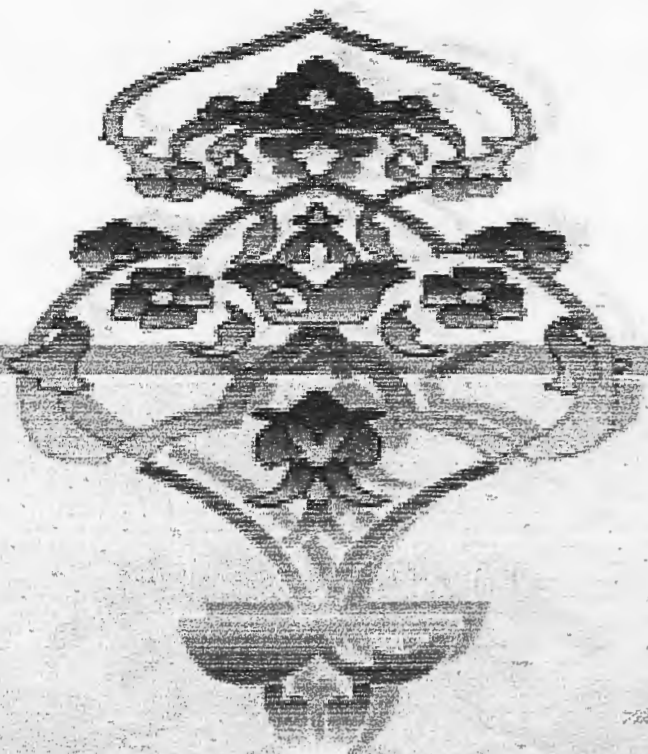
**Etude du glissement de terrain
de l'hôpital de Jijel**

Jury :
Président : Mme. Zeroual F.
Promoteur : Mr. Zennir A.
Examineur : Mr. Bouzenoune A.

Présenté par : Mr. Mouzaoui Abdallah
Mr. Souiki Fouad



Année universitaire 2004 - 2005



DEDICACES

Je dédie ce travail à :

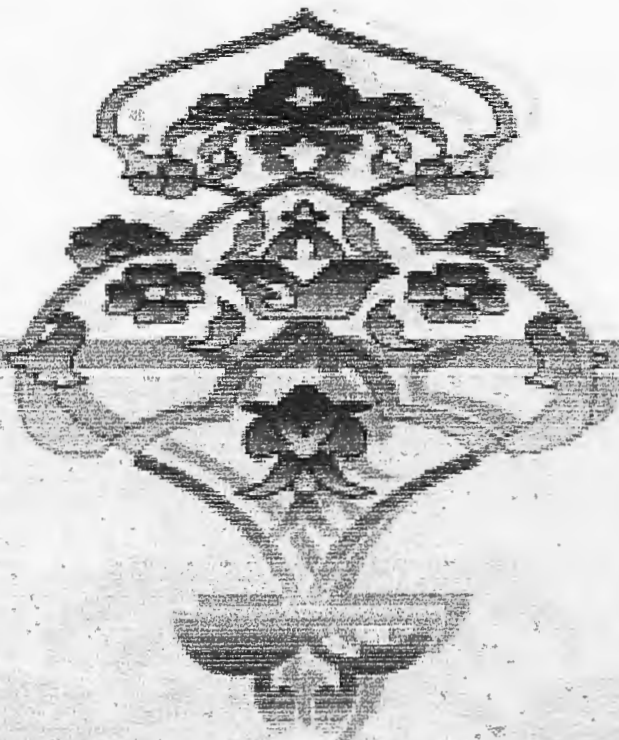
*Mes parents qui ont tant sacrifiés pour que je
réussisse.*

Mes frères et sœurs.

Mes amis.

Mouzaoui Abdallah





DEDICACES

*Je dédie ce travail à :
La mémoire de mon père.*

Ma mère.

Mes frères et sœurs.

Mes amis.

Souiki Fouad



REMERCIEMENTS

Notre profonde gratitude s'adresse à Monsieur Zennir A., Recteur de l'université de Jijel, pour avoir bien voulu accepter de diriger cette étude, ainsi que pour les précieux conseils qu'il nous a prodigué tout en suivant de près notre démarche scientifique.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à Madame Zeroual F. qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Nous présentons également nos remerciements à Monsieur Bouzenoune A. qui a accepté de participer à l'évaluation de notre travail.

Ce travail doit aussi beaucoup à l'aide et à l'assistance qui nous ont été apportées par : Madame Haddadi S., ingénieur au laboratoire des travaux publics de l'est, pour avoir accepté de mettre à notre disposition les données nécessaires à notre étude.

Le personnel du service technique de l'A.P.C. de Jijel, pour leur disponibilité.

Le personnel de l'hôpital de Jijel, pour nous avoir permis de travailler dans de bonnes conditions.

Nous tenons à remercier Monsieur Okba M., pour l'aide qu'il nous a donné pour la réalisation du programme informatique en Fortran 90.

Les topographies, Messieurs Razouk A. et Benayad A., et le photographe Monsieur Karaoui W., de l'université de Jijel, pour l'aide technique qu'ils nous ont fourni.

Le Docteur Bouafia A., Maître conférence à l'institut de génie civil de l'université de Blida, pour sa disponibilité permanente à nous aider.

Nous tenons enfin à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I : GEOMORPHOLOGIE DU SITE.....3

CHAPITRE II : GEOLOGIE DU SITE.....5

1- Géologie régionale.....	5
1.1- Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie.....	6
1.1.1- Le domaine Kabyle.....	6
*1.1.1.1- Le socle Kabyle.....	6
a- Un ensemble supérieur.....	6
b- Un ensemble inférieur.....	6
1.1.1.2- La dorsale kabyle.....	6
a- La dorsale interne.....	6
b- La dorsale médiane.....	6
c- La dorsale externe.....	6
1.1.2- Le domaine des Flyschs.....	7
1.1.2.1- Le Flysch Maurétanien.....	7
1.1.2.2- Le Flysch Massylien.....	7
1.1.3- Le domaine Tellien et l'avant pays.....	8
*1.1.4- Les formations post-nappes.....	8
1.1.4.1- Le Flysch Numidien (Le Numidien).....	8
1.1.4.2- L'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostromes.....	8
a- L'Oligo-Miocène Kabyle.....	8
b- Les Olistostromes.....	8
1.1.4.3- Le Nummulitique.....	9
1.1.4.4- Les formations du Miocène post-nappes.....	9
1.1.4.5- Le complexe magmatique.....	9
2- Géologie locale.....	10

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE DU SITE.....14

1- Les principaux types de nappes.....	14
1.1- Les grandes nappes libres des formations sédimentaires.....	14
1.2- Les nappes captives.....	15
1.3- Les nappes alluviales.....	15
1.4- Les nappes des roches dures fissurées.....	15
2- La présence d'eau dans le site.....	16
3- Etude hydrogéologique.....	18
3.1- Résultats de l'étude.....	18
3.2- Interprétation des résultats.....	22

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE.....	23
1- Echantillonnage.....	23
1.1- Sondage.....	23
1.2- Description schématique du carottier.....	23
2- Analyse du sol.....	24
2.1- Propriétés physiques.....	24
2.1.1- La teneur en eau.....	24
2.1.2- Le degré de saturation.....	25
2.1.3- La densité humide et la densité sèche.....	25
2.1.4- L'analyse granulométrique.....	25
2.1.5- Limite d'Atterberg.....	26
2.1.5.1- Définition et but de l'essai.....	26
2.1.5.2- Principe de l'essai.....	26
a- La limite de liquidité.....	26
b- La limite de plasticité.....	27
b.1- L'indice de plasticité.....	27
b.2- L'indice de consistance.....	28
b.3- L'activité des argiles.....	28
2.2- Propriétés mécaniques.....	28
2.2.1- Essai de cisaillement (Boîte de CASAGRANDE).....	28
2.2.1.1- Définition et but de l'essai.....	28
2.2.1.2- Principe de l'essai.....	28
2.2.1.3- Mode opératoire.....	29
2.2.2- Essai oedométrique.....	29
2.2.2.1- Principe de l'essai.....	29
2.2.2.2- Mode opératoire.....	30
2.2.2.3- Caractéristiques oedométriques.....	30
a- Indice de compression.....	30
b- Indice de gonflement.....	30
3- Résultats obtenus.....	31
4- Interprétation des résultats.....	34
4.1- Les propriétés physiques.....	34
4.2- Les propriétés mécaniques.....	35
5- Conclusion.....	35
CHAPITRE V : ETUDE DETAILLEE DU GLISSEMENT.....	36
1- Les différents types de mouvement de terrain.....	36
1.1- Les écroulements.....	36
1.2- Les coulées boueuses	36
1.3- Le fluage	36
1.4- Les glissements (Landslide).....	36
1.4.1- Le glissement plan	36
1.4.2- Le glissement rotationnel simple	36
2- Description des glissements	37
3- Exposition du problème	40
4- Calcul du cercle de glissement	40
4.1- Types de ruptures	40

4.2- Les méthodes de calcul	41
4.2.1- La méthode des tranches de Fellinus	41
4.2.1.1- Principe de la méthode	41
4.2.1.2- Etude de la tranche	43
a- Absence de la nappe	43
b- Présence de la nappe	44
4.2.2- La méthode de Bishop	45
4.2.2.1- Absence de la nappe	45
4.2.2.2- Présence de la nappe	45
4.3- Le choix de méthode	46
4.4- Application pratique	46
4.5- Calculs manuels	47
4.6- Calculs par le logiciel NIXES et TROLLS	55
4.6.1- Quadrillage	55
4.6.2- Description informatique du talus	56
4.7- Interprétation des résultats	57
CHAPITRE VI : CAUSES DE GLISSEMENT	58
1- La nature de terrain	58
2- Les diverses formes d'action de l'eau	58
3- La pente	59
4- L'influence des constructions et les travaux de l'homme sans précautions	59
CHAPITRE VII : SOLUTIONS PRECONISEES	61
1- Sur le plan hydraulique (drainage)	61
2- Sur le plan mécanique	62
2.1- Gabionnage	62
2.2- Mur de soutènement (mur voile)	62
2.2.1- Force de poussée	62
2.2.2- Pré dimensionnement du mur	63
2.2.3- Vérification de la stabilité totale du mur	64
3- Sur le plan aménagement	65
CONCLUSION	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE A : Les cercles de glissement	
ANNEXE B : Résultats des calculs (Nixes et Trolls)	
ANNEXE C : programme Fs	

RESUME

Le site étudié présente un terrain en pente (versant), siège d'un glissement localisé entre l'hôpital Mohamed Seddik Benyehia de Jijel en contre bas et la cité des 150 logements en amont.

Géologiquement parlant, le site faisant l'objet de notre étude appartient au domaine des flyschs numidiens de la Petite Kabylie. L'étude géotechnique nous a renseigné sur les faibles caractéristiques du terrain (faible valeur de la cohésion et de l'angle de frottement interne).

Le traitement des données a été réalisé manuellement suivi d'un traitement informatique par le logiciel "Nixes et Trolls".

Les causes du glissement apparaissent évidentes (nature du terrain, diverses formes d'action de l'eau, pente), et pour y remédier, on a préconisé quelques solutions pratiques capables d'arrêter l'évolution de ce phénomène (drainage, gabionnage, mur de soutènement, reboisement).

La nouveauté de ce travail consiste en l'élaboration d'un programme informatique en langage fortran 90 qui calcule le facteur de sécurité au glissement.

Enfin, comme suggestion, on a proposé l'association des géologues et géotechniciens lors de l'élaboration du plan d'occupation du sol (P.O.S.).

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le glissement du talus de l'hôpital de Jijel, datant de 1997, localisé le long de la route joignant la cité des 150 logements à village Moussa, a été reconnu par deux études géotechniques réalisées par le laboratoire des travaux publics de l'Est-Jijel et le bureau d'études géotechniques de sols et fondations de Sétif ; comme étant un glissement lent de type fluage, glissement plan sur une surface séparant des marnes schisteuses qui perdent toutes leur caractéristiques mécaniques quand elles sont imbibées.

Cependant, pour éviter tout problème à l'avenir, nous avons décidés, alors qu'il n'a pas été fait jusqu'à présent, d'étudier l'hypothèse d'un glissement circulaire, en particulier celle d'un glissement profond, dans la mesure où plusieurs importantes constructions sont situées à l'aval du talus (hôpital, siège de la wilaya, C.E.M., habitations).

L'objectif de notre contribution est d'évacuer une fois pour toute cette hypothèse dangereuse et de confirmer ou d'infirmer la profondeur du plan de glissement (situé à 6 m de profondeur par les deux études citées précédemment) et de vérifier la bonne tenue des solutions présentées par les deux études (drainage, confortement).

De plus, la nouveauté de ce travail est la mise au point d'un programme informatique en langage Fortran 90 de traitement des talus; en plus du calcul manuel et un calcul informatique par le logiciel Nixes et Trolls.

La présente étude s'articule autour de sept grands chapitres; les quatre premiers seront consacrés à la reconnaissance générale du site (géomorphologie, géologie, hydrogéologie et étude géotechnique du site). Ensuite nous aborderons l'étude détaillée du glissement et ses causes. Les solutions préconisées feront l'objet du dernier chapitre.



Echelle : 1/25000

Carte de situation

I/- GEOMORPHOLOGIE DU SITE

Morphologiquement, la région est caractérisée par deux directions orographiques principales (Djellit, 1987) (fig.I.1)

- La première (WNW – ESE) : est limitée par la ligne de crête joignant le chaînon des Tamesguida à celui des Ketama.
- La seconde (N – S) : est limitée par de petits massifs parallèles (Beni Khettab, Beni Afeur, Bouhanche), entaillés de profondes vallées de même direction (vallée de l'oued Djendjen, vallée de l'oued Kessir, oued Mencha et oued Bourchaid).

Pour le cas étudié, le site est un terrain en pente (versant), qui est le siège d'un glissement entre l'hôpital Mohammed Sedik Benyahia en contre bas et la cité des 150 logements à l'amont

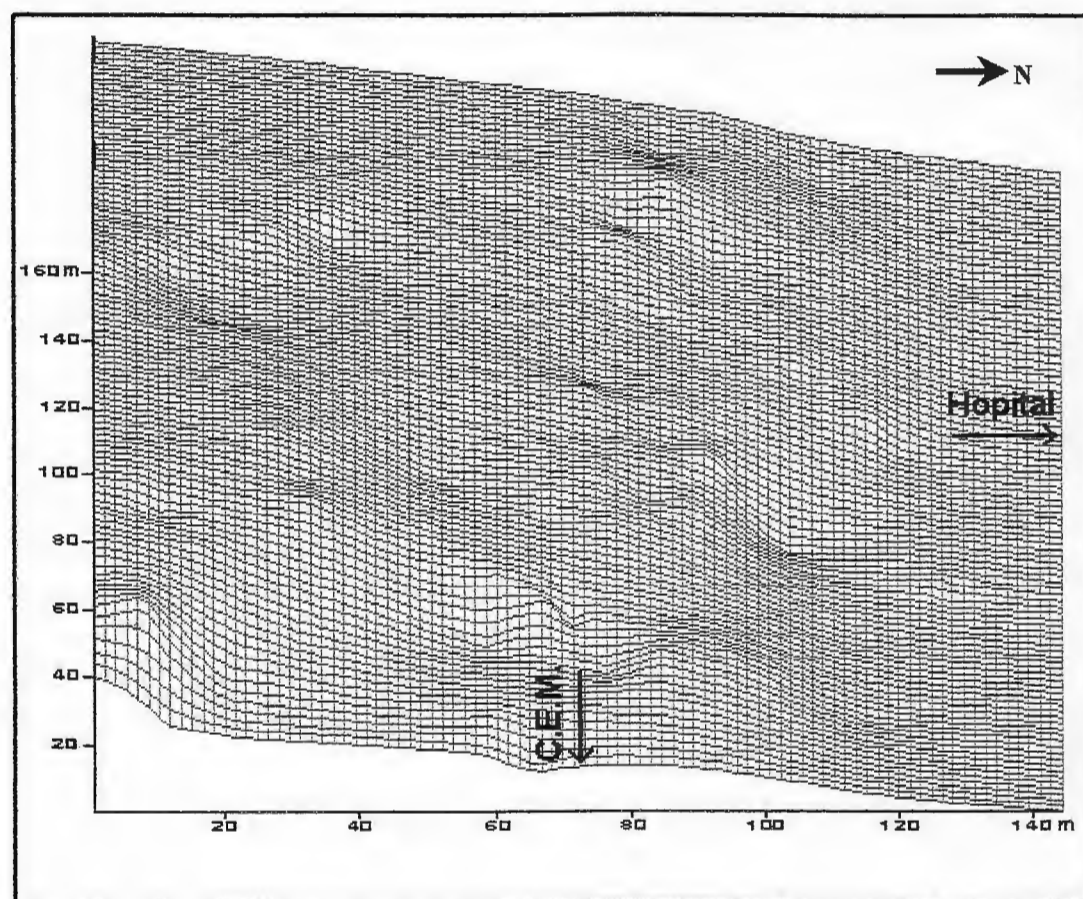


Fig.I.1 : Géomorphologie du site en trois dimensions

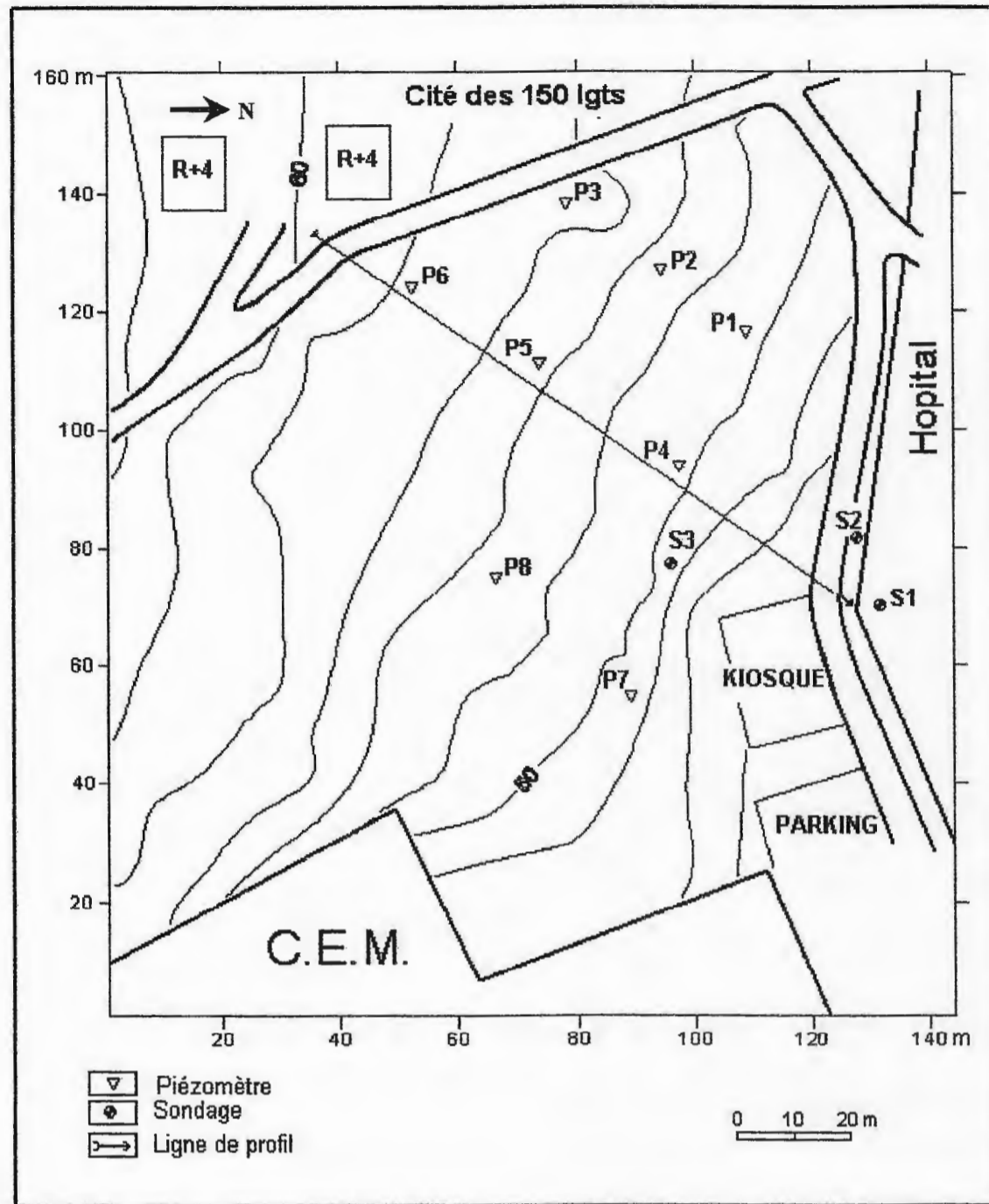


Fig.I.2 : Carte topographique de la zone affectée par le glissement.

II/- GEOLOGIE DU SITE

1/- Géologie régionale :

La région d'étude fait partie de la petite Kabylie, cette dernière appartient à la zone Sud de la chaîne Alpine appelée « les Maghrébides » et constituée de plusieurs nappes charriées sur la plate forme africaine.

La branche Sud de la chaîne Alpine est constituée de deux domaines :

- **Le domaine interne** : Appelé aussi domaine kabyle et situé au Nord de la Petite Kabylie, il est issu de la dilacération de la plaque d'Alboran et comprend les formations cristallophylliennes du socle kabyle et la dorsale kabyle.

Les formations du domaine interne affleurent en Algérie en trois pointements amygdalaires qui sont représentés par les massifs du Chenoua à l'Ouest, de Grande Kabylie au centre et de Petite Kabylie à l'Est (fig. II.1).

- **Le domaine externe** : situé au Sud de la Petite Kabylie, il comprend le domaine des flyschs et le domaine tellien.

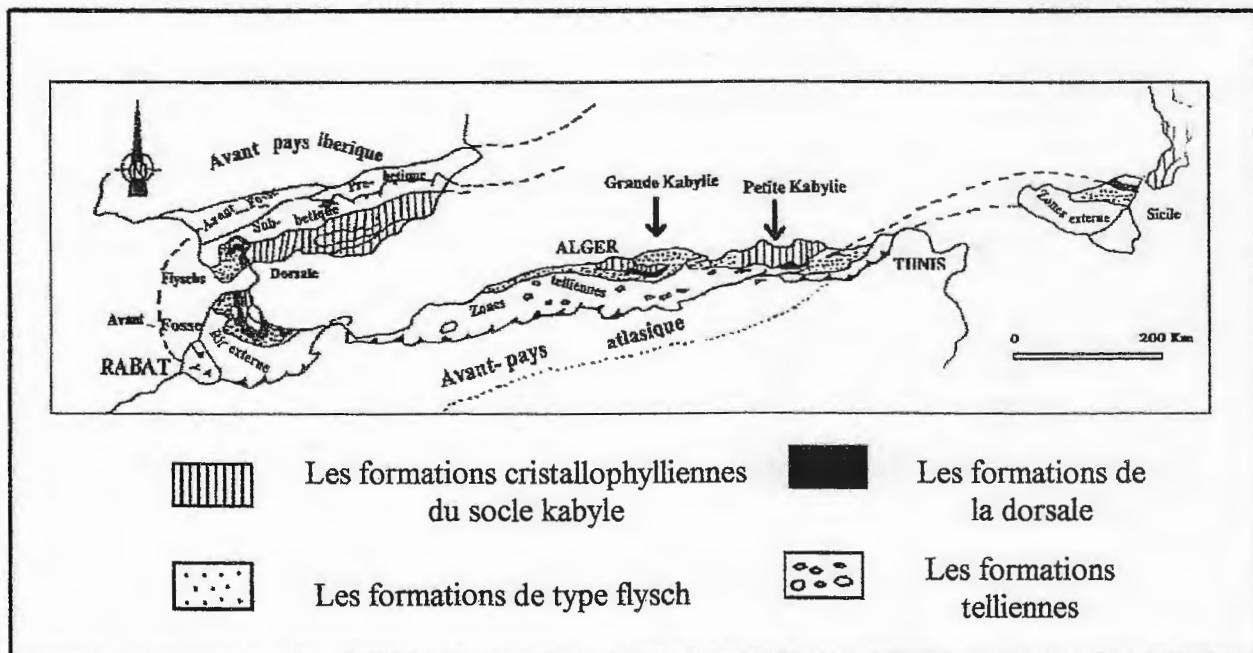


Fig.II.1 : Structure de la chaîne Alpine de la Méditerranée occidentale.

(Durand Delga M., 1969)

1-1/- Les grands ensembles géologiques du massif de la Petite Kabylie (Maghrébides) :**1-1-1/- Le domaine Kabyle :**

Regroupe le socle kabyle, formé essentiellement de terrains métamorphiques antétriasiques (socle ancien); et la dorsale kabyle, constituée de séries de plates-formes carbonatées d'âge Mésozoïque (Djellit, 1987).

1.1.1.1/- Le Socle Kabyle :

Il apparaît sous forme de trois pointements amygdalaires insérés au sein de vastes nappes à matériel flysch. Ce sont les massifs de Chenoua à l'Ouest, de Grande Kabylie au centre et de Petite Kabylie à l'Est. Le socle de ces massifs est largement chevauchant vers le sud sur des formations sédimentaires et comporte deux ensembles :

a/- Un ensemble supérieur :

Il est constitué de schistes satinés (phyllades) où s'intercalent localement des grés et des porphyroïdes ocellés (ancien granite étiré).

b/- Un ensemble inférieur :

Il est constitué de gneiss fins et ocellés avec une puissante intercalation de marbre et d'amphibolite.

1.1.1.2/- La Dorsale Kabyle (chaîne calcaire ou chaîne liasique) :

Elle marque, grâce à ses reliefs carbonatés, la limite entre le socle kabyle au Nord et les zones telliennes au Sud.

Selon Raoult (in Djellit, 1987), cette dorsale est subdivisée en trois parties qui sont du nord vers le Sud :

a/- La Dorsale interne :

Sur un soubassement Paléozoïque, elle montre une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Ce dernier est surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur- moyen.

b/- La Dorsale médiane :

Caractérisée surtout par la constance des dépôts marneux à micro-faunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune des termes du Crétacé moyen.

c/- La Dorsale externe :

Elle présente un Crétacé supérieur et un Eocène inférieur détritique et lacuneux et elle repose en contact anormal sur les flyschs.

La dorsale Kabyle montre donc des séries de plates-formes qui deviennent plus pélagiques au Crétacé. Cette dorsale a été le siège d'une tectonique tangentielle à vergence sud à partir de la fin du Lutétien.

1-1-2/- Le domaine des Flyschs :

Les flyschs allochtones en Algérie sont subdivisés en deux types principaux, d'âge Crétacé à Paléogène qui sont le flysch Maurétanien et le flysch Massylien (fig. II.2).

1.1.2.1/- Le Flysch Maurétanien :

Présente des séries allant du Néocomien au Lutétien. Il comprend de bas en haut :

- Un présflysch calcaire du Néocomien.
- Une épaisse série gréseuse de l'Albo-Aptien (flysch de Guerrouch).
- Des phthanites rouges et blancs du Cénomanién supérieur
- Des microbrèches à ciment spathique du Sénonien.
- Au sommet, des conglomérats et des argiles du Paléogène.

1.1.2.2/- Le Flysch Massylien :

Présente une série allant du Néocomien au Lutétien. Il comporte de bas en haut trois ensembles :

- Un terme argilo-quartzitique d'Albo-Aptien
- Des microbrèches, des calcaires fins auxquels s'associent des phthanites noirs du Cénomanién.
- Une alternance entre les argiles et les microbrèches du Crétacé supérieur

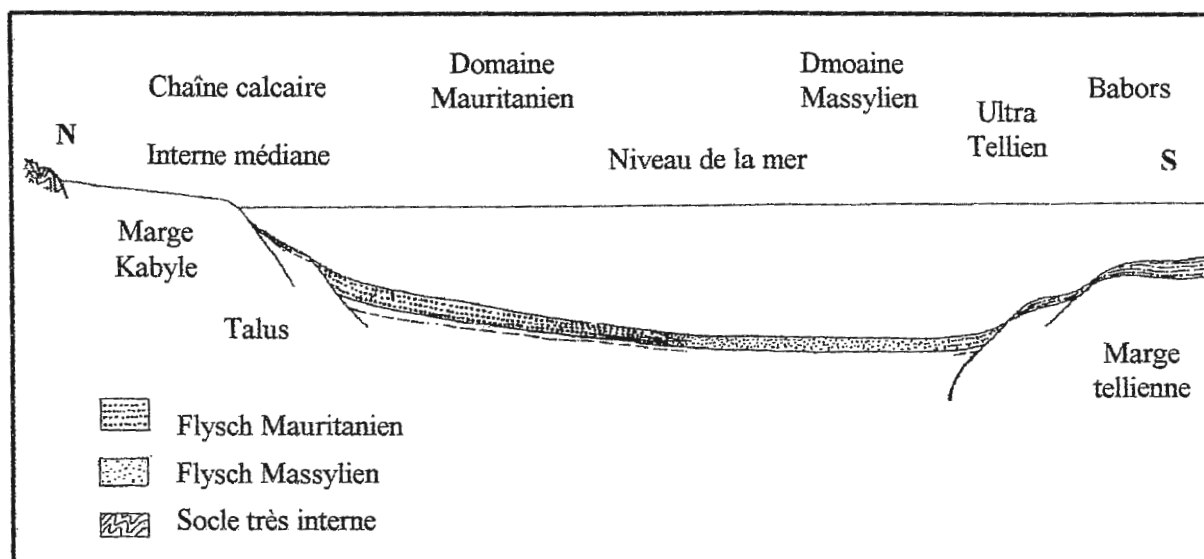


Fig.II.2 : Le domaine des Flysch
(d'après Bouillin, 1979)

1-1-3/- Le domaine Tellien et l'avant pays :

Situé à l'avant des zones internes qui le chevauchent, c'est-à-dire au Sud du socle Kabyle, il est lui-même largement charrié sur un para autochtone représenté par les calcaires mésozoïques des massifs Bibaniques. Il est constitué par un empilement de trois grandes nappes, qui sont du Nord vers le Sud (Djellit, 1987) :

- Les nappes épi-telliennes,
- Les nappes méso-telliennes,
- Les nappes infra-telliennes.

1-1-4/- Les formations post-nappes :

1.1.4.1/- Le Flysch Numidien (Le Numidien) :

Occupe la position structurale la plus haute de l'édifice Alpin, il affleure dans la région de Jijel et d'El Milia à l'Ouest et dans la région de Collo et de Skikda à l'Est (fig.II-3). Il comprend de bas en haut :

- Des argiles sous-numidiennes, de teinte verte, rouge ou violacée de l'Oligocène.
- Des grés numidiens de l'Aquitaniens en banc épais, à quartz roulés très hétérogènes
- Des marnes et argiles supra-numidiennes à siléxites du Burdigalien inférieur.

1.1.4.2/- L'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostromes :

a/- L'Oligo-Miocène Kabyle :

Il constitue la couverture sédimentaire, transgressive et discordante du socle Kabyle. Ces formations sont constituées de bas en haut :

- Des conglomérats reposants en discordance sur le socle Kabyle dont l'épaisseur peut aller de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres (Durand Delga, 1955 ; Bouillin, 1977).
- Des grés micacés grossiers à débris provenant du socle Kabyle
- Une série pélitique à siléxites.

b/- Les Olistostromes :

Sont des formations détachées d'une pente et qui ont glissés par gravité sur le fond d'un bassin sédimentaire (en général sous l'eau). Leur présence est un indice d'activité tectonique créatrice de relief. Ce sont des formations tectono-sédimentaires d'âge Aquitaniens à Burdigalien, constituées par des débris de flyschs.

1.1.4.3/- Le Nummulitique :

Constitue la couverture de la dorsale Kabyle et du Flyschs Maurétanien et représenté par des formations grés-micacés. Il va de la fin du lutétien jusqu'à l'Oligocène supérieur.

1.1.4.4/- Les formations du Miocène post-nappes :

Constituées par des dépôts marins et continentaux. Dans le Nord de la Petite Kabylie, elles comportent deux cycles sédimentaires :

- Une série marneuse tortono-messinienne qui repose en discordance à la fois sur le socle Kabyle et les molasses olistostromiques (Djellit, 1987),
- Des grés provenant de la destruction du flyschs Numidien.

Dans le Sud de la Petite Kabylie, ces formations sont constituées essentiellement de dépôts continentaux (conglomérats, sables, gravier, argiles,...etc.).

1.1.4.5/- Le complexe magmatique :

Les formations magmatiques de la Petite Kabylie affleurent en trois régions (fig.II.3).

- Dans la région d'El Aouana à l'Ouest (rhyolite, microdiorite).
- Dans la région d'El Milia au centre (granite, microgranite).
- Dans la région de Collo à l'Est (granite, péridotie).

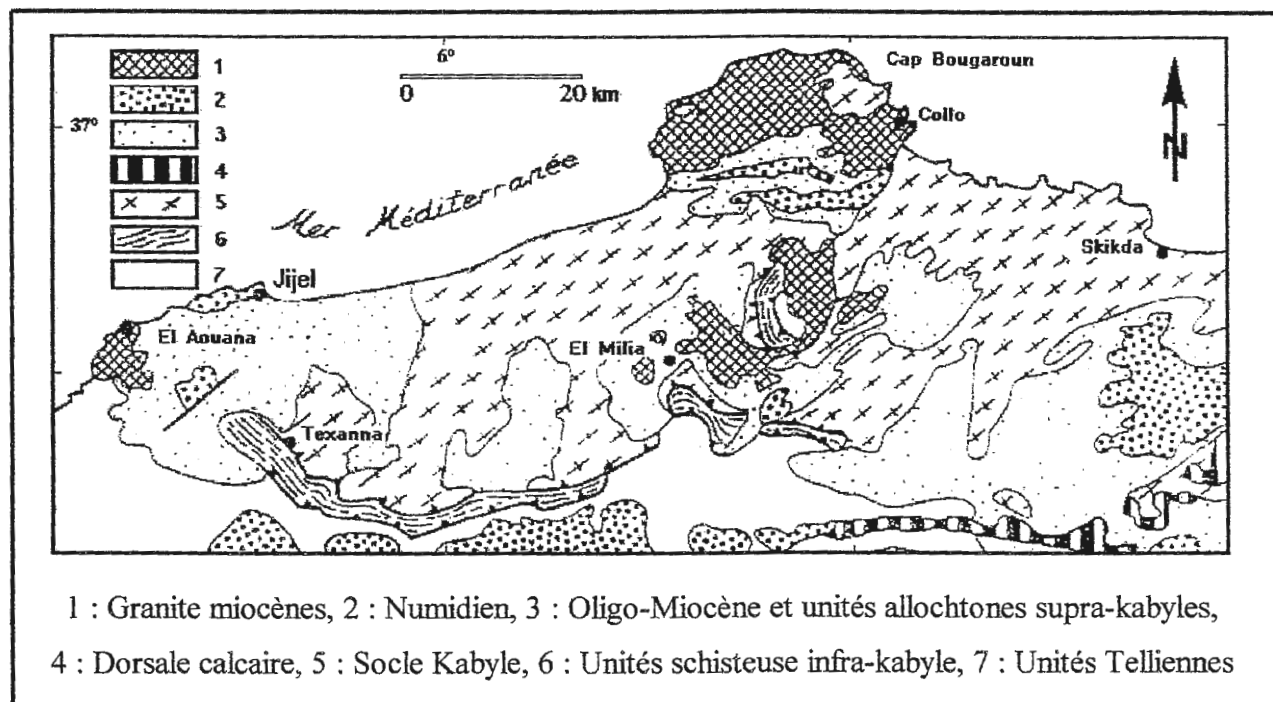


Fig.II.3 : Esquisse géologique de la petite Kabylie

(Andrieux et Djellit, 1989 , in Remoum, 2002)

2/- Géologie locale :

De l'étude de la géologie régionale, on peut classer le site étudié dans le domaine des flyschs Numidien. Dans le but d'une étude géologique plus approfondie, on a utilisé des données de sondages réalisées par le laboratoire des travaux publique de l' Est-Jijel (1997).

Les sondages sont les suivants :

- **Sondage N°1 :** 0,00 / 3,00 m : Remblai argileux
3,00 / 9,80 m : Argile
9,80 / 18,00 m : Marne schisteuse

- **Sondage N°2 :** 0,00 / 6,00 m : Remblai.
6,00 / 9,40 m : Argile
9,40 / 15,00 m : Marne schisteuse

- **Sondage N°3 :** 0,00 / 6,00 m : Remblai argileux
6,00 / 12,00 m : Argile
12,00 / 20,00 m : Marne schisteuse

Les formations traversées sont essentiellement à caractères argileux. On trouve des argiles reposant sur un substratum marno-schisteux.

Ces sondages nous permettent la réalisation d'une coupe lithologique (corrélation des sondages).

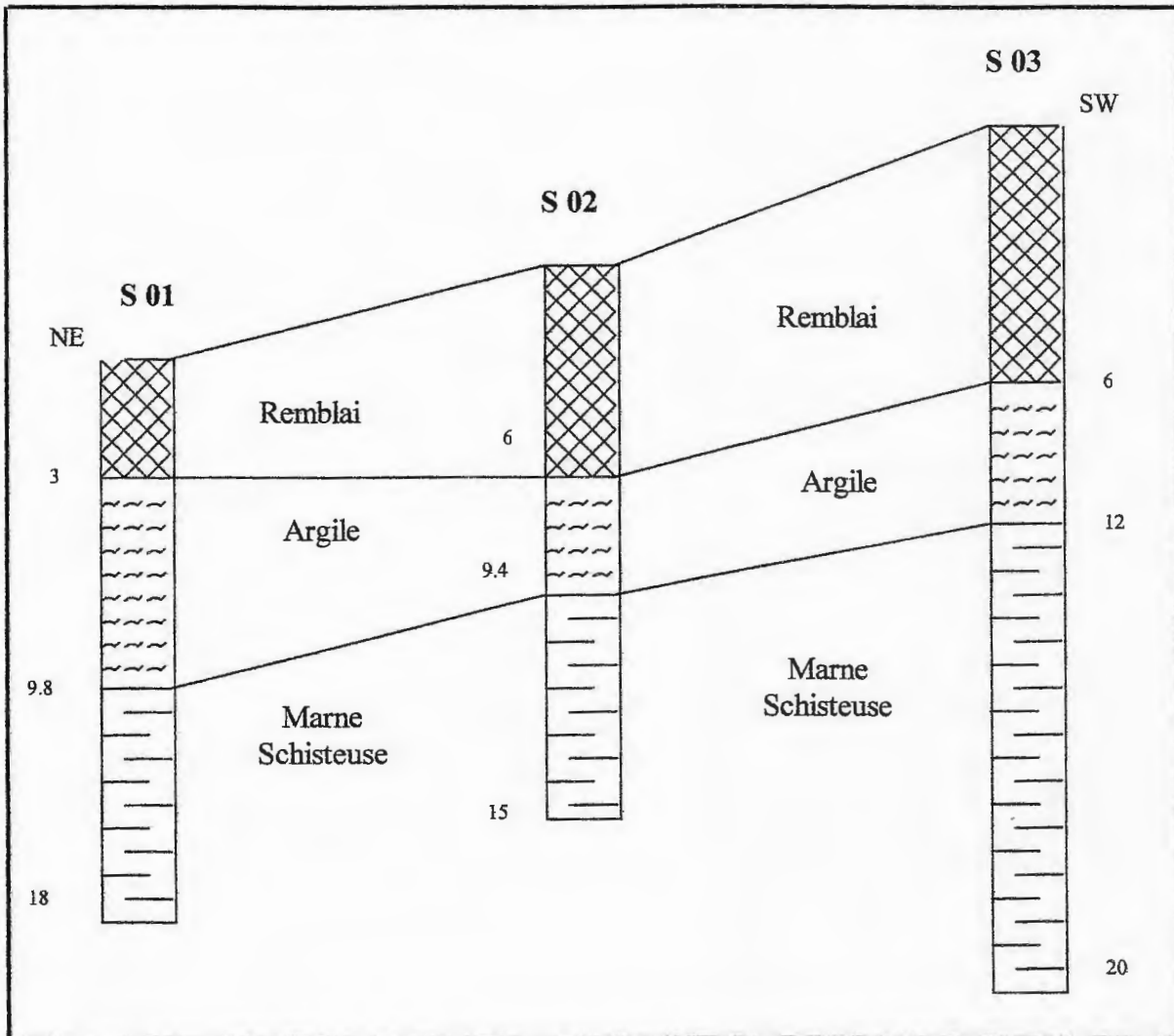


Fig.II.4 : Coupe lithologique (corrélation des sondages)



De l'étude de la géologie du site, on peut faire ressortir les conclusions suivantes :

- la couche superficielle est représentée par un remblai atteignant 6 m d'épaisseur,
- le substratum est représenté par les marnes schisteuses,
- le toit du substratum présente une pente assez importante.



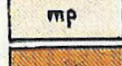




Extrait de la carte structurale du Nord Est de l'Algérie et des confins Algéro-Tunisiens (d'après Vila, 1980)

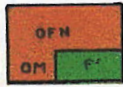


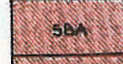
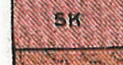

ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES

-  Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.
-  θ: Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hammam Meskoutine(θ).

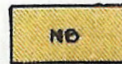
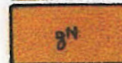

ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR

-  Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).
-  Pliocène marin des zones côtières.
-  Mio-Pliocène continental.
-  Burdigalien supérieur-Langhien de la marge littorale.
-  Miocène marin transgressif indifférencié des nappes telliennes et de leur évent-pays allochtone, parautochtone ou autochtone.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE




-  Oligo-Miocène kabyle, olistostromes à flyschs résédimentés (y compris le Numidien) et flyschs en position nord-kabyle (F').
-  Olistostromes superposés à l'Oligo-Miocène kabyle; OF- Olistolites telliens de la région d'El Milia.
-  CHAÎNE CALCAIRE: Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones interne, médiane et externe.
-  Socle kabyle: SBA- Paléozoïque des Béné-Afeur
-  SK- Socle métamorphique de Petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres).
-  SB- Socle basique du Cap Bougaroun (péridotites et "kinzigites" rétro-morphosées).

NAPPE NUMIDIENNE

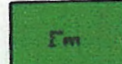
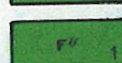


-  Formation de Babouche (Aquitano-Burdigalien).
-  Grès numidiens et séries mixtes.
-  Principaux affleurements d'argiles de base à Tubotomaculum.

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

FLYSCHS MAURÉTANIENS

-  Séries internes d'Aïn Macour, de Sidi Phiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Tabet, de la Robertsau (Souk es Sebt) et de La Marsa. Séries médianes de Guerrouch, d'El Kern, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Ponthièvre) Séries externes (ex-"Madjanien") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mez-zouch et de Ziane.
-  Cas de la série des Achaïches (série médiane).
1- Crétacé
2- Jurassique
3- Permo-Trias et Carbonifère.
-  Unité Sendouh-Tabellout à substratum basique.

FLYSCHS MASSYLIENS

-  Séries typiques à phanites ou à brèches vertes et rouges.
-  Cas de la série du Djebel Filfila
1- Crétacé
2- Jurassique.
-  Unités de type Adissa et Sénonien marneux à microbrèches ou à blocs.
-  A- Eocène
F- Sénonien marneux à microbrèches ou à blocs.

CHAPITRE III :

HYDROGEOLOGIE DU SITE

III/- HYDROGEOLOGIE DU SITE

La majorité des désordres survenants dans les talus est en relation avec un problème d'ordre hydrogéologique. L'eau diminue la stabilité des talus par les différents processus suivants :

- En produisant les pressions interstitielles, qui diminuent les contraintes effectives, et donc la résistance au cisaillement.
- En dégradant superficiellement le sol.

L'importance de l'étude hydrogéologique réside dans le fait qu'elle a pour but de mettre en évidence les problèmes que la présence de l'eau posera et de fournir tous les éléments nécessaires à leur solution. Cette étude nous permet de déterminer :

- La nature et l'hétérogénéité des sols,
- La géométrie des terrains aquifères,
- La surface piézométrique,
- L'alimentation et l'exutoire de la nappe.

C'est à partir de ces éléments qu'on réalise l'étude hydrogéologique qui permettra de choisir un système de drainage et de juger de son efficacité.

1/- Les principaux types de nappes :

Il y a plusieurs types de nappes, selon les roches-magasins et selon la nature du réservoir. (fig.III.1).

1.1/- Les grandes nappes libres des formations sédimentaires :

Il s'agit de roches poreuses (sable, craie, calcaire), jadis déposées en vastes couches. Elles peuvent contenir de 50 à 100 l d'eau par m³. Les forages peuvent délivrer à peu près de 50 à 200 m³ d'eau à l'heure.

Ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de "couverture" imperméable au toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface.

Certaines nappes libres sont constituées par des plateaux calcaires où les vides sont surtout des fissures élargies par la dissolution, parfois jusqu'à la taille de gouffres et de cavernes. Ce sont des Karst, ils peuvent donner lieu à de grosses sources, mais comme les vides contenant de l'eau sont grands et peu nombreux, la réserve s'écoule vite et le débit des sources varie parfois de 1 à 100 m³/s au cours de l'année. Dans les régions méditerranéennes, beaucoup de ces sources tarissent en fin d'été.

1.2/- Les nappes captives :

Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou des communications souterraines. Dans les déserts, ces nappes sont fossiles. Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées.

Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus). On peut alors les exploiter pour la géothermie.

1.3/- Les nappes alluviales :

Elles constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières.

Comme exemple, en France, ces nappes fournissent 60 % des eaux souterraines, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bon débit. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois, ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est rare mais habituel dans les Oueds des pays arides.

1.4/- Les nappes des roches dures fissurées :

Constituent un type de réservoir aquifère aux capacités modestes mais appréciables pour les petites collectivités et les agriculteurs.

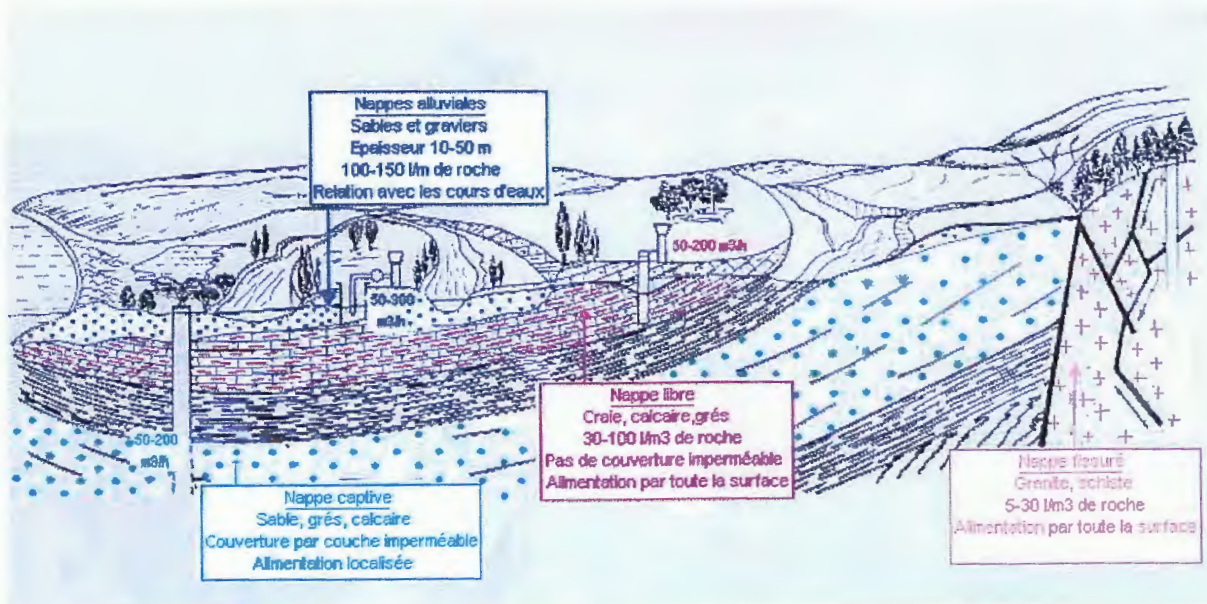


Fig.III.1 : Principaux types de nappes

(D'après B.R.G.M., 2005)

2/- La présence d'eau dans le site :

Il s'agit aussi bien d'eau superficielles (résiduaire et de ruissellement naturelle) que d'eaux souterraines sous forme de résurgences.

En effet, sur l'ensemble du versant, et à l'intérieur de la cité des 150 logements, on constate que les écoulements sont partout visibles :

- Eaux usées s'écoulaient d'une manière anarchique,
- Eaux naturelles sous forme de :
 - Sources,
 - Suintements,
 - Traces d'humidité,
 - Ruissellements.

La présence d'une forte végétation est aussi un indice révélateur de présence d'eau.



Photo.III.1 : Indice d'une nappe d'eau superficielle (Photo prise le 23-05-2005)



Photo.III.2 : Propagation des eaux usées (Photo prise le 27-06-2005)

3/- Etude hydrogéologique :

Dans le but de déterminer la direction de la nappe et de réaliser sa carte piézométrique, on s'est basé sur les résultats de l'étude réalisée par le bureau d'études géotechniques de sols et fondations et qui nous a fourni les valeurs des différents niveaux de nappe. Cette étude a consistée en la pose de huit piézomètres dans la partie amont de l'hôpital.

3-1/- Résultats de l'étude :

La lecture des niveaux d'eau (nappe) a été effectuée du 01 Juin au 12 juillet 1998 (voir les tableaux suivants).

Tableau №III.1 : Mesures piézométriques du 01 au 05 Juin 1998 (D'après B.E.G.S.F., 1998)

Nº	1 Juin	2 juin	3 Juin	4 Juin	5 juin
1	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
2	- 2 m	En surface	En surface	En surface	En surface
3	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
4	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
5	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
6	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
7	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant
8	Néant	- 2,10 m	- 1,25 m	-1,20 m	-1,20 m

Tableau №III.2 : Mesures piézométriques du 10 au 18 Juin 1998 (D'après B.E.G.S.F., 1998)

Nº	10 Juin	11 juin	16 Juin	16 Juin	18juin
1	- 1,50 m	- 1,50 m	-1,40 m	-1,40 m	-1,35 m
2	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
3	- 1,20 m	- 0,75 m	- 0,70 m	- 0,70 m	- 0,70 m
4	- 2,95 m	-2,75 m	-2,50 m	- 2,30 m	- 2,30 m
5	-2,20 m	-0,80 m	- 0,75 m	- 0,75 m	- 0,70 m
6	- 1m	En surface	En surface	En surface	En surface
7	-2,70 m	- 1,30 m	-1,20 m	- 1,20 m	- 1,20 m
8	-1,20 m	- 1,15 m	- 1,15 m	- 1,15 m	- 1,10 m

Tableau №III.3 : Mesures piézométriques du 19 au 23 Juin 1998 (D'après B.E.G.S.F., 1998)

	19 Juin	20 juin	21 Juin	22 Juin	23 juin
1	- 1,20 m	- 1,20 m	-	-	-
2	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
3	- 0,60 m	- 0,40 m	- 0,40 m	- 0,40 m	0,40 m
4	- 2,20 m	- 2,20 m	- 2,20 m	- 2,20 m	- 2,20 m
5	- 0,70 m	0,70 m	- 0,70 m	0,70 m	- 0,70 m
6	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
7	- 1,20 m	- 1,20 m	- 1,15 m	- 1,15 m	- 1,10 m
8	-1,10 m	- 1,10m	- 1,10 m	- 1,10 m	- 1,10 m

Tableau N°III.4 : Mesures piézométriques du 24 Juin au 12 Juillet 1998 (D'après B.E.G.S.F., 1998)

	24 Juin	25 juin	26 Juin	27 Juin	12 Juillet
1	-	-	-	-	-
2	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
3	- 0,40 m	- 0,40 m	- 0,40 m	- 0,40 m	0,40 m
4	- 2,00 m	- 2,00 m	- 2,00 m	- 2,00 m	- 1,90 m
5	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
6	En surface	En surface	En surface	En surface	En surface
7	- 1,10 m	- 1,10 m	- 1,10 m	- 1,00m	- 0,95 m
8	-1,10 m	- 1,00m	- 1,00 m	- 0,95 m	- 0,90 m

3-2/- Interprétation des résultats :

- L'examen de ces observations permet de constater l'existence de :
 - Une zone où la nappe affleure à la surface (partie amont).
 - Une zone où la nappe n'affleure pas à la surface (partie aval).
- Le fait que le niveau de l'eau relevé dans les piézomètres est resté stable pendant la période allant du 01 Juin au 12 juillet, nous permet de considérer qu'il s'agit bien d'un niveau statique.
- On peut considérer que l'écoulement de l'eau de cette nappe est parallèle à la pente du versant (fig. III-3).

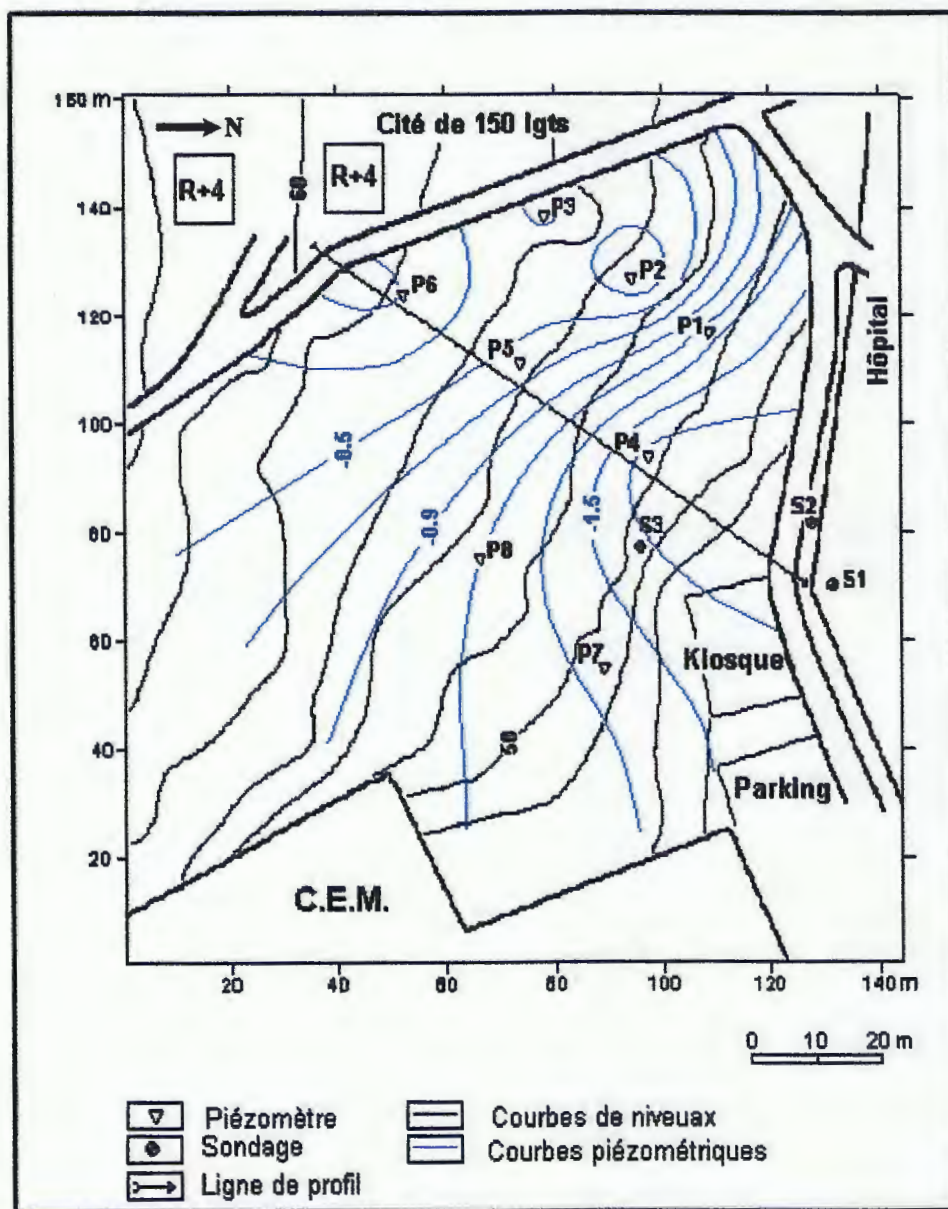


Fig.III.2 : Carte piézométrique

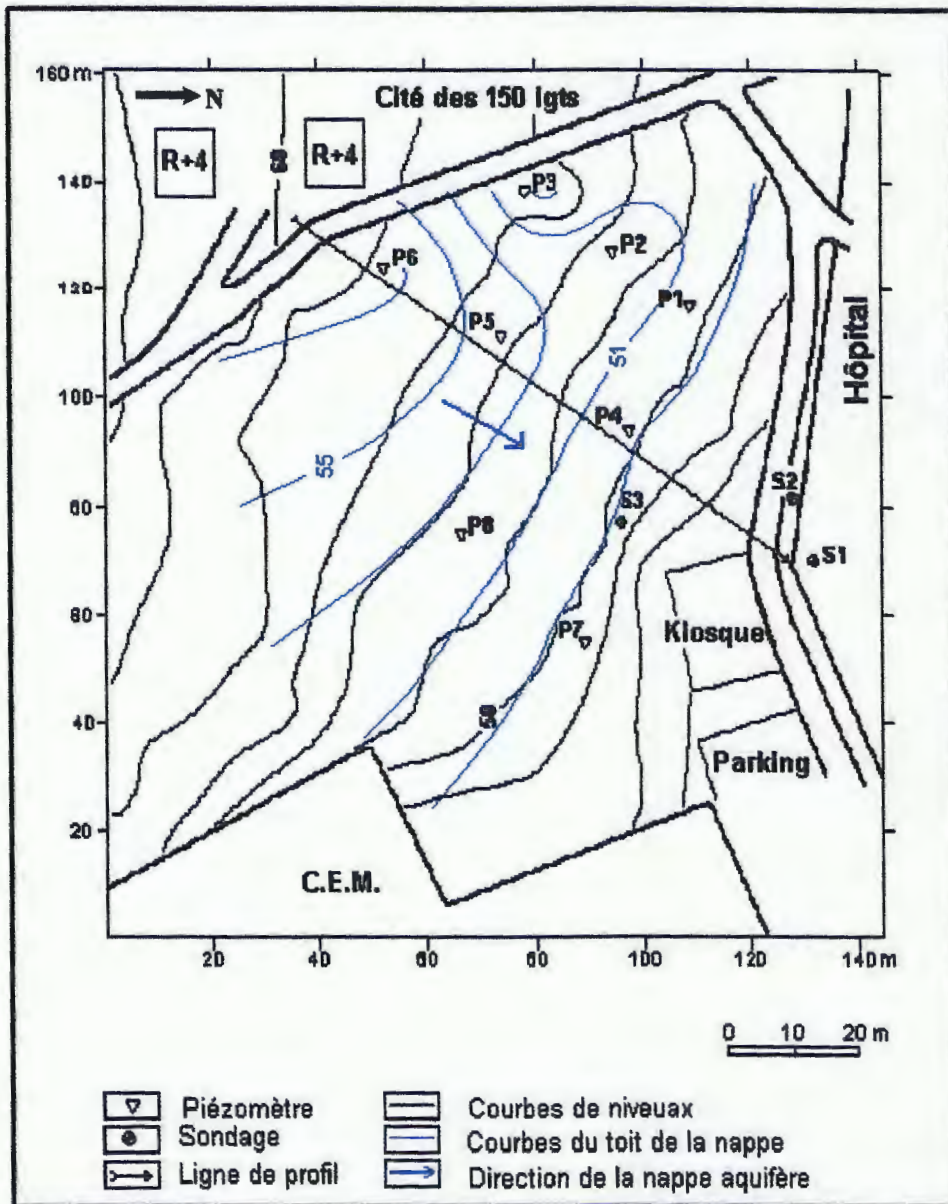


Fig.III.3 : Carte d'écoulement de la nappe

CHAPITRE IV :
ETUDE GEOTECHNIQUE

IV/- ETUDE GEOTECHNIQUE

L'étude géotechnique met à notre disposition des techniques qui nous permettent d'étudier d'une façon globale ou détaillée le sol et le sous-sol. Ces études se font au moyen d'essais.

L'intérêt de l'étude géotechnique réside dans le fait qu'elle nous permet de collecter des informations sur :

- Les propriétés physiques et mécaniques des sols des différentes couches retenues.
- La nature des couches (d'après les résultats des essais in-situ et en laboratoire).
- La structure géométrique et la nature du sol de fondation (délimitation des couches d'après la nature et l'état du sol)
- La recherche des niveaux de la nappe.

1/- Echantillonnage :

1-1/- Sondage:

Les sondages carottés nous donnent des renseignements précis sur la nature du terrain, et nous permettent d'effectuer des prélèvements d'échantillons dans d'excellentes conditions, cependant ils deviennent très coûteux quand la profondeur dépasse 7 à 8 mètres.

Les sondages représentent toujours une part importante du coût d'une campagne de reconnaissance.

1-2/- Description schématique du carottier :

Le carottier est un tube mince sans fond. Sa partie supérieure comporte une tige creuse dans laquelle coulisse un piston actionné soit par percussion soit par pression, c'est le mouvement du piston qui permet l'enfoncement du carottier dans le sol où il découpe un cylindre de terrain constituant la carotte.

Pour éviter l'altération de la carotte et en particulier la modification de sa teneur en eau, il faudra l'emballer soigneusement et immédiatement après le prélèvement de l'échantillon. Pour se faire, on peut l'envelopper dans un papier paraffiné et la glisser dans une boîte ou dans un tube.

Notre projet consiste à étudier les résultats de 03 sondages réalisés par le L.T.P.E. (1997) au niveau du site affecté par le glissement (Fig.II.2). Le but de cette campagne de sondage était de mieux connaître :

- La nature géologique du site,
- Les caractéristiques physiques et mécaniques du sol,
- La vérification de la stabilité du site suite au terrassement effectué (hôpital, route).

2/- Analyse du sol :

Sur les échantillons intacts, prélevés des sondages, nous avons exécutés les essais d'identification physiques et mécaniques pour la détermination de :

- La teneur en eau,
- La densité sèche,
- Le degré de saturation,
- L'analyse granulométrique,
- Les limites d'Atterberg :
 - La limite de liquidité,
 - La limite de plasticité,
 - L'indice de plasticité,
- Les caractéristiques de résistance au cisaillement :
 - La cohésion,
 - L'angle de frottement interne,
- Les caractéristiques oedométriques :
 - La pression de consolidation,
 - L'indice de compression,
 - L'indice de gonflement.

2-1/- Propriétés physiques :

2.1.1/- La teneur en eau :

L'essai se fait par deux pesées de l'échantillon; la première effectuée avant le passage à l'étuve à 105° et nous donne le poids total de l'échantillon (W_T), la deuxième pesée effectuée après le passage à l'étuve à 105° nous donne le poids sec de l'échantillon (W_s).

$$\text{La teneur en eau : } w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_t - W_s}{W_s} \quad (\text{en } \%)$$

w_w : le poids de l'eau.

- Remarque :** - Pour les sols grenus, la durée de séchage est de six heures minimum,
 - Pour les sols fins, la durée de séchage est de douze heures minimum.

2.1.2/- Le degré de saturation :

Il indique dans quel pourcentage les vides sont remplis par l'eau; c'est le rapport entre le volume de l'eau et le volume des vides de l'échantillon.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

S_r : degré de saturation.

V_w : volume de l'eau.

V_s : volume de vides.

2.1.3/- La densité humide et la densité sèche :

- La densité humide : $d_h = \frac{\gamma_t}{\gamma_w}$

γ_t : le poids volumique total du sol

γ_w : le poids volumique total de l'eau.

- La densité sèche : $d_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_w}$

γ_d : le poids volumique total du sol sec.

2.1.4/- L'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle se résume en deux opérations : le tamisage et la sédimentométrie. Elle se traduit par la courbe granulométrique qui contribue à l'identification du matériau et permet de déterminer ses propriétés, elle est notamment utilisée pour la classification des sols grenus. Elle nécessite le calcul de deux coefficients de forme :

- Le coefficient d'uniformité (coefficient de HAZEN) : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

- Le coefficient de courbure :
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

D_{60} = Diamètre (en mm.) correspondant au tamisât cumulé = 60%.

D_{30} = Diamètre (en mm.) correspondant au tamisât cumulé = 30%.

D_{10} = Diamètre (en mm.) correspondant au tamisât cumulé = 10%.

2.1.5/- Limite d'Atterberg :

2.1.5.1/- Définition et but de l'essai :

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique, c'est la limite de liquidité (W_L),
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide, c'est la limite de plasticité (W_P).
- Le passage de l'état solide sans retrait à l'état solide avec retrait, c'est la limite de retrait (W_S).

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considérée.

La différence $I_P = W_L - W_P$ qui définit l'étendue du domaine plastique et particulièrement utilisée en géotechnique, c'est l'indice de plasticité.

2.1.5.2/- Principe de l'essai :

La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau ; lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide.

L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états.

a/- La limite de liquidité :

L'échantillon de sol est mis en place dans la coupelle et on trace un sillon avec l'outil de rainure.

La limite de liquidité est la teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture de 1 cm des lèvres de la rainure après 25 coups. Il est nécessaire de réaliser cinq (05) essais qui s'échelonnent régulièrement entre 15 et 35 coups.

Comme il est difficile d'obtenir la fermeture à 25 coups, il existe une relation permettant de trouver (W_L) à partir d'un seul essai , pourvu que le nombre de coups de fermeture soit compris entre 15 et 35.

$$W_L = w \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

W_L = limite de liquidité

w = teneur en eau de l'échantillon au moment de la fermeture de la lèvre.

N = nombre de coups correspondant à la fermeture de la lèvre.

Remarque : Le nombre de N doit être compris entre 15 et 35; le n du premier essai doit être compris entre 15 et 22; s'il est inférieur à 15 on desseche le matériau et s'il est supérieur à 22 on rajoute de l'eau. Les autres essais doivent être à N supérieur au premier essai d'environ 5 coups.

b/- La limite de plasticité :

On roule une boulette d'échantillon sur un marbre à la main ou avec une plaque jusqu'à l'obtention d'un rouleau aminci progressivement jusqu'à 3 mm. de diamètre sur une longueur de 10 à 15 cm. On atteint la limite de plasticité lorsque le rouleau, soulevé par le milieu de 1 à 2 cm., se fissure.

La limite de plasticité (W_P) est la teneur en eau du rouleau qui se brise au moment où son diamètre atteint 03 mm., elle est exprimée en pourcentage.

A partir des limites d'Atterberg (W_L , W_P), on définit des indices qui sont largement utilisés en pratique :

b.1/- L'indice de plasticité (I P) : $IP = W_L - W_P$

Il reflète l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique.

b.2/- L'indice de consistance (IC) : $IC = \frac{W_L - w}{IP}$

w = la teneur en eau

W_L = limite de liquidité

IP = indice de plasticité

$$\text{b.3/- L'activité des argiles : } A_C = \frac{I_P}{C}$$

C : pourcentage des argiles dans le sol.

2-2/- Propriétés mécaniques :

2.2.1/- Essai de cisaillement (Boîte de CASAGRANDE) :

2.2.1.1/- Définition et but de l'essai :

La résistance des sols mesurée expérimentalement et les théories de rupture permettent d'étudier la stabilité des talus des barrages en terre, des remblais et des ouvrages de soutènement. Le cisaillement est la rupture du sol provoquée par un glissement.

Cet essai nous permet d'étudier la rupture du sol et de tracer la courbe intrinsèque du matériau en mesurant un minimum de deux couples (σ_1, τ_1) et (σ_2, τ_2) , la courbe ainsi obtenue est une droite, elle nous permettra de déterminer la cohésion (c) et l'angle de frottement interne (Φ).

2.2.1.2/- Principe de l'essai :

La boîte de Casagrande ou boîte de cisaillement est destinée aux essais de cisaillement rectiligne dans lesquels on cherche à obtenir la rupture de l'échantillon suivant un plan horizontal, elle est constituée de deux demi boîtes pouvant glisser l'une sur l'autre, les deux demi boîtes contiennent un échantillon, généralement en forme de plaquette carrée (10 cm de côté et 3 cm de hauteur dans l'un des modèles couramment utilisées) et qui est placé entre deux pierres poreuses permettant un éventuel drainage. La demi boîte supérieure est chargée par l'intermédiaire d'un étrier portant les poids. On exerce sur cette demi boîte un mouvement de translation à vitesse constante, alors que la demi boîte inférieure reste fixe.

On porte sur un papier millimètre gradué; en abscisses, les contraintes normales et en ordonnées, les contraintes tangentielles correspondant à la rupture. Les couples (σ, τ) déterminent une droite appelée droite de COLOMB ou courbe intrinsèque.

$$\tau = C + \sigma \times \text{tg} \phi$$

C: cohésion du sol.

La courbe intrinsèque d'un sol nous permet de connaître :

- La cohésion (c) en kn/m^2 ou en bars, qui caractérise les forces de cohésion entre les grains. Le sol fin a toujours une cohésion non nulle. Le sol pulvérulent a une cohésion non nulle s'il est humide et une cohésion nulle s'il est sec.
- L'angle de frottement interne (Φ) qui est l'angle d'inclinaison à partir duquel les couches commencent à glisser (si $\Phi <$ pente, il y a glissement).

2.2.1.3/- Mode opératoire :

- Mise en place de la boîte sur la machine :
 - Placer l'étrier de charge sur le piston de la boîte et mettre le comparateur à zéro,
 - Relier l'anneau dynamométrique à la boîte et le mettre à zéro,
 - Appliquer sur l'éprouvette la charge désirée,
 - Séparer les deux demi boîtes en enlevant les vices,
 - Mettre en route la manivelle à la vitesse désirée.
- Vitesse de la demi boîte supérieure :
 - Pour les sols pulvérulents, la vitesse sera de 1.5 mm/min.
 - Pour les sols cohérents : - échantillon non drainé consolidé : $v = 1.5 \text{ mm/min}$.
- échantillon drainé : $v = 1 \text{ mm/min}$.
- Lecture :
 - Relever les indications du comparateur toutes les 15 secondes.
 - On arrête l'essai quand il y a rupture.

2.2.2/- Essai Oedométrique :

2.2.2.1/- Principe de l'essai :

Pour la réalisation de cet essai, on a utilisé un oedomètre qui est un appareil métallique de diamètre intérieur de 7 cm, généralement, on donne à l'échantillon une hauteur de 1,2 cm

ou 2,4 cm. Deux pierres poreuses permettent de drainer et d'évacuer l'eau qui est expulsée au cours de l'essai, car pour les argiles, on opère le plus souvent sur des échantillons saturés afin d'éliminer l'influence des forces capillaires. Des comparateurs au 1/100 de mm servent à la mesure des déformations.

Les charges sont appliquées sur le piston par l'intermédiaire d'un levier dont l'extrémité porte un plateau sur lequel on place des poids.

Les résultats de cet essai se traduisent par la courbe oedométrique.

2.2.2.2/- Mode opératoire :

Le sol est placé dans une enveloppe rigide. On exerce à sa partie supérieure une pression graduellement croissante à l'aide d'un piston et l'on mesure les affaissements observés.

On détermine ainsi la relation entre contraintes et déformations. Il faut que :

- La hauteur de l'échantillon soit grande vis-à-vis de la dimension des grains pour que l'on puisse admettre que la répartition des charges est homogène,
- Le diamètre de l'échantillon soit grand vis-à-vis de sa hauteur pour que l'effet de frottement des parois latérales puisse être négligé,
- L'échantillon ne soit pas trop épais pour que les tassements soient rapidement stabilisés.

2.2.2.3/- Caractéristiques oedométriques :

a/- Indice de compression (Cc) :

Sur la courbe oedométrique, l'échelle des pressions est d'ordinaire logarithmique sur l'axe des abscisses, les ordonnées représentent les indices des vides successifs, on aura ce que l'on appelle la courbe e - $\log \sigma$.

Les variations d'indices des vides sont proportionnelles aux variations du logarithme de la pression. Le coefficient de proportionnalité est appelé indice de compression et on le définit par la formule :

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \quad e : \text{indice des vides,}$$

σ : pression provoquée.

b/- Indice de gonflement Cg :

A la stabilisation de l'échantillon sous la contrainte (σ), il est mis dans l'eau par remplissage du saturateur. La hauteur de l'échantillon utilisé dans l'oedomètre après

stabilisation sous la contrainte (σ) étant (h), alors que (h_g) est la hauteur finale de

l'échantillon après gonflement. L'indice de gonflement est : $C_g = \frac{h_g - h}{h} \cdot 100$ (en %)

3/- Résultats obtenus :

Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau N° IV.1 : Résultats des essais de sondage N° 01 (D'après le L.T.P.E., 1997)

N° sondage		1	1	1	1
Profondeur		3.00 - 3.30	4.60 - 5.00	7.40 - 7.80	11.0 - 11.5
Densité sèche		1.75	1.86	1.62	-
Teneur en eau		19.0	14.6	24.2	-
Degré de saturation		94.5	86.9	98.0	-
Granulométrie pourcentage passant à :	2 mm	97.0	99.2	96.4	-
	100 μ	53.4	28.2	94.8	-
	20 μ	42.6	21.7	80.1	-
	2 μ	31.5	15.0	43.4	-
Limites d'Atterberg	WL	43.8	39.5	60.5	-
	WP	19.5	14.1	30.6	-
	IP	24.3	25.4	29.9	-
Indice de consistance		1.02	0.98	1.21	-
Caractéristiques oedométriques	Pc	-	1.38	2.20	-
	Cc	-	0.064	0.211	-
	Cg	-	0.022	0.107	-
Compression simple Rc		-	-	-	3.32
Activité des argiles		0.77	1.69	0.69	-
Cisaillement rectiligne Ou triaxial	C	0.10	0.26	0.12	-
	Φ	20°	36° 30'	8°	-

Tableau N° IV.2 : Résultats des essais de sondage N° 02 (D'après le L.T.P.E., 1997)

N° sondage		2	2	2
Profondeur		6.70 - 7.90	8.70 - 9.00	10.2 - 10.5
Densité sèche		1.49	1.74	-
Teneur en eau		29.1	18.5	-
Degré de saturation		96.7	90.2	-
Granulométrie pourcentage passant à :	2 mm	100	98.4	-
	100 μ	98.2	96.8	-
	20 μ	86.8	80.5	-
	2 μ	44.9	43.9	-
Limites D'Atterberg	WL	63.5	52.0	-
	WP	32.8	28.8	-
	IP	30.7	23.2	-
Indice de consistance		1.12	1.44	-
Caractéristiques oedométriques	Pc	-	1.18	-
	Cc	-	0.095	-
	Cg	-	0.022	-
Compression simple Rc		-	-	1.44
Activité des argiles		0.66	0.53	-
Cisaillement rectiligne ou triaxial	C	0.12	0.08	-
	Φ	11°	14°30'	-

Tableau N° IV.3 : Résultats des essais de sondage N° 03 (D'après le L.T.P.E., 1997)

N° sondage		3	3	3
Profondeur		8.60 – 9.00	11.5 - 12.0	14.0 - 14.4
Densité sèche		1.58	1.70	1.67
Teneur en eau		25.2	21.6	19.4
Degré de saturation		95.8	99.1	84.7
Granulométrie pourcentage passant à :	2 mm	97.6	99.4	100
	100 µ	66.0	89.6	98.4
	20 µ	53.4	69.5	73.6
	2 µ	42.5	48.9	44.7
Limites d'Atterberg	WL	54.8	53.2	40.3
	WP	25.5	29.7	23.0
	IP	29.3	23.5	17.3
Indice de consistance		1.01	1.34	1.20
Caractéristiques oedométriques	Pc	-	1.19	-
	Cc	-	0.143	-
	Cg	-	0.065	-
Compression simple Rc		-	-	1.94
Activité des argiles		0.69	0.51	0.39
Cisaillement rectiligne ou triaxial	C	0.2	0.08	-
	Φ	6°30'	10°30'	-

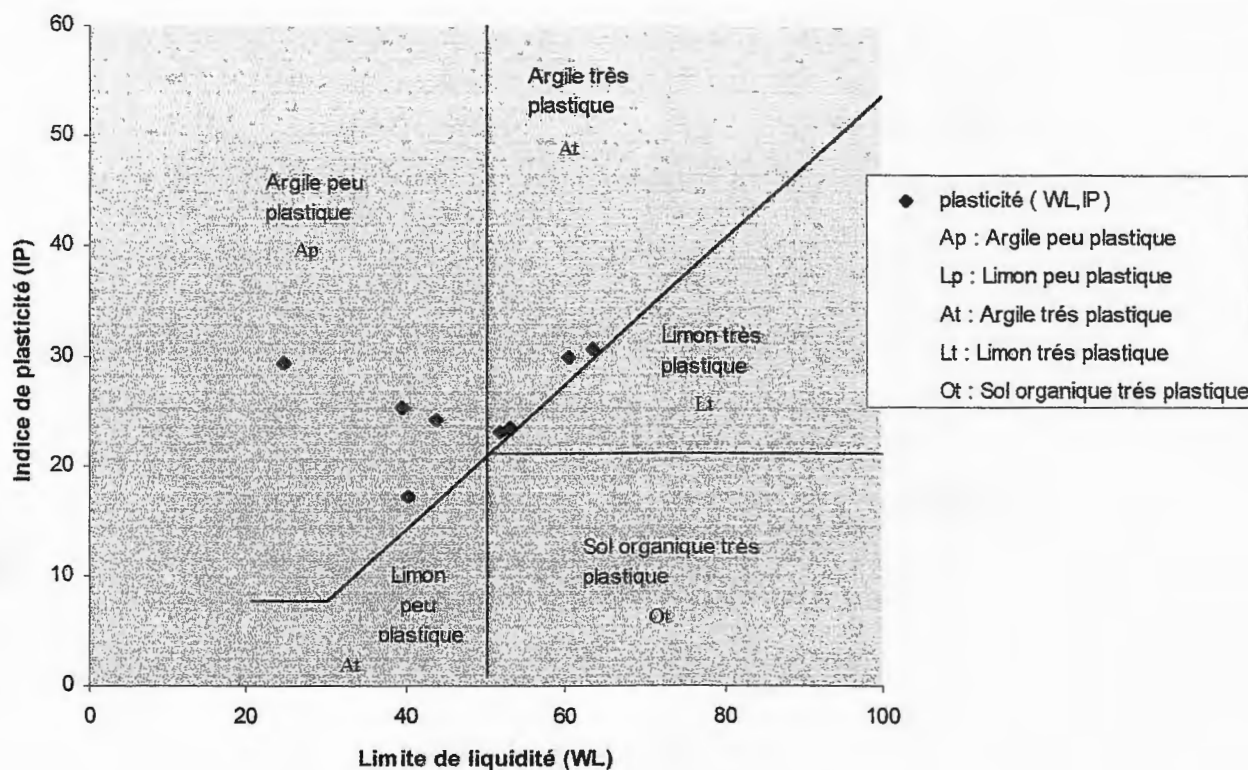


Fig.IV.2 : Diagramme de Casagrande

4/- Interprétation des résultats :

4.1/- Les propriétés physiques:

4.1.1/- La teneur en eau :

D'une manière générale, on observe qu'il y a une décroissance de l'humidité des formations en fonction de la profondeur à chaque sondage (sondage N° 03, la teneur en eau passe de 25.2 % à 19.4 %), bien que la majorité des valeurs obtenues sont supérieures à 18.5 %. Les formations en place sont donc humides à très humides.

4.1.2/- Degré de saturation:

On remarque que le degré de saturation des sols varie entre 84.7 % et 99.1%, ce qui nous permet de conclure que les matériaux en place sont fortement saturés en eau.

4.1.3/- Indice de consistance:

L'indice de consistance obtenu est généralement supérieur à l'unité. Nous pouvons affirmer que les matériaux sont consistants à très consistants.

4.1.4/- Densité sèche:

La densité sèche est généralement supérieure à 1.58. Nous sommes en présence de matériaux denses.

4.2/- Les propriétés mécaniques:

D'après les résultats des essais mécaniques réalisés, les matériaux en place sont :

- Très faiblement cohérents : $0.08 \text{ bars} < C < 0.26 \text{ bars}$
- Faiblement résistants au cisaillement ($6.5^\circ < \Phi < 14.5^\circ$) à résistants au cisaillement ($20^\circ < \Phi < 36.5^\circ$).
- Peu compressibles à moyennement compressibles : $0.064 < C_c < 0.211$.
- Peu gonflants à gonflants : $0.022 < C_g < 0.107$.

5/- Conclusion :

L'étude géotechnique de la zone nous permet de conclure que les sols en place sont des matériaux :

- Humides à très humides,
- Fortement saturés,
- Consistants à très consistants,
- Denses,
- Fins,
- Peu à très plastiques,
- Très faiblement cohérents,
- Faiblement résistants à résistants au cisaillement.
- Peu à moyennement compressibles,
- Peu gonflants à gonflants.

CHAPITRE V :
ETUDE DETAILLEE

V/- ETUDE DETAILLEE DU GLISSEMENT

1/- Les différents types de mouvement de terrain :

1.1/- Les écroulements :

Ce sont des chutes soudaines de masses rocheuses importantes. Ils sont spectaculaires et dangereux, mais assez rares. Les terrains donnant lieu à des écroulements sont les roches massives pouvant former de hautes falaises.

1.2/- Les coulées boueuses :

Elles sont dues à des écoulements d'eau importants transportant des matériaux solides, elles se produisent surtout en montagne.

1.3/- Le fluage :

Il correspond à des mouvements lents sans modification des efforts appliqués, dus à des sollicitations proches de la rupture (domaine plastique).

1.4/- Les glissements (Landslide) :

Ils ont lieu le long d'une surface de sol dans des terrains meubles (plus particulièrement argileux), autrement dit dans des sols par opposition aux roches. Les vitesses de reptation sont variables; dans certain cas, la rupture est précédée par des signes avant coureurs, dans d'autres, elle est brutale.

La forme de la surface de rupture permet de définir deux grandes catégories de glissements :

1.4.1/- Le glissement plan : en général, la ligne de rupture est une couche mince de mauvaise qualité sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau. Une telle couche est appelée "couche savon".

1.4.2/- Le glissement rotationnel simple : c'est le cas de glissement le plus répandu. La surface de rupture présente une forme simple et peut être assimilée à un cylindre dans la plus part des cas.

Dans un très grand nombre de cas, il faut cependant noter que les glissements ne se réduisent pas à l'un ou à l'autre de ces types, mais résultent d'une combinaison plus ou moins complexe des deux.

En considérant la longueur du glissement (L) et son épaisseur (D), Hutchinson et Skempton, sont parvenus à définir un critère pour différencier les deux types de glissement :

- Si $D/L < 0,15$: c'est un glissement plan,
- Si $0,15 < D/L < 0,35$: c'est un glissement rotationnel.

2/- Description des glissements :

Les glissements de terrain se produisent dans des circonstances très variées. Ils affectent des ouvrages construits par l'homme ou des pentes naturelles; ils se produisent soudainement ou durent plusieurs mois, voir parfois plusieurs années; la rupture affecte une forme vaguement circulaire ou bien au contraire ne présente aucune caractéristique géométrique particulière. Les causes de glissement paraissent évidentes. La rupture se produit sous l'effet de l'action mécanique d'un écoulement d'eau ou parce que le terrain a été progressivement lessivé par une eau pauvre en cations. (Sanglerat et al, 1983)

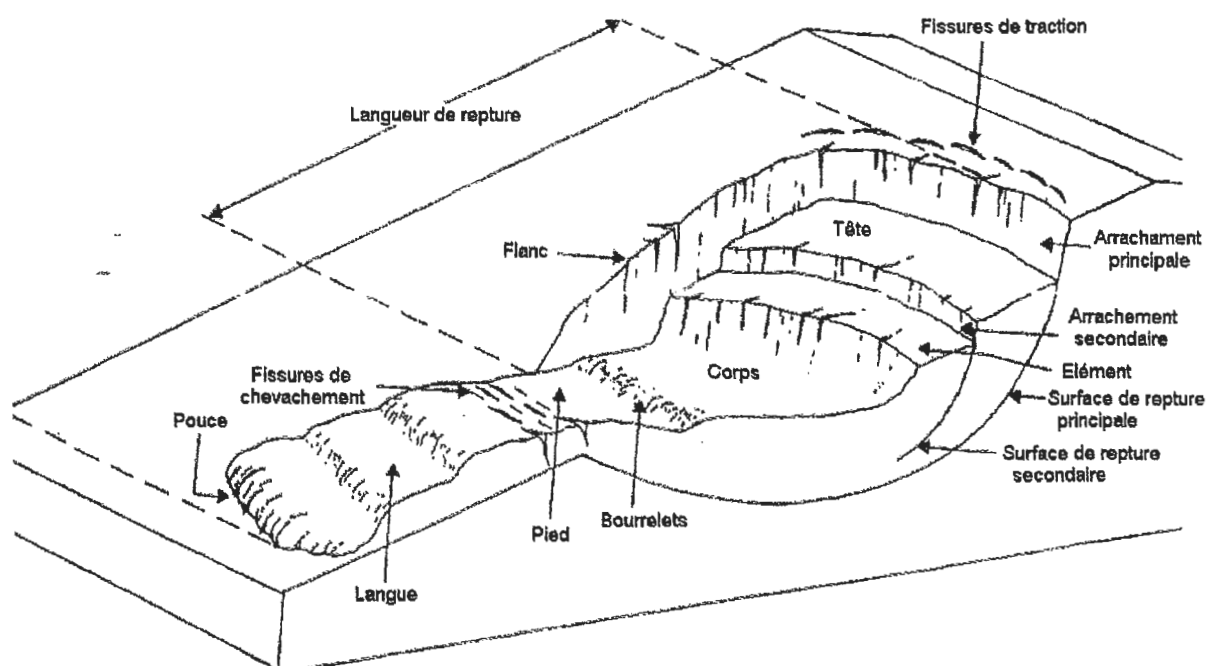


Fig.V.1 : Forme de glissement (D'après BEN AISSA, 2003).

Le glissement faisant l'objet de notre étude a été affecté par des désordres apparus sur la partie amont de l'hôpital Mohamed Seddik Benyahia , qui ont été décrits par le laboratoire des travaux publics de l'Est dans un rapport d'étude de 1997 et qui nous renseignent sur :

- Apparition de désordres importants sur le mur de clôture, ces désordres sont matérialisés par le basculement suivi de fissures importantes sur le mur.
- Présence de bourrelets très importants au niveau de la chaussée longeant le mur. Ces bourrelets sont la conséquence des désordres très importants au niveau de la chaussée.
- Des amorces de glissement sont visibles au niveau du terrain vierge situé à l'amont de l'hôpital.



Photo. V.1 : Déformation de la chaussée (Photo prise le 23-05-2005)



Photo. V.2 : Fissuration du mur de clôture (Photo prise le 27-06-2005)



Photo.V.3 : Bourrelets (Photo prise le 23-05-2005)

3/- Exposé du problème :

L'étude de l'équilibre globale d'un talus sujet à une rupture circulaire ne répond manifestement pas aux besoins de la pratique la plus courante. Il est nécessaire de disposer d'une méthode beaucoup plus précise permettant la prise en compte de lignes de glissement quelconques.

Pour pallier à ce problème aux données complexes, on divise le massif en un certain nombre de volumes élémentaires pour chacun desquels la ligne de glissement a une forme simple et se développe dans un milieu homogène. C'est la méthode des tranches ou méthode suédoise de Fellenus (1927), perfectionnée plus récemment par Bishop en 1954, étendue enfin aux ruptures non circulaires par Nonveiller en 1965.

4/- Calcul du cercle de glissement :

4-1/- Types de ruptures :

Il y a trois types de ruptures de forme circulaire :

- **Rupture de talus :** Une partie du talus est emportée par le glissement. Elle est assez fréquente dans les remblais artificiels.
- **Rupture de pied de talus :** Le volume de terre qui glisse est arraché jusqu'au pied du talus. Elle est assez fréquente.
- **Rupture profonde :** Toute la masse constituant le talus est emportée. Cette rupture n'est pas très fréquente, mais c'est elle qui cause le plus de dégâts et qui est la plus difficile à combattre.



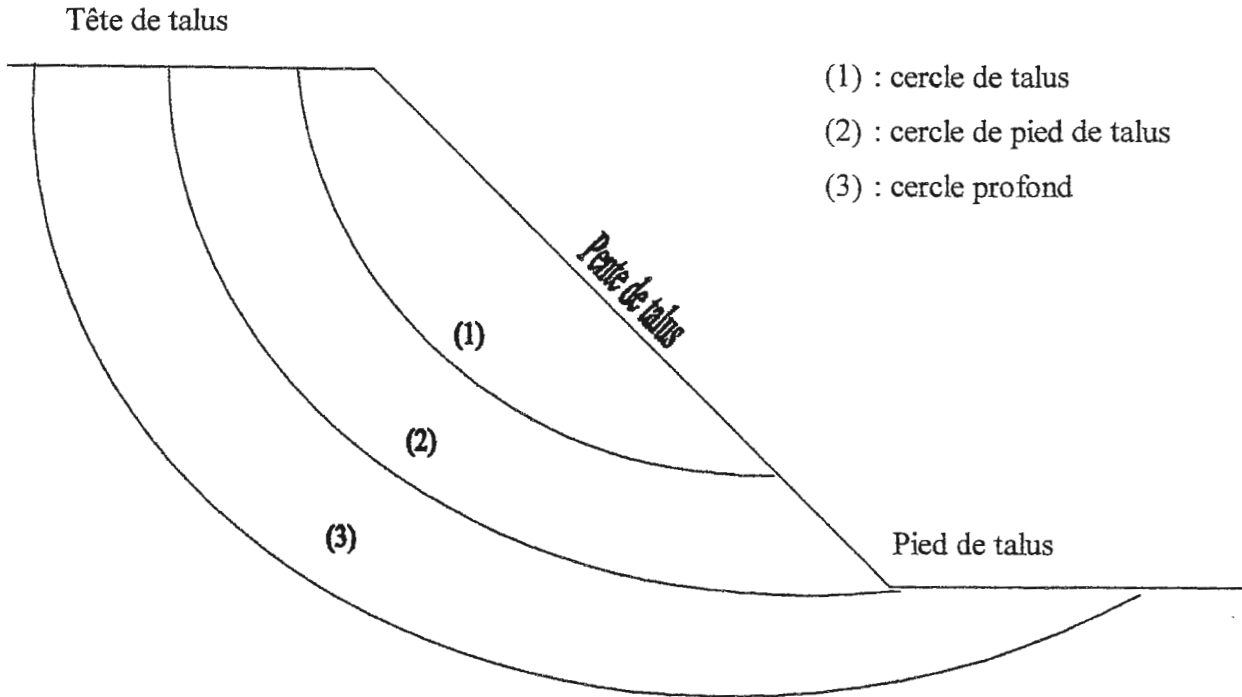


Fig.V.2 : Types de rupture

4-2/- Les méthodes de calcul :

Une fois les données géométriques synthétisées, on peut passer au calcul du coefficient de sécurité au glissement.

4-2.1/- La méthode des tranches de Fellinus (1927) :

C'est la méthode la plus utilisée dans le cas des milieux hétérogènes. C'est un cas particulier de la méthode des tranches.

4.2.1.1/- Principe de la méthode :

Considérant un talus recoupant un certain nombre de couches de sol de caractéristiques différentes (c , Φ , γ) :

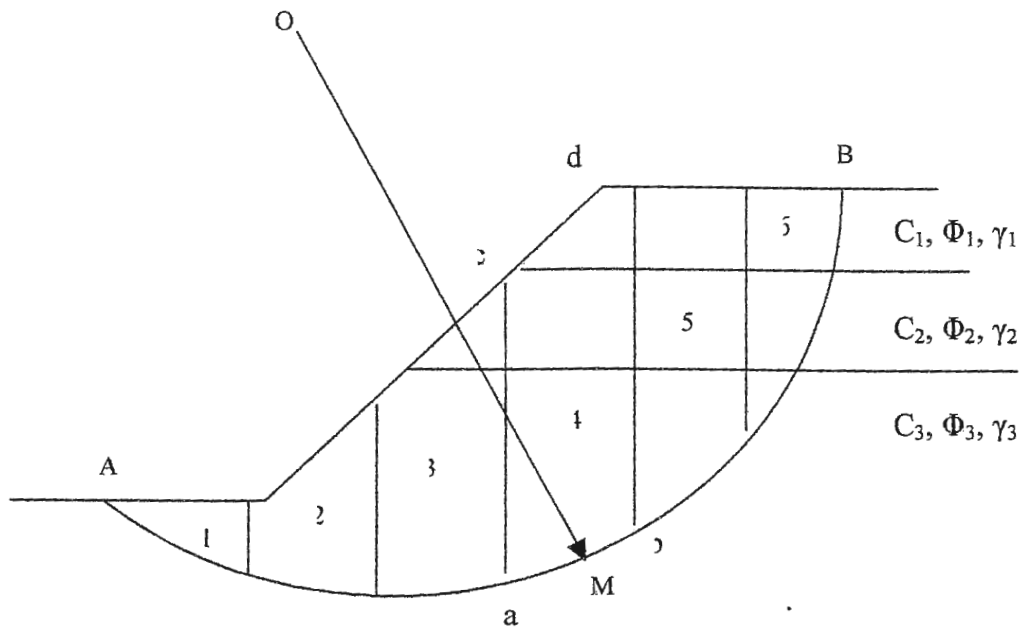


Fig.V.3 : Méthode des tranches.

Soit un cercle quelconque de centre "O" et de rayon "R" pour lequel on veut déterminer le coefficient de sécurité au glissement.

La méthode consiste à découper le volume de sol concerné (compris dans l'arc AMB) en un certain nombre de tranches limitées par des plans verticaux.

On définit par rapport au centre "O" :

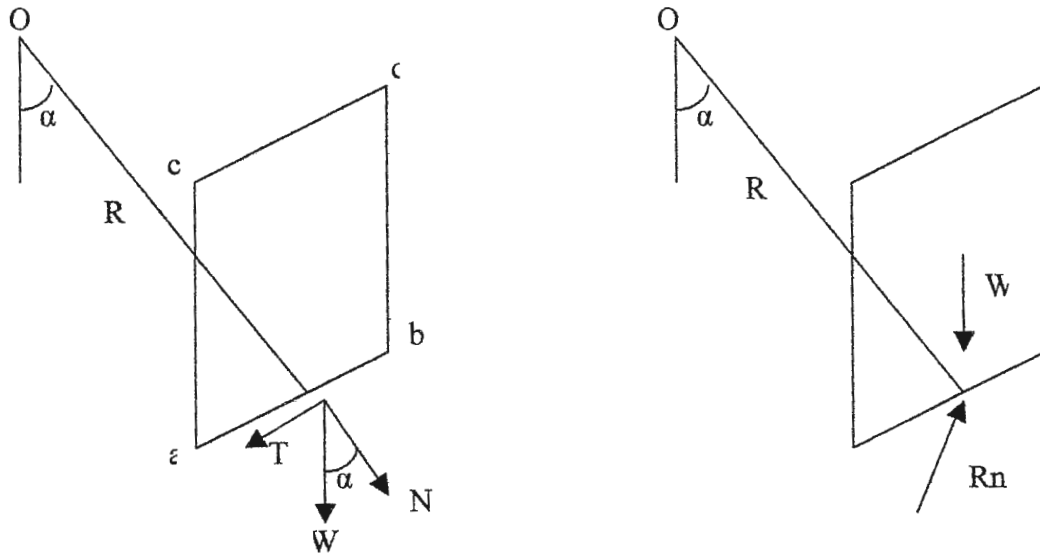
- le moment moteur comme étant celui du poids des terres, de l'eau interstitielle et des surcharges éventuelles, tendant à provoquer le glissement.
- Le moment résistant comme étant celui des réactions s'opposant au glissement.

Le coefficient de sécurité au glissement (F_s) est défini comme suit :

$$F_s = \frac{\sum \text{des moments résistants}}{\sum \text{des moments moteurs}}$$

4.2.1.2/- Etude de la tranche (détermination du coefficient de sécurité) :

a/- Absence de la nappe :



W : force agissante (poids).

Rn : force résistante due à la cohésion
et à l'angle de frottement interne du sol.

Fig.V.4 : Forces agissantes sur une tranche.

- Décomposant le poids "w" en une force normale "N" et une force tangentielle "T".
- Le moment résistant est la valeur maximale que peut prendre la composante tangentielle de "Rn"

D'après Coulomb : $R = C \cdot \widehat{AB} + N \cdot \text{tg} \phi$

La somme des moments résistants pour toutes les tranches est :

$$\sum_1^n \left[c_i \cdot \widehat{ab} + N \cdot \text{tg} \phi_i \right]$$

n : nombre total de tranches.

Ci : cohésion de la couche dans laquelle se trouve l'arc ab.

Phi : angle de frottement interne de la couche dans laquelle se trouve l'arc ab.

D'autre part, le moment moteur est dû à la force tangentielle "T" :

$$F_s = \frac{\sum_1^n [C_i \cdot \widehat{ab} + N \cdot \text{tg} \phi_i]}{\sum_1^n T}$$

Sachant que : $N = W \cdot \cos \alpha$

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$L = \widehat{ab} = \frac{b}{\cos \alpha}$$

b : largeur de la tranche.

L : longueur développée de la surface de rupture.

La formule devient :

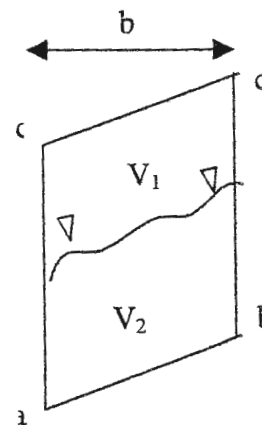
$$F_s = \frac{\sum_1^n \left(C_i \cdot \frac{b}{\cos \alpha_i} + W \cdot \cos \alpha_i \cdot \text{tg} \phi_i \right)}{\sum_1^n W \cdot \sin \alpha_i}$$

b/- Présence de la nappe :

La valeur de la pression de l'eau : $U = H_w \cdot \gamma_w$

H_w : la hauteur de l'eau.

γ_w : le poids volumique de l'eau.



Dans ce cas, le poids devient : $W = \gamma_d \cdot V_1 + \gamma_{sat} \cdot V_2$

V_1, V_2 : les volumes des tranches situées respectivement au dessus et au dessous de la surface de la nappe.

γ_d : poids volumique du sol sec.

γ_{sat} : poids volumique du sol saturé.

γ_w : poids volumique d'eau ($\gamma_w = 10 \text{ Kn/m}^3$).

La formule devient :

$$F_S = \frac{\sum_1^n C_i \cdot \frac{b}{\cos \alpha_i} + \left(W \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b}{\cos \alpha_i} \right) \text{tg} \phi_i}{\sum_1^n W \cdot \sin \alpha_i}$$

4.2.2/- La méthode de Bishop :

Cette méthode est basée sur la division du talus en tranches égales, comme dans le cas de la méthode de Fellinus, mais en introduisant les forces inter tranches. Deux cas peuvent se présenter:

4.2.2.1/- Absence de la nappe :

$$F_S = \frac{\sum_1^n (C_i \cdot b + W_i \cdot \text{tg} \phi_i) \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i \left(1 + \text{tg} \alpha_i \cdot \frac{\text{tg} \phi_i}{F} \right)}}{\sum_1^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

4.2.2.2/- Présence de la nappe :

$$F_S = \frac{\sum_1^n (C_i \cdot b + (W_i - U \cdot b_i) \cdot \text{tg} \phi_i) \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i \left(1 + \text{tg} \alpha_i \cdot \frac{\text{tg} \phi_i}{F} \right)}}{\sum_1^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

F: coefficient de sécurité au glissement calculé par la méthode de Fellinus.

On prend pour première valeur le coefficient de sécurité obtenu par la méthode de Fellinus; ce type de calcul se prête particulièrement bien au traitement par ordinateur.

4.3/- Choix de méthode :

La méthode de Bishop a l'avantage de formuler les problèmes de façon plus rigoureuse, en faisant introduire les forces inter tranches; elle donne donc des résultats assez précis et elle est utilisée dans l'étude de la stabilité des grands ouvrages (ex : barrages en terre); aussi, plusieurs programmes informatiques utilisent cette méthode.

La méthode de Fellinus est caractérisée par sa simplicité et son utilisation dans tous les cas courants.

Dans le cas de notre étude, on a opté pour la méthode de Fellenus, dans le but de contribuer à l'élaboration d'un programme informatique adapté à cette méthode.

4.4/- Application Pratique :

Il n'y a pas de méthode précise pour définir le cercle de glissement. La méthode souvent utilisée consiste à calculer le coefficient de sécurité pour un nombre suffisant de cercles en quadrillant les surfaces de ruptures.

En général, il y a plusieurs possibilités, car :

- Pour un cercle donné, on peut faire varier le rayon du cercle.
- La position du centre peut varier horizontalement et verticalement.

Après l'obtention des coefficients de sécurité (F_s), on choisit la valeur minimale parmi ces derniers, qui nous permet de déterminer le cercle de glissement.

Dans les calculs des coefficients de sécurité, nous utilisons les caractéristiques mécaniques suivantes :

Tableau N° V.1 : Caractéristiques du sol utilisées (D'après le L.T.P.E., 1997)

	Cohésion C (kn/m ²)	Angle de frottement interne Φ (degré)	Poids volumique sec γ _d (kn/m ³)	Poids volumique saturé γ _{sat} (kn/m ³)
Remblai	10	10	18	21.3
Argile	8	6,5	18.6	21.7
Marne schisteuse	25	18	16.7	20.5

- Le poids volumique de l'eau $\gamma_w = 10 \text{ Kn/m}^3$
- La pente du terrain : $\theta = 09^\circ$

4.5/- Claculs manuels :

Les résultats du calcul sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau N° V.2 : Cercle profond

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	6180,5	-30	- 0,50	- 3 090,25	0,87	5 352,47	33,49	40	1 339,45
2	7886,55	-18	- 0,31	- 2 437,08	0,95	7 500,55	30,49	220	6 708,33
3	21742,75	-6	- 0,10	- 2 272,74	0,99	21 623,64	29,16	340	9 914,31
4	24578,95	5	0,09	2 142,20	1,00	24 485,42	29,11	410	11 935,42
5	24080,15	16	0,28	6 637,39	0,96	23 147,33	30,17	400	12 067,47
6	10074,75	29	0,48	4 884,34	0,87	8 811,57	33,16	320	10 610,33
7	9174,1	43	0,68	6 256,72	0,73	6 709,51	39,65	150	5 947,87
				12 120,58		97 630,50	225,23		58 523,18

centre N° 1

Fs 1,51

talus stable

Tableau N° V.3 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	2120,6	-15	- 0,26	- 548,85	0,97	2 048,34	23,81	20	476,23
2	5521,2	-4	- 0,07	- 385,14	1,00	5 507,75	23,06	100	2 305,62
3	7074,8	9	0,16	1 106,74	0,99	6 987,70	23,29	140	3 260,14
4	5874,8	19	0,33	1 912,65	0,95	5 554,73	24,33	120	2 919,03
5	2435,4	31	0,52	1 254,32	0,86	2 087,55	26,83	60	1 609,95
				3 339,72		22 186,07	121,31		10 570,97

centre N° 2

Fs 1,65

talus stable

Tableau N° V.4 : Cercle de talus

n	w	α	sina	w,sina	cosa	w,cosa	b/cosa	u	u,b/cosa
1	2742	-17	- 0,29	- 801,68	0,96	2 622,19	24,05	40	962,04
2	6028,2	-5	- 0,09	- 525,39	1,00	6 005,26	23,09	130	3 001,42
3	7584,2	7	0,12	924,28	0,99	7 527,67	23,17	170	3 939,36
4	7112,8	19	0,33	2 315,70	0,95	6 725,28	24,33	150	3 648,79
5	3533,7	30	0,50	1 766,85	0,87	3 060,27	26,56	80	2 124,65
				3 679,76		25 940,68	121,19		13 676,26

centre N° 3

Fs 1,52

talus stable

Tableau N° V.5 : Cercle de pied de talus

n	w	α	sina	w,sina	Cosa	w,cosa	b/cosa	u	u,b/cosa
1	12019,5	-39	- 0,63	- 7 564,12	0,78	9 340,91	43,75	150	6 562,47
2	31053,9	-24	- 0,41	- 12 630,76	0,91	28 369,15	37,22	420	15 631,41
3	42003,6	-9	- 0,16	- 6 570,81	0,99	41 486,47	34,42	590	20 310,05
4	46702,4	4	0,07	3 257,79	1,00	46 588,64	34,08	670	22 835,63
5	45713	18	0,31	14 126,09	0,95	43 475,65	35,75	660	23 594,81
6	37000,5	31	0,52	19 056,67	0,86	31 715,62	39,67	560	22 212,70
7	16891,4	49	0,75	12 748,10	0,66	11 081,76	51,82	220	11 401,41
				22 422,97		212 058,18	276,71		122 548,48

centre N° 4

Fs 1,60

talus stable

Tableau N° V.6 : Cercle de talus

n	w	α	sina	w,sina	Cosa	w,cosa	b/cosa	u	u,b/cosa
1	6470,35	-27	- 0,45	- 2 937,48	0,89	5 765,12	33,67	90	3 030,28
2	15070,5	-11	- 0,19	- 2 875,59	0,98	14 793,61	30,56	240	7 334,76
3	18810	5	0,09	1 639,40	1,00	18 738,42	30,11	310	9 335,52
4	17272,5	21	0,36	6 189,91	0,93	16 125,27	32,13	290	9 318,96
5	8210,7	40	0,64	5 277,74	0,77	6 289,76	39,16	150	5 874,33
				7 293,98		61 712,19	165,64		34 893,86

centre N° 5

Fs 1,76

talus stable

Tableau N° V.7 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	11446,95	-31	-0,52	- 5 895,62	0,86	9 811,95	40,83	100	4 083,22
2	24757,25	-14	-0,24	- 5 989,32	0,97	24 021,85	36,07	350	12 625,02
3	30555	4	0,07	2 131,41	1,00	30 480,57	35,09	440	15 437,61
4	27326,25	21	0,36	9 792,85	0,93	25 511,25	37,49	410	15 370,93
5	12730	41	0,66	8 351,63	0,75	9 607,45	46,38	200	9 275,09
				8 390,96		99 433,08	195,85		56 791,86

centre N° 6

Fs 2,23

talus stable

Tableau N° V.8 : Cercle profond

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	6961,8	-39	-0,63	- 4 381,20	0,78	5 410,33	36,03	110	3 963,22
2	18457,8	-22	-0,37	- 6 914,41	0,93	17 113,77	30,20	290	8 757,70
3	25551,4	-9	-0,16	- 3 997,12	0,99	25 236,82	28,35	440	12 473,57
4	29167,6	5	0,09	2 542,12	1,00	29 056,61	28,11	500	14 053,48
5	28702,8	18	0,31	8 869,65	0,95	27 297,98	29,44	500	14 720,47
6	23296	33	0,54	12 687,91	0,84	19 537,67	33,39	420	14 022,19
7	10901,55	51	0,78	8 472,10	0,63	6 860,57	44,49	210	9 343,41
				17 279,05		130 513,76	230,00		77 334,05

centre N° 7

Fs 1,33

talus douteux

Tableau N° V.9 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	12170,1	-42	-0,67	- 8 143,39	0,74	9 044,15	43,06	150	6 459,04
2	28873,6	-25	-0,42	- 12 202,51	0,91	26 168,37	35,31	430	15 182,48
3	39238,4	-10	-0,17	- 6 813,68	0,98	38 642,28	32,49	600	19 496,19
4	44283,2	1	0,02	772,85	1,00	44 276,46	32,00	680	21 763,31
5	44008	16	0,28	12 130,25	0,96	42 303,20	33,29	670	22 304,02
6	36136	32	0,53	19 149,16	0,85	30 645,07	37,73	580	21 885,55
7	17208,6	53	0,80	13 743,40	0,60	10 356,39	53,17	280	14 888,30
				18 636,09		201 435,92	267,06		121 978,89

centre N° 8

Fs 1,74

talus stable

Tableau N° V.10 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	8711,7	-34	- 0,56	- 4 871,52	0,83	7 222,33	36,19	130	4 704,25
2	20913	-14	- 0,24	- 5 059,31	0,97	20 291,79	30,92	310	9 584,71
3	25575	4	0,07	1 784,02	1,00	25 512,70	30,07	390	11 728,57
4	21577,5	22	0,37	8 083,07	0,93	20 006,31	32,36	370	11 971,74
5	9929	44	0,69	6 897,26	0,72	7 142,32	41,70	180	7 506,88
				6 833,53		80 175,46	171,24		45 496,15

centre N° 9

Fs 2,27

talus stable

Tableau N° V.11 : Cercle profond

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	13220,6	-50	- 0,77	- 10 127,57	0,64	8 498,04	51,34	120	6 160,67
2	31920,2	-29	- 0,48	- 15 475,22	0,87	27 918,04	37,73	460	17 356,11
3	45957,4	-14	- 0,24	- 11 118,10	0,97	44 592,27	34,01	640	21 766,56
4	51179,7	2	0,03	1 786,15	1,00	51 148,52	33,02	740	24 434,89
5	50348,1	17	0,29	14 720,36	0,96	48 148,13	34,51	750	25 880,87
6	42339	34	0,56	23 675,67	0,83	35 100,62	39,81	650	25 873,37
7	20797,2	57	0,84	17 442,00	0,54	11 326,97	60,59	350	21 206,71
				20 903,28		226 732,58	291,00		142 679,18

centre N° 10

Fs 1,65

talus stable

Tableau N° V.12 : Cercle de pied de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	9404,5	-45	- 0,71	- 6 649,99	0,71	6 649,99	39,60	150	5 939,70
2	24357,2	-37	- 0,60	- 14 658,53	0,80	19 452,52	35,06	400	14 023,92
3	32806,2	-13	- 0,22	- 7 379,79	0,97	31 965,38	28,74	550	15 805,08
4	36359,4	3	0,05	1 902,90	1,00	36 309,57	28,04	620	17 383,82
5	35877,8	17	0,29	10 489,65	0,96	34 310,11	29,28	630	18 446,00
6	30184	33	0,54	16 439,38	0,84	25 314,43	33,39	540	18 028,53
7	14577,6	56	0,83	12 085,38	0,56	8 151,69	50,07	300	15 021,65
				12 229,02		162 153,69	244,17		104 648,71

centre N° 11

Fs 2,02

talus stable

Tableau N° V.13 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	6333,35	-20	-0,34	- 2 166,13	0,94	5 951,40	35,12	70	2 458,25
2	14081,1	-7	-0,12	- 1 716,05	0,99	13 976,14	33,25	200	6 649,56
3	17930,55	7	0,12	2 185,18	0,99	17 796,90	33,25	270	8 976,91
4	16293,75	19	0,33	5 304,73	0,95	15 406,04	34,90	250	8 725,37
5	8487,4	34	0,56	4 746,09	0,83	7 036,37	39,81	130	5 174,67
				8 353,82		60 166,86	176,32		31 984,77

centre N° 12

Fs 1,62

talus stable

Tableau N° V.14 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	7072,4	-32	-0,53	- 3 747,80	0,85	5 997,74	31,84	100	3 183,78
2	14625,9	-14	-0,24	- 3 538,33	0,97	14 191,45	27,83	270	7 513,17
3	18544,95	4	0,07	1 293,63	1,00	18 499,78	27,07	340	9 202,42
4	17205,75	23	0,39	6 722,82	0,92	15 837,98	29,33	320	9 386,15
5	8979,45	44	0,69	6 237,65	0,72	6 459,28	37,53	180	6 756,20
				6 967,98		60 986,21	153,60		36 041,72

centre N° 13

Fs 1,71

talus stable

Tableau N° V.15 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	8347,2	-26	-0,44	- 3 659,17	0,90	7 502,41	35,60	180	6 408,59
2	17715,2	-10	-0,17	- 3 076,21	0,98	17 446,07	32,49	280	9 098,22
3	22032	5	0,09	1 920,22	1,00	21 948,16	32,12	350	11 242,78
4	20064	20	0,34	6 862,29	0,94	18 853,99	34,05	320	10 897,18
5	9699,8	38	0,62	5 971,79	0,79	7 643,55	40,61	160	6 497,37
				8 018,92		73 394,18	174,88		44 144,15

centre N° 14

Fs 1,73

talus stable

Tableau N° V.16 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$	
1	4953,9	-28	-0,47	- 2 325,72	0,88	4 374,03	29,45	50	1 472,34	
2	12506	-16	-0,28	- 3 447,12	0,96	12 021,54	27,05	210	5 680,03	
3	17137,9	-6	-0,10	- 1 791,40	0,99	17 044,02	26,14	310	8 104,40	
4	19371,3	6	0,10	2 024,85	0,99	19 265,18	26,14	360	9 411,56	
5	18924,1	16	0,28	5 216,19	0,96	18 191,01	27,05	350	9 466,72	
6	14969,5	28	0,47	7 027,75	0,88	13 217,28	29,45	290	8 539,58	
7	5879	42	0,67	3 933,82	0,74	4 368,95	34,99	150	5 247,97	
				10 638,38			88 482,02	200,26	47 922,60	

centre N° 15

Fs 1,71

talus stable

Tableau N° V.17 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$	
1	5406,5	-22	-0,37	- 2 025,31	0,93	5 012,82	32,36	60	1 941,36	
2	12991,5	-10	-0,17	- 2 255,95	0,98	12 794,13	30,46	190	5 787,93	
3	17106	2	0,03	596,99	1,00	17 095,58	30,02	270	8 104,94	
4	18145,5	13	0,22	4 081,85	0,97	17 680,43	30,79	290	8 928,85	
5	14812,5	25	0,42	6 260,03	0,91	13 424,68	33,10	250	8 275,33	
6	6541,9	38	0,62	4 027,60	0,79	5 155,09	38,07	110	4 187,76	
				10 685,21			71 162,73	194,80	37 226,17	

centre N° 16

Fs 1,48

talus douteux

Tableau N° V.18 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$	
1	5387,65	-27	-0,45	- 2 445,94	0,89	4 800,43	31,43	70	2 199,76	
2	13560,4	-16	-0,28	- 3 737,75	0,96	13 035,09	29,13	220	6 408,24	
3	19122,6	-5	-0,09	- 1 666,64	1,00	19 049,83	28,11	340	9 556,36	
4	22101,8	6	0,10	2 310,27	0,99	21 980,72	28,15	390	10 980,15	
5	21287	17	0,29	6 223,72	0,96	20 356,86	29,28	380	11 126,16	
6	16695	28	0,47	7 837,83	0,88	14 740,81	31,71	300	9 513,59	
7	6212,8	41	0,66	4 075,96	0,75	4 688,86	37,10	120	4 452,04	
				12 597,44			98 652,61	214,91	54 236,31	

centre N° 17

Fs 1,57

talus stable

Tableau N° V.19 : Cercle de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	10122,1	-35	-0,57	- 5 805,80	0,82	8 291,54	40,29	120	4 834,27
2	25716,9	-21	-0,36	- 9 216,11	0,93	24 008,79	35,35	370	13 078,68
3	35052,6	-8	-0,14	- 4 878,38	0,99	34 711,47	33,32	500	16 662,15
4	39240,3	5	0,09	3 420,02	1,00	39 090,98	33,13	580	19 213,11
5	38618,2	17	0,29	11 290,87	0,96	36 930,77	34,51	570	19 669,46
6	30838,5	31	0,52	15 883,00	0,86	26 433,75	38,50	480	18 479,47
7	13187,1	48	0,74	9 799,93	0,67	8 823,89	49,32	200	9 863,55
				20 493,52		178 291,20	264,41		101 800,69

centre N° 18

Fs 1,53

talus stable

Tableau N° V.20 : Cercle de pied de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	4114,5	-26	-0,44	- 1 803,68	0,90	3 698,09	31,15	50	1 557,64
2	13445,2	-15	-0,26	- 3 479,87	0,97	12 987,07	28,99	210	6 087,42
3	19030,2	-5	-0,09	- 1 658,59	1,00	18 957,78	28,11	300	8 432,09
4	20850,4	7	0,12	2 541,02	0,99	20 694,98	28,21	350	9 873,60
5	20090,8	17	0,29	5 873,98	0,96	19 212,93	29,28	350	10 247,78
6	15834	29	0,48	7 676,48	0,87	13 848,73	32,01	280	8 963,90
7	5705,4	42	0,67	3 817,66	0,74	4 239,94	37,68	140	5 274,88
				12 967,00		93 639,52	215,43		50 437,30

centre N° 19

Fs 1,49

talus douteux

Tableau N° V.21 : Cercle de pied de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	8909	-32	-0,53	- 4 721,05	0,85	7 555,26	37,73	110	4 150,71
2	23572,8	-22	-0,37	- 8 830,53	0,93	21 856,32	34,51	340	11 734,46
3	33228,8	-9	-0,16	- 5 198,13	0,99	32 819,70	32,40	490	15 875,45
4	37617,6	4	0,07	2 624,07	1,00	37 525,97	32,08	570	18 284,54
5	36739,2	17	0,29	10 741,50	0,96	35 133,87	33,46	560	18 738,80
6	30232	31	0,52	15 570,63	0,86	25 913,88	37,33	470	17 546,17
7	13615,2	48	0,74	10 118,07	0,67	9 110,35	47,82	230	10 999,35
				20 304,56		169 915,34	255,34		97 329,47

centre N° 20

Fs 1,47

talus douteux

Tableau N° V.22 : Cercle de pied de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	4136,8	-26	-0,44	- 1 813,45	0,90	3 718,13	26,70	50	1 335,12
2	9807,6	-10	-0,17	- 1 703,07	0,98	9 658,60	24,37	170	4 142,94
3	11869,2	7	0,12	1 446,49	0,99	11 780,73	24,18	220	5 319,65
4	10486,8	23	0,39	4 097,52	0,92	9 653,15	26,07	200	5 214,53
5	5460,3	42	0,67	3 653,65	0,74	4 057,79	32,30	100	3 229,52
				5 681,14		38 868,40	133,62		19 241,76

centre N° 21

Fs 1,71

talus stable

Tableau N° V.23 : Cercle de pied de talus

n	w	α	$\sin\alpha$	w, $\sin\alpha$	$\cos\alpha$	w, $\cos\alpha$	b/ $\cos\alpha$	u	u,b/ $\cos\alpha$
1	9941	-40	-0,64	- 6 389,95	0,77	7 615,25	39,16	140	5 482,71
2	23686,5	-17	-0,29	- 6 925,26	0,96	22 651,51	31,37	370	11 607,18
3	28791	4	0,07	2 008,36	1,00	28 720,87	30,07	460	13 833,70
4	26755,5	23	0,39	10 454,21	0,92	24 628,57	32,59	450	14 665,87
5	14150,6	50	0,77	10 839,99	0,64	9 095,83	46,67	260	12 134,65
				9 987,34		92 712,02	179,87		57 724,10

centre N° 22

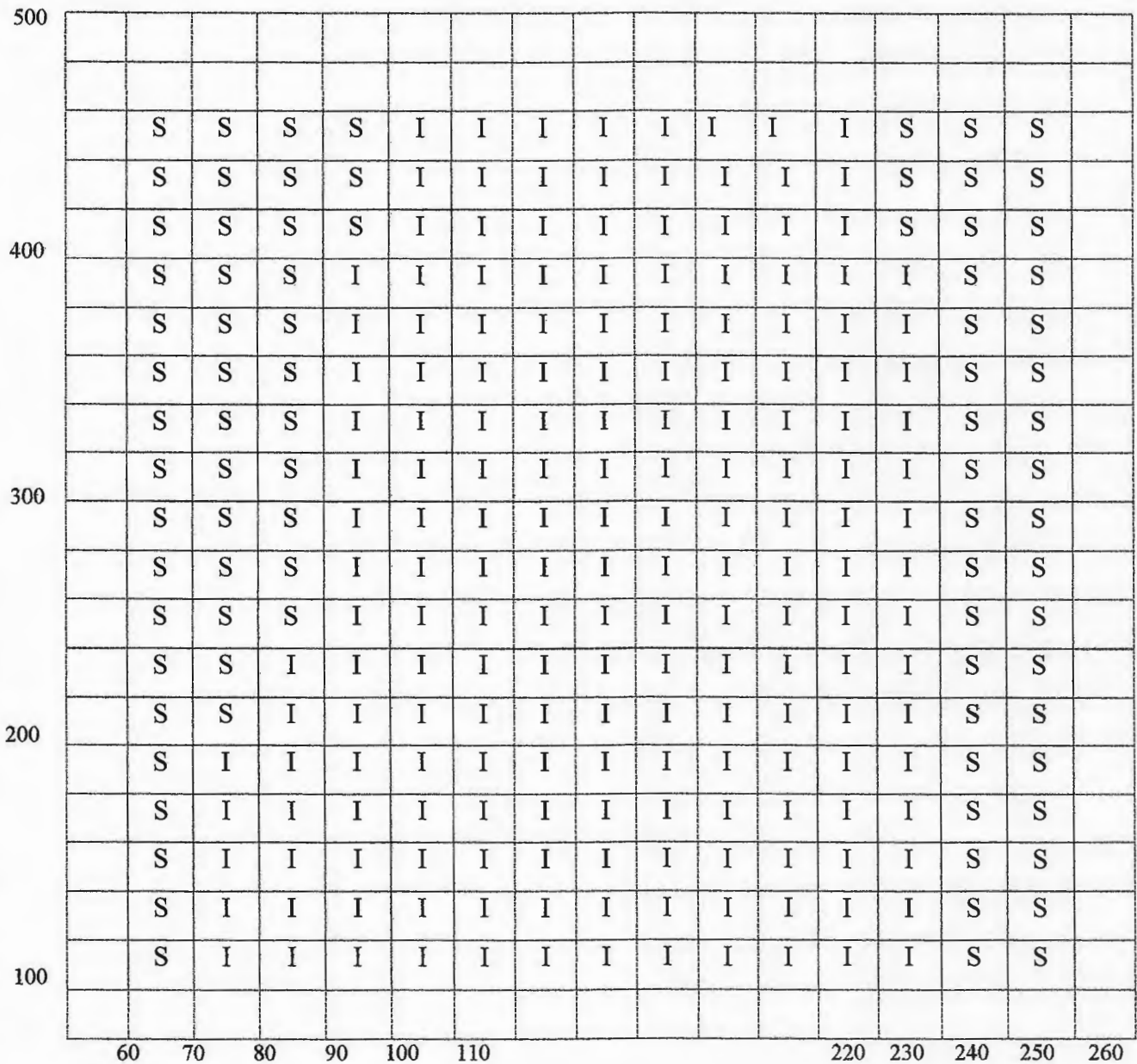
Fs 1,59

talus stable

4.6/- Calculs par le logiciel NIXES ET TROLLS :

On a utilisé la version test du logiciel Nixes et Trolls Windows (1995) pour calculer le facteur de sécurité au glissement.

4.6.1/- Quadrillage :



S : zone stable
 I : zone instable

Fig.V.5 : Quadrillage du centre de cercle de glissement.

Ce logiciel a l'avantage de calculer une infinité de coefficients de sécurité au glissement dans un laps de temps réduit.

Il prend en compte des données fixes du problème qui sont :

- La géométrie des couches,
- Les caractéristiques physiques et mécaniques du sol,
- La pente du talus.

Ainsi que des données variables qui sont :

- Les centres des cercles (coordonnées),
- Les rayons des cercles.

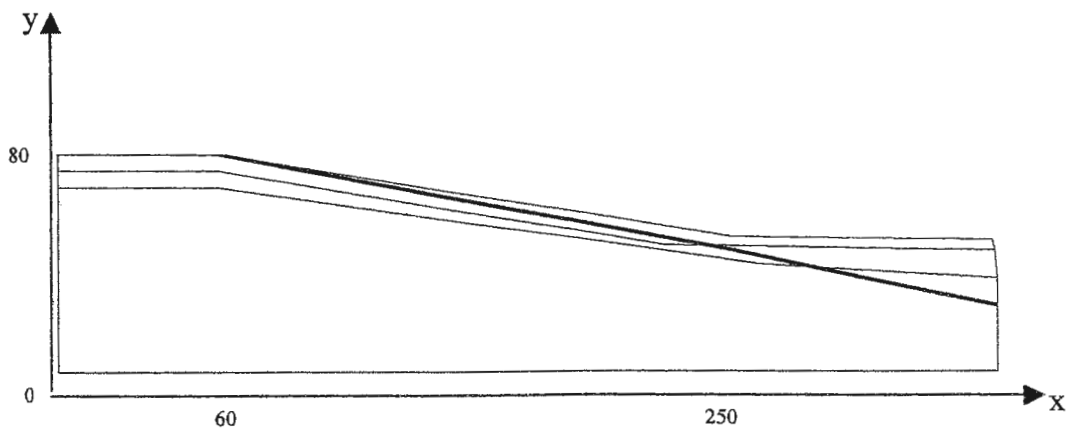


Fig.V.6 : Coupe du talus (logiciel Nixes et Trolls).

4.6.2/- Description informatique du talus :

- le toit de la couche n° 3 (Remblai) est formé des points suivants :

n° 8	x = 349 m	y = 49 m
n° 12	x = 348 m	y = 47 m
n° 11	x = 250 m	y = 50 m
n° 10	x = 60 m	y = 80 m
n° 9	x = 0 m	y = 80 m

Cette couche n° 3 possède les caractéristiques géotechniques suivantes:

Poids volumique : 18 kn/m^3 cohésion : 10 kn/m^2 angle de frottement : 10°

- le toit de la couche n° 2 (Argile) est formé des points suivants :

n° 4	x = 350 m	y = 35 m
n° 8	x = 349 m	y = 45 m
n° 7	x = 225 m	y = 47 m
n° 6	x = 60 m	y = 74 m
n° 5	x = 0 m	y = 74 m

Cette couche n° 2 possède les caractéristiques géotechniques suivantes:

Poids volumique : 18.6 kn/m^3 cohésion : 8 kn/m^2 angle de frottement : 6.5°

- le toit de la couche n° 1 est formé des points suivants :

n° 4	x = 350 m	y = 35 m
n° 3	x = 260 m	y = 40 m
n° 2	x = 60 m	y = 68 m
n° 1	x = 0 m	y = 68 m

Cette couche n° 1 (Marne schisteuse) possède les caractéristiques géotechniques suivantes:

Poids volumique : 16.7 kn/m^3 cohésion : 25 kn/m^2 angle de frottement : 18°

- Le profil est formé des points suivants :

n° 9	x = 0 m	y = 80 m
n° 10	x = 60 m	y = 80 m
n° 11	x = 250 m	y = 50 m
n° 12	x = 348 m	y = 49 m
n° 8	x = 349 m	y = 45 m
n° 4	x = 350 m	y = 35 m

- La nappe est formée des points suivants :

x = 0 m	y = 80 m
x = 60 m	y = 80 m
x = 250 m	y = 45 m
x = 350 m	y = 25 m

4.7/- Interprétation des résultats :

A partir de ses résultats (du logiciel Nixes et Trolls), on constate que :

- Le centre du cercle de glissement est limité entre $x = 70$ à 240 m et y s'étend du niveau du terrain et sa limite supérieure tend vers l'infini.
- La ligne de la surface de glissement s'apparente à :
 - Un arc, quand le centre du cercle de glissement est proche de la surface du terrain,
 - Une droite, quand le centre du cercle de glissement est très éloigné de la surface du terrain,
- Lors de l'édification d'un mur de soutènement, on ne prendra en compte que les cercles les plus profonds ($x=235$, $y=285$, $r=239$) et on négligera les cercles à grands rayons.

CHAPITRE VI :

CAUSES DU GLISSEMENT

VI- CAUSES DU GLISSEMENT

Un glissement de terrain a rarement une cause unique. C'est le plus souvent sous l'action combinée de plusieurs facteurs négatifs que se déclenche un glissement.

Les causes envisageables du glissement de terrain dans le site faisant l'objet de notre étude peuvent se rattacher à :

- La nature du terrain,
- Les diverses formes d'action de l'eau,
- La pente,
- L'influence des constructions et les travaux de l'homme sans précautions.

1/- La nature de terrain :

La nature des terrains représente la donnée de base imposée par la géologie du site. Les terrains vulnérables aux glissements sont des terrains à granulométrie fine comme l'argile, ou des terrains à structure schisteuse comme les schistes.

Les sondages réalisés sur le site de l'hôpital montrent des formations essentiellement à caractère argileux. On retrouve des argiles reposant sur un substratum marno-schisteux. Donc ce terrain est très favorable aux glissements.

2/- Les diverses formes d'action de l'eau :

L'eau joue un rôle négatif dans le glissement et diminue la stabilité des talus en :

- Produisant des pressions interstitielles qui diminuent les contraintes effectives, donc la résistance au cisaillement,
- Dégradant superficiellement le sol.

La circulation anarchique des eaux s'effectue superficiellement et en profondeur. En effet, le site est un endroit très favorable pour recevoir toutes les eaux superficielles. L'amont de l'hôpital est un siège important d'écoulements d'eau. La circulation d'eau s'effectue à l'intérieur du remblai argileux et a pour conséquence le mouvement de la couche de remblai par la diminution de ses caractéristiques géomécaniques.

L'apparition de sources d'eau en amont du site atteste de l'ampleur du phénomène d'eau existant. Toutes ces formes d'eau favorisent le glissement de terrain.

Exemple :

Dans le cas de cercle de glissement de centre (20) qui est défini par les coordonnées : $x=150$, $y=150$ et $R=140$, le coefficient de sécurité F_s sera égal à 1,47 en présence de la nappe, et 3,40 dans le cas de l'absence de la nappe.

3/- La pente :

Si on taille un talus trop raide, il s'y produit inévitablement des ruptures. La pente représente donc un paramètre qui conditionne la stabilité.

Le talus objet de l'étude présente une pente de 9° avec des couches inclinées épousant sa pente. Sachant que la pente du talus est supérieure à l'angle de frottement interne de la couche d'argile ($\Phi = 6,5^\circ$), donc, cela favorisera le glissement.

4/-L'influence des constructions et les travaux de l'homme sans précautions :

Deux règles pour éviter d'aggraver l'instabilité du site :

- Ne pas charger l'amont d'un talus instable,
- Ne pas décharger son pied.

L'amont de notre talus est chargé par les constructions de la cité des 150 logements et son pied est déchargé pour la réalisation d'une route sans aucune précaution, ces deux facteurs vont accélérer la possibilité de l'exposition au glissement (voir photos VI.1, VI.2, VI.3).



Photo.VI.1 : Talus chargé par les bâtiments de la cité des 150 lgts.

(Photo prise le 23-05-2005).



Photo.VI.2 : Présence d'un chantier. (Photo prise le 27-06-2005).



Photo.VI.3 : Nouveau bâtiment de type R+5. (Photo prise le 27-06-2005).

CHAPITRE VII :
SOLUTIONS PRECONISEES

VII/- SOLUTIONS PRECONISEES

Méthode de confortement d'un glissement de Terrain

Après avoir pu cerner le phénomène de glissement dans le site étudié quant à sa nature, ses mécanismes, ses causes, la surface de glissement et sa profondeur, nous recommandons les solutions suivantes :

1/- Sur le plan hydraulique : (Drainage) ¶

Le sens d'écoulement de la nappe étant parallèle à la pente, la solution qui consiste en la réalisation des éperons drainant (tranchées dans le sens de la pente) semble être à notre avis la plus indiquée. Ces éperons drainants sont d'une profondeur de quatre (04) mètres, d'une largeur de un (01) mètres et d'une longueur égale à la ligne séparant les deux chaussées délimitants le versant. L'espace entre ces éperons étant d'environ 15 mètres. Ces drains seront raccordés à un collecteur longitudinal situé au pied du versant. Compte tenu du profil en long de la chaussée longeant l'hôpital, il n'y aura pas de problèmes de pente pour ce collecteur.

Ces éperons seront remplis d'un matériau drainant qui sera obligatoirement une grave de concassage 0/40, d'équivalent de sable égale au moins à 40 %

Le fuseau de spécification de la grave sera comme suit : (voir figure VII.1)

Tableau N° VII.1 : Fuseau de spécification de la grave de concassage 0/40

(D'après le B.E.G.S.F., 1998)

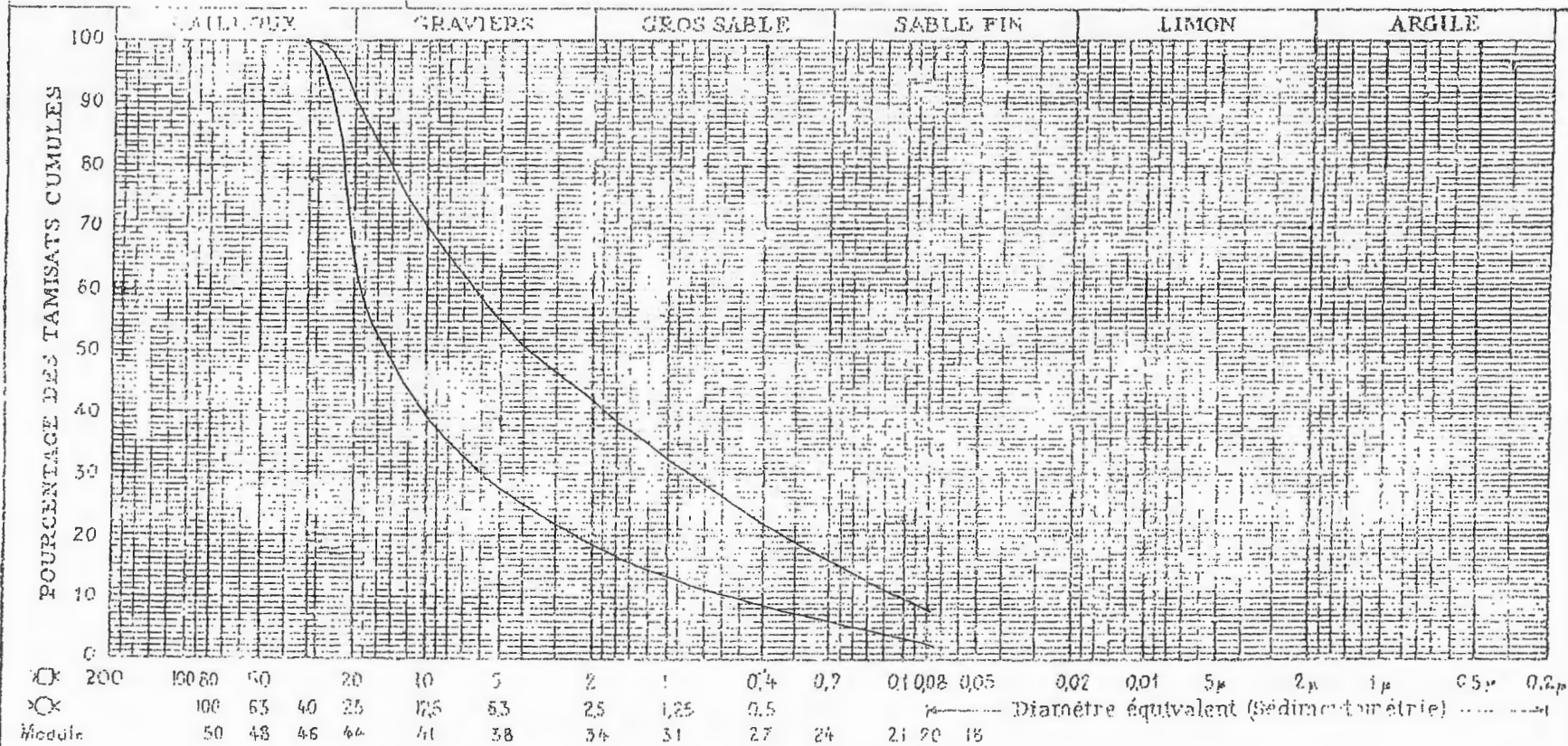
Tamis (mm)	% de passants
40	100
31,5	95-100
20	64-90
10	40-70
6,3	30-60
2	20-42
0,5	10-26
0,08	2-7

Bureau d'études
géotechniques de
soch. et fondations

Glissement: Terrain amont de l'hôpital de Jijel

Désignation des échantillons } N°
 } N°
 } N°

S 6 ET S.7 . ANALYSE GRANULOMETRIQUE



200	100	50	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.1	0.075	0.05	0.02	0.01	5µ	2µ	1µ	0.5µ	0.2µ
100	65	40	25	17.5	12.5	8.5	6.5	5.5	4.5	3.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Module	50	48	46	44	41	38	36	31	27	24	21	20	18						

	%	S. 8			S. 20
		LIMITES D'ATTERBERG			
	< 80µ	L.I.	I.P.	L.R.	E.S.
Ech					
Soch					
Ech					

Fig. VII.1 : Fuseau de spécification de la grave de concassage 0/40
 (D'après les données du tableau N° VII.1)

La récolte des eaux drainées par les éperons peut être aussi assurée par l'aménagement d'une fosse à ciel ouvert (Caniveau), qui sera bétonnée. Sa pente sera celle de la chaussée existante. Il devra évacuer les eaux vers un exutoire.

Un réseau complémentaire devra être réalisé afin que les eaux de ruissellement de pluie venant de l'amont, soient canalisées.

La chaussée de la route située en amont du versant (en contrebas de la cité des 150 logements) doit être assainie, afin d'empêcher les eaux de ruisseler et de s'infiltrer dans le versant. Pour cela on préconise d'entreprendre les mesures suivantes :

- Etanchéité de la surface de la chaussée,
- Bordure de trottoirs (côté versant), à surélever, et à jointer.
- Avaloirs à aménager tous les 50 mètres.

2/- Sur le plan mécanique :

2-1/- Gabionnage :

Les gabions sont des parallélépipèdes en grillages qu'on remplit d'enrochement ou de tout venant de carrière. On peut les empiler sur plusieurs rangées et sur plusieurs niveaux pour constituer des ouvrages de soutènement. Ils ont l'avantage d'être économiques, perméables, d'emploi souple, flexible et de forme facilement modelable. Cependant, leur emploi ne sera possible que pour les faibles hauteurs de remblai.

Sur le long du pied du versant, on réalise un gabionnage sur au moins 03 rangées décalées chacune de 1,5 mètres l'une par rapport à l'autre.

2-2/- Mur de soutènement (mur voile) : (Mur Poids, Mur voiles).

Pour buter le pied de talus et le corps de chaussée, on opte pour la solution d'un mur voile à une hauteur de 5 m (à partir du calcul du cercle de glissement).

2.2.1/- Force de poussée :

- Calcul des forces de poussée exercées par les deux couches sur le mur :

$$Fp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_d \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \cdot H^2 - 2 \cdot C \cdot H \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$$

- Première couche :

$$Fp_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d1} \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) \cdot h_1^2 - 2 \cdot C_1 \cdot h_1 \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$Fp_1 = 6.68 \text{ kn/ml}$$

- Deuxième couche :

$$Fp_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{d2} \cdot tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_2}{2}\right) h_2^2 - 2 \cdot C_2 \cdot h_2 \cdot tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_2}{2}\right)$$

$$Fp_2 = -6.07 \text{ kn/ml}$$

- Force exercée par la première couche sur

la partie P2 du mur

$$\sigma'_V = \gamma_{d1} \cdot h_1 = 54 \text{ kn/m}^2$$

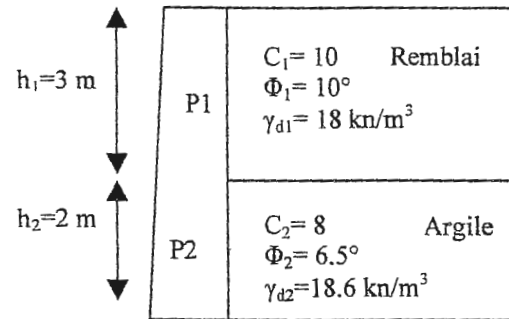
$$Kp_2 = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_2}{2}\right) = 0.797$$

$$\sigma'_H = Kp_2 \cdot \sigma'_V = 43.09 \text{ kn/m}^2$$

$$Fp_3 = \sigma'_H \cdot S_2 = 86.18 \text{ kn/ml}$$

$$Fp = Fp_1 + Fp_2 + Fp_3 = 86.18 \text{ kn/ml}$$

$$= 8.62 \text{ T/ml}$$



2.2.2/- Pré dimensionnement du mur :

$H = 5 \text{ m}$
 $b = 0.4 \text{ m}$
 $B = 3.2 \text{ m}$
 $t = 0.8 \text{ m}$
 $x = 0.5 \text{ m}$

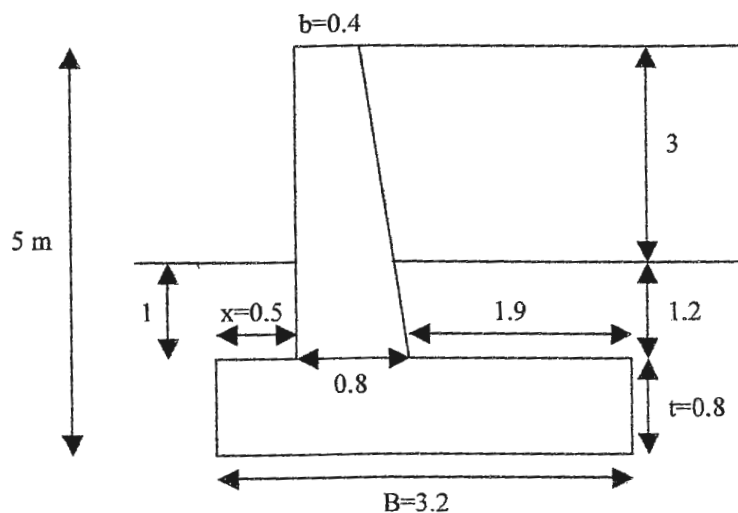


Fig.VII.2 : Pré dimensionnement du mur

2.2.3/- Vérification de la stabilité totale du mur :

Tableau N° VII.2 : vérification de la stabilité.

N°	Surface (m ²)	γ _d (T/m ³)	Poids (T/ml)	Distance/A (m)	Mr (T.m)	Poussée (T/ml)	P ^{ts} D'application (m)	Mm (T.m)
S ₁	5.7	1.8	10.26	2.25	23.08			
S' ₁	2.28	1.86	4.24	2.25	9.54			
S ₂	0.76	1.8	1.37	1.04	1.42			
S' ₂	0.07	1.86	0.13	1.99	0.26			
S ₃	2.52	2.4	6.05	0.81	4.9			
S ₄	2.56	2.4	6.14	1.6	9.83			
S ₅	0.5	1.86	0.93	2.25	0.23			
			29.12		49.26			
Fp						8.62	1.66	14.46

- Vérification vis-à-vis du glissement :

$$\frac{N}{T} \cdot f \geq Cg \Rightarrow \frac{29.12}{8.62} \cdot 0.45 \geq 1.5$$

$$\Rightarrow 1.52 \geq 1.5$$

- Vérification de la stabilité contre le renversement :

$$\frac{Mr}{Mm} \geq Cr \Rightarrow \frac{49.26}{14.46} \cdot 0.45 \geq 1.5$$

$$\Rightarrow 3.4 \geq 1.5$$

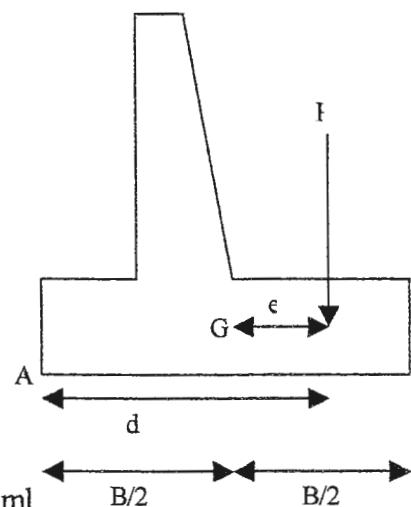
- vérification de la portance du sol :

La résistance des charges verticales (P = 29.12 T/ml)

$$\text{passe à } d = \frac{Mr}{P} = \frac{49.26}{29.12} = 1.69 \text{ m du point (A)}$$

$$\text{donc } e = 1.69 - \frac{3.2}{2} = 0.09 \text{ m}$$

$$M_G = \left(F_p \cdot \frac{H}{3} \right) - (P \cdot e) = \left(8.68 \cdot \frac{5}{3} \right) - (29.12 - 0.09) = 11.84 \text{ T.ml}$$



$$\sigma_{\max} = \frac{P}{B} + \frac{6.M_G}{B^2} = 16.04 \text{ T/ml}$$

$$= 1.6 \text{ bars} < 2 \text{ bars}$$

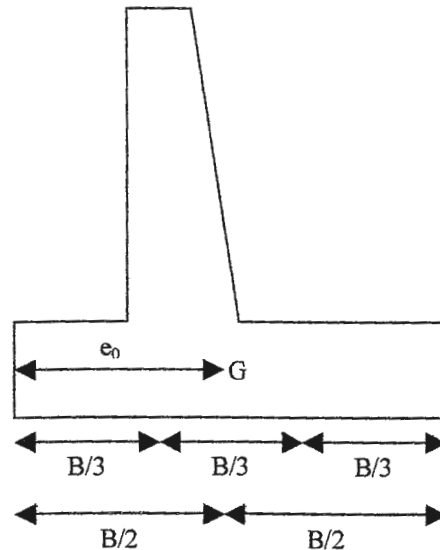
- Vérification de la stabilité de la semelle :

$$e_G = \frac{B}{2} - e_0 \leq \frac{B}{6}$$

$$e_0 = \frac{Mr - Mm}{P} = \frac{49.26 - 14.46}{29.12} = 1.2 \text{ m}$$

$$e_G = \frac{3.2}{2} - 1.2 \leq \frac{3.2}{6}$$

$$\Rightarrow e_G = 0.4 \leq 0.53$$



Remarque : Après la vérification de la stabilité totale du mur, il faut porter ce mur par des barbacanes et d'armatures bien étudiées.

3/- Sur le plan de l'aménagement :

Les résultats de notre étude font ressortir que le terrain est défavorable à la construction. Son aménagement en un espace vert et de loisir sera la solution la plus adéquate.

Il est utile de prévoir des plantes à racines traçantes sur le versant, tel que le l'acacia ou l'eucalyptus (soutènement du sol et absorption de l'eau).

Un aménagement esthétique tel qu'un espace vert est considéré psychologiquement, comme étant un facteur favorable pour la santé des malades de l'hôpital.

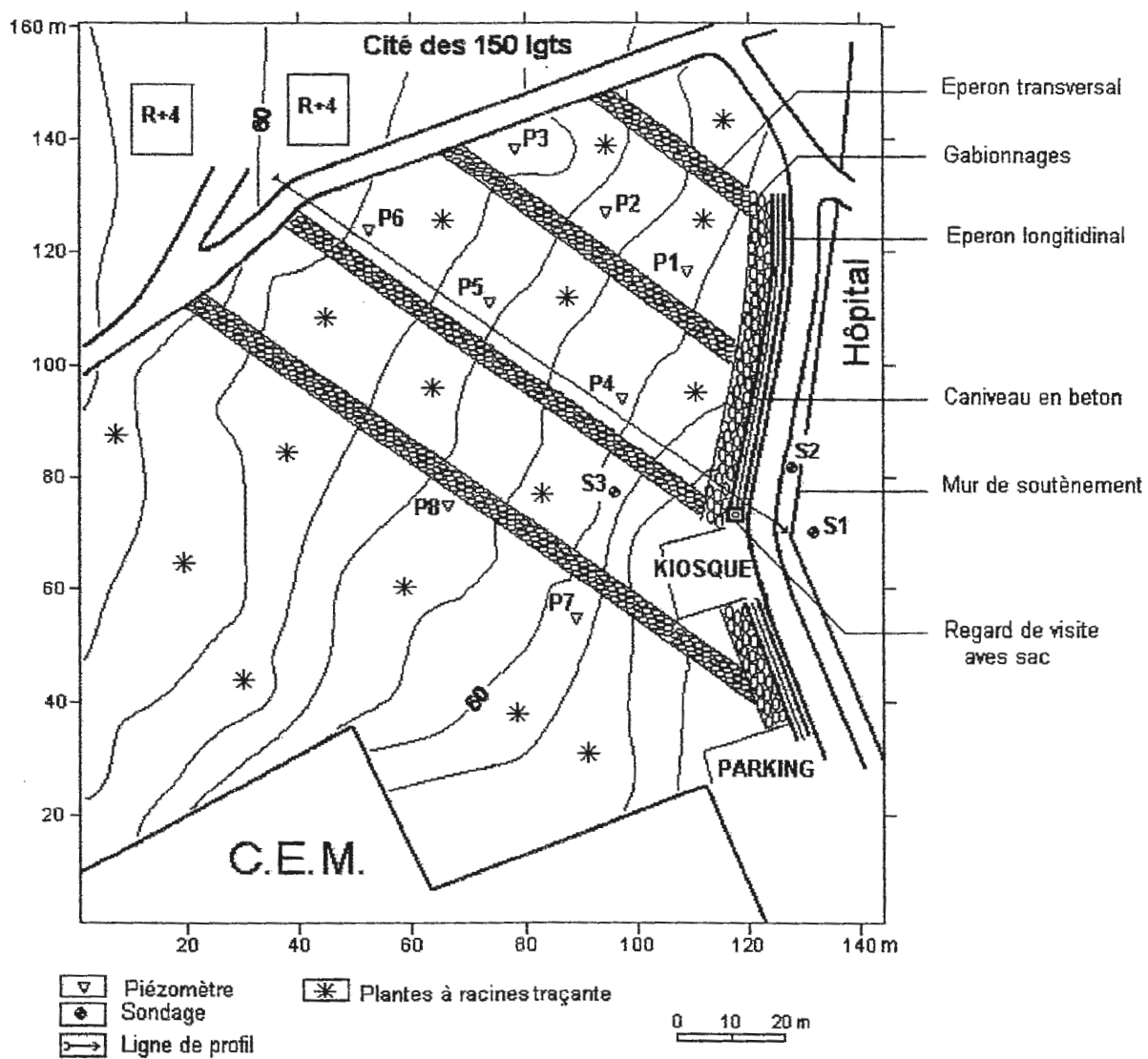


Fig.VII.3 : Plan d'intervention et proposition de solutions relatives au drainage, gabionnage, mur de soutènement et reboisement.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude de ce glissement a montré qu'il s'agit d'un mouvement qui se manifeste avec une vitesse très lente (risque masqué) et qui affecte essentiellement les deux premières couches de remblai et d'argile, sa profondeur peut aller jusqu'à 12 m au niveau de la pente et 4 à 4,5 m au niveau de mure de soutènement.

Il est déconseillé de surcharger le talus, soit par matériaux de construction (présence d'un chantier actuellement), ou par la présence en place d'habitation (bâtiment) eux même exposés aux dangers.

Des solutions telles que proposées par la présente étude (drainage, gabionnage, mur de soutènement, boisement) paraissent à notre avis capables de limiter ce risque.

Sachant que la région de Jijel est fréquemment sujette aux risques de glissement pour cause de sa géomorphologie (chaînes de montagnes) et sa pluviométrie importante, il faut donc que les autorités de la wilaya prennent conscience de la gravité du phénomène et de ses conséquences néfastes à moyen et long terme. Cette prise de conscience doit se concrétiser dans le cadre des études de P.O.S. (plan d'occupation des sols) où il est impératif d'associer aux architectes et constructeurs, des géologues et géotechniciens pour définir les zones à risque, de glissement et d'inondation.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

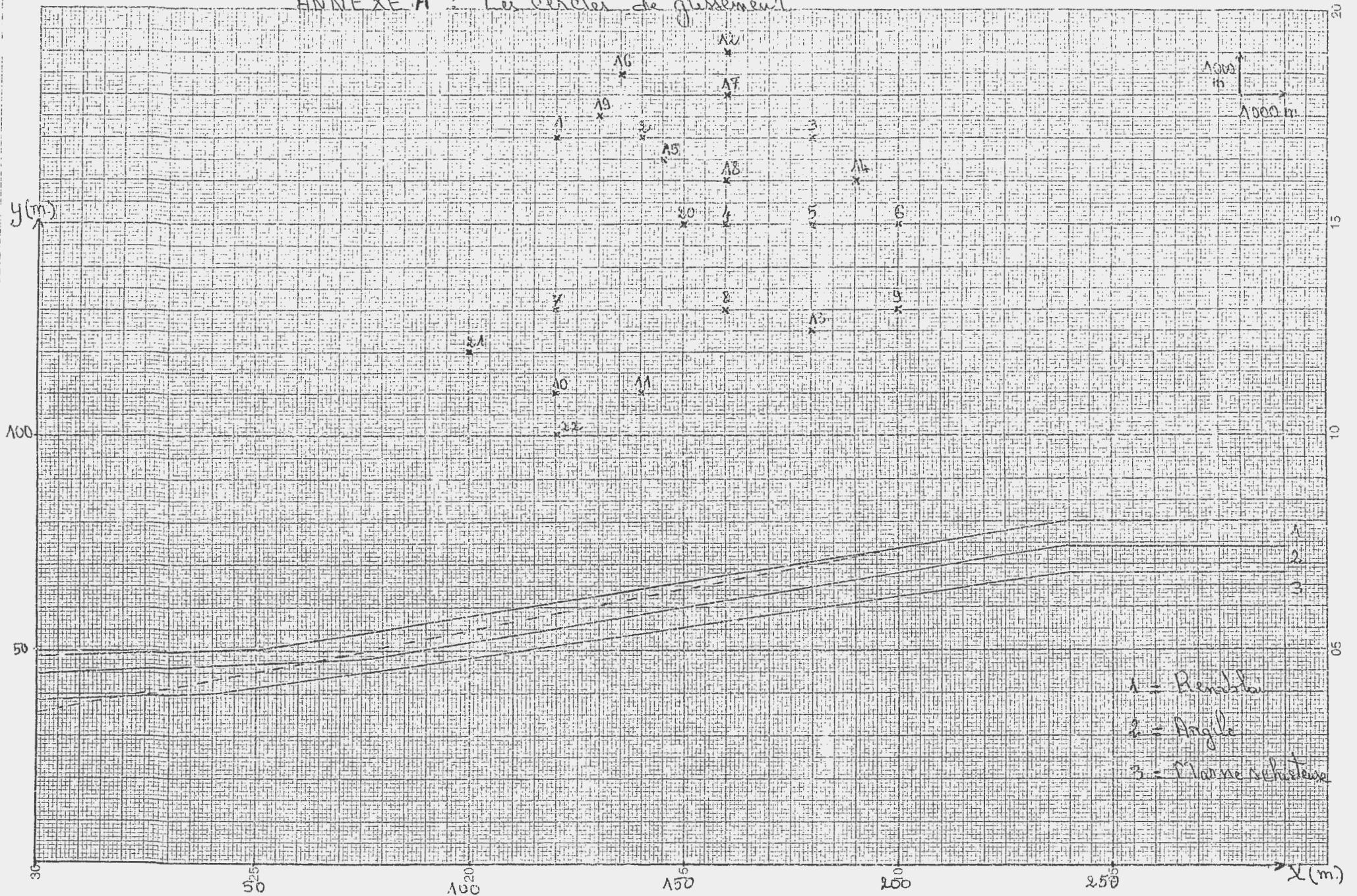
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BEN AISSA A., (2003) : Glissement de terrain-calcul de stabilité. *624-11 2/33*
Ed. O.P.U. (Alger), 95 p.
- [2] BOUAFIA A., (2000) : Mécanique des sols appliquée.
Ed. O.P.U. (Alger), 363 p, Annexes.
- [3] BOUILLIN J.P., (1977) : Géologie alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-Milia (Algérie).
Thèse Doct. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 511 p.
- [4] BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES, (2005) : Nappe d'eau.
Bureau de recherches géologiques et minières, France.
- [5] BUREAU D'ETUDES GEOTECHNIQUES DE SOLS ET FONDATIONS, (1998) : Etude géotechnique du glissement de terrain en amont de l'hôpital de Jijel.
Bureau d'études géotechniques de sols et fondations, Sétif, 16 p., Annexes.
- [6] COSTET J.et SANGLERAT G., (1981) : Cours pratique de mécanique des sols.
3^e Ed. Dunod, Paris, Tome 1, 277 p.
- [7] COSTET J.et SANGLERAT G., (1983) : Cours pratique de mécanique des sols.
3^e Ed. Dunod, Paris, Tome 2, 441 p.
- [8] DJELLIT H., (1987) : Evolution tectométamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place de nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie).
Thèse Doct., Univ. de Paris sud, 206 p.
- [9] DURAND DELGA M., (1952) : Monographies régionales. Le sud-ouest de la Petite Kabylie.
XIX^{ème} congrès géologique international. 56 p.
- [10] DURAND DELGA M., (1969) : Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie.
Bull. Serv. Carte géol. Algérie. pp : 95-125.
- [11] DYSLI M., (1993) : Complément aux cours photocopiés de technologie et de mécanique des sols.
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse, 83 p.
- [12] FOUCAULT A. et RAOULT J.F., (2000) : Dictionnaire de géologie.
5^e Ed. Dunod, Paris, 374 p.

- [13] LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'EST, (1997) : Etude du sol de l'hôpital M^{ed}. Seddik Benyahia.
Laboratoire des travaux publics de l'Est, Jijel, 10 p., Annexes.
- [14] MERABET S., (2001) : Etude géologique et structurale de la transversale El Milia – Sidi Merouane.
Thèse ing.géo. Univ. Constantine, 15 p.
- [15] MOUROUX P., MARGRON P. et PINTE J.C., (1988) : La construction économique sur sols gonflants.
Ed. Bureau de recherches géologiques et minières. France. 121 p.
- [16] NATIONALE PROJET, (1998) : Etude de glissement de terrain en amont de l'hôpital de Jijel.
N.A.P.R.O., Alger, 8 p., Annexes.
- [17] REMOUM K., (2002) : Essai de caractérisation géologique et géotechnique des carrières de Granulats de Sidi-Maarouf, Chekfa et El-Milia-Jijel.
Thèse magistère. Univ. Tebessa. 122 p.
- [18] SAAIDI E., (1989) : Dictionnaire de géologie et de géomorphologie.
Ed. Afrique Orient, 409 p.
- [19] SANGLERAT G., OLIVARI G. et CAMBOU B., (1981) : Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations.
2^e Ed. Dunod, Paris, Tome 1, 318 p.
- [20] SANGLERAT G., OLIVARI G. et CAMBOU B., (1983) : Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations.
2^e Ed. Dunod, Paris, Tome 2, 263 p.
- [21] SERVICE DE LA GEOTECHNIQUE ET DE LA GEOLOGIE, (1999) : Gestion des risques de glissement de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay-Lac-Saint-Jean.
Serv. de la géotechnique et de la géologie, Québec, Canada, 55 p.

ANNEXES

ANNEXE A : Les cercles de glissement



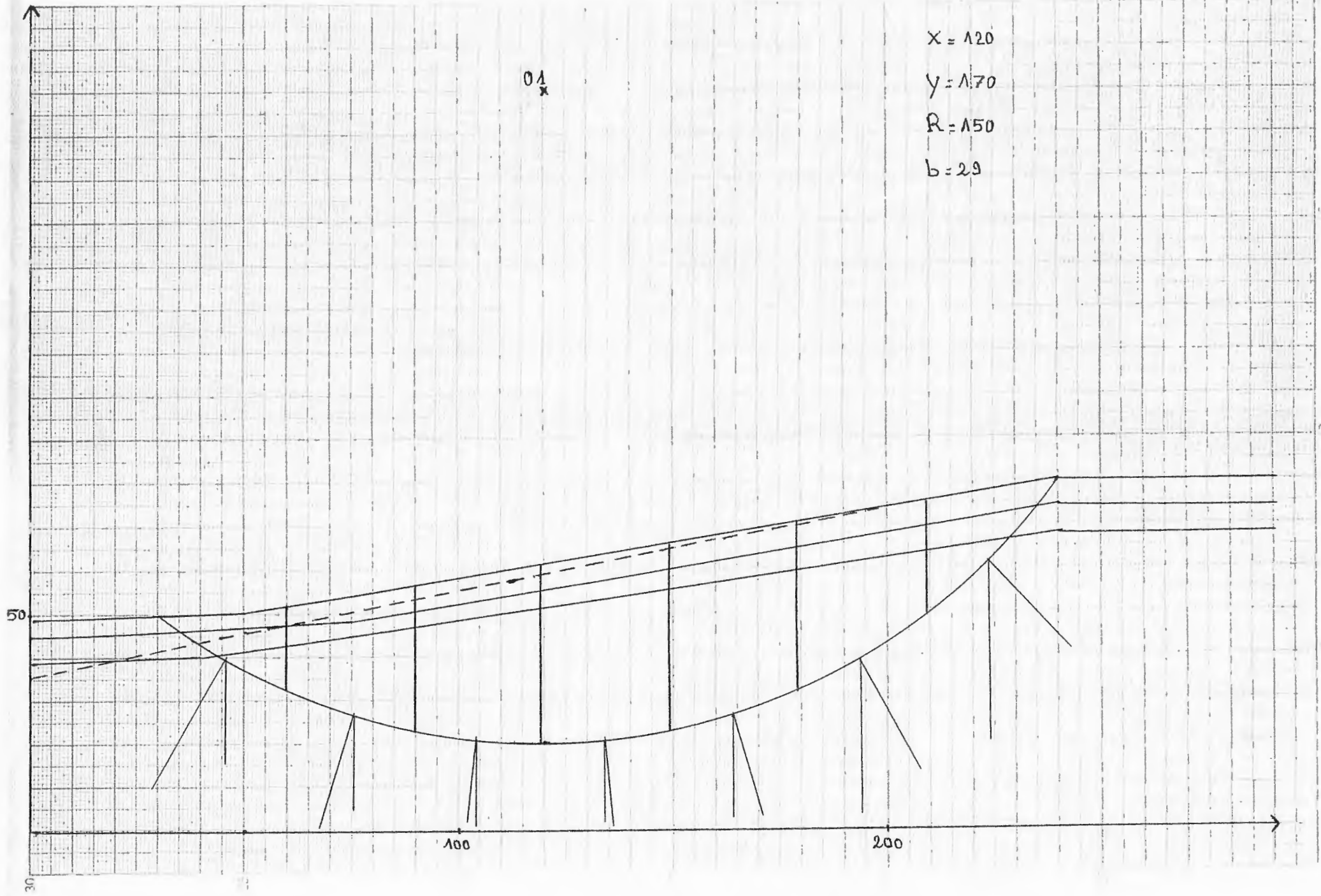
01
x

$$X = 120$$

$$Y = 170$$

$$R = 150$$

$$b = 29$$



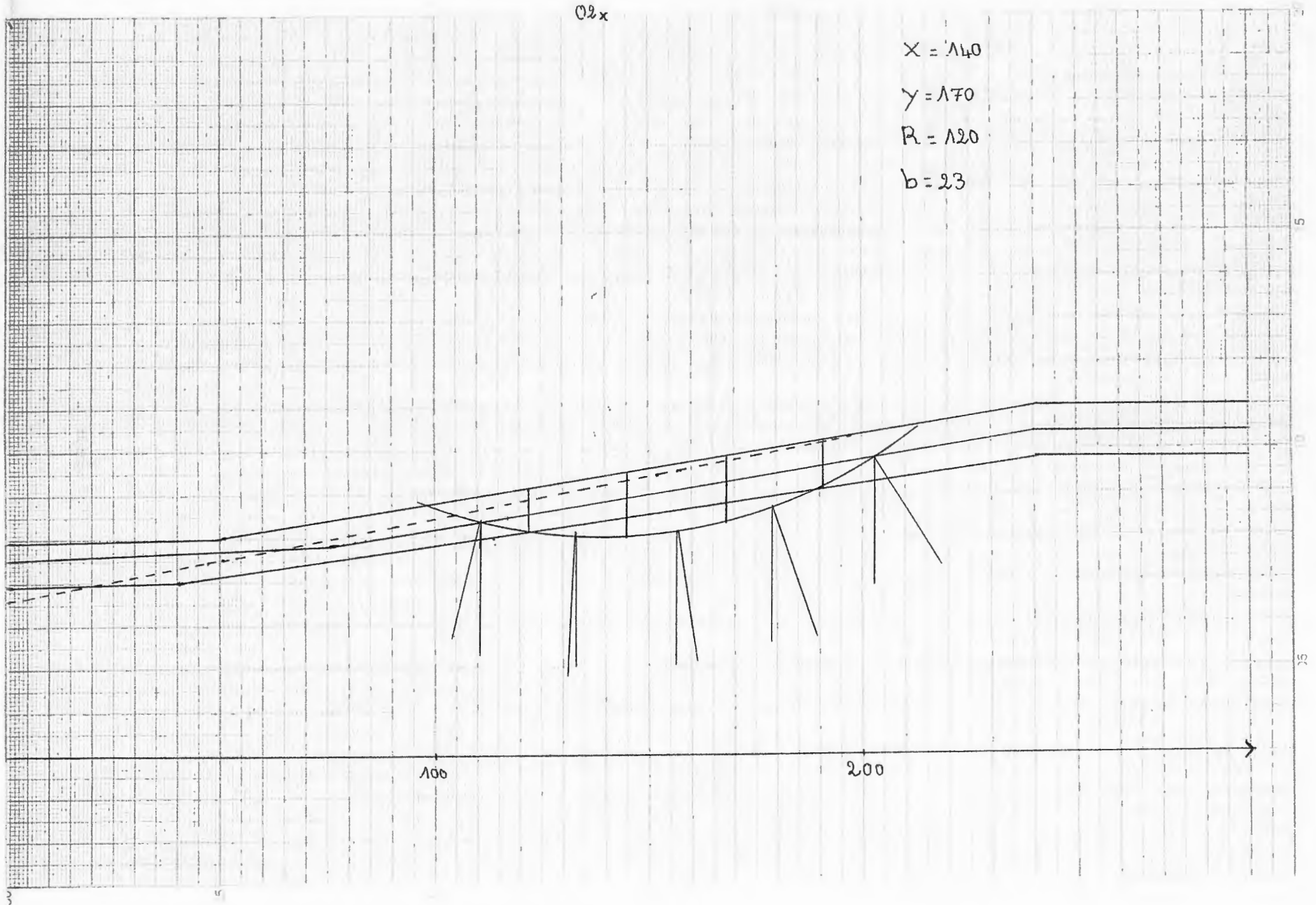
02x

$$X = 140$$

$$Y = 170$$

$$R = 120$$

$$b = 23$$



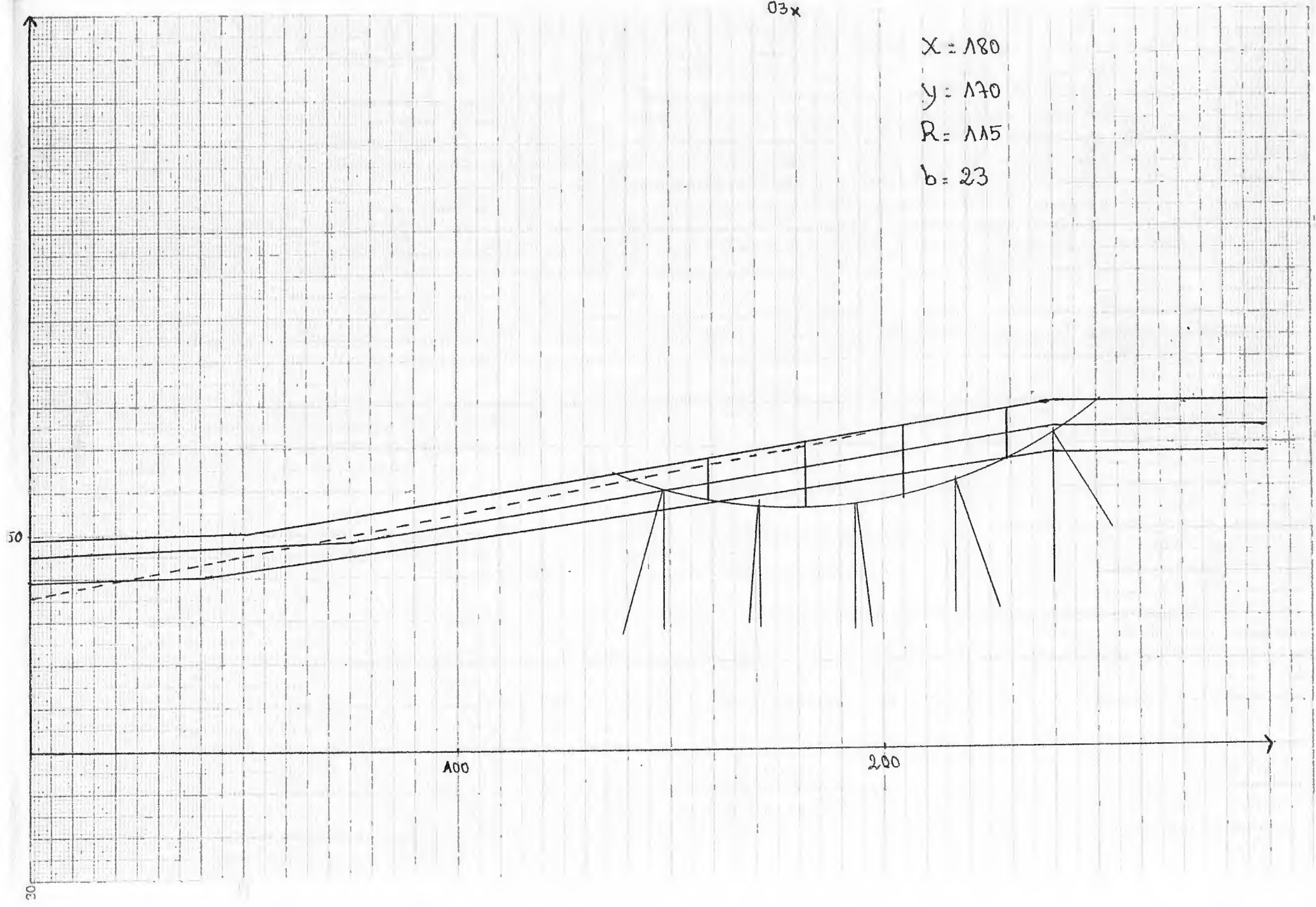
03x

X = 180

y = 170

R = 115

b = 23



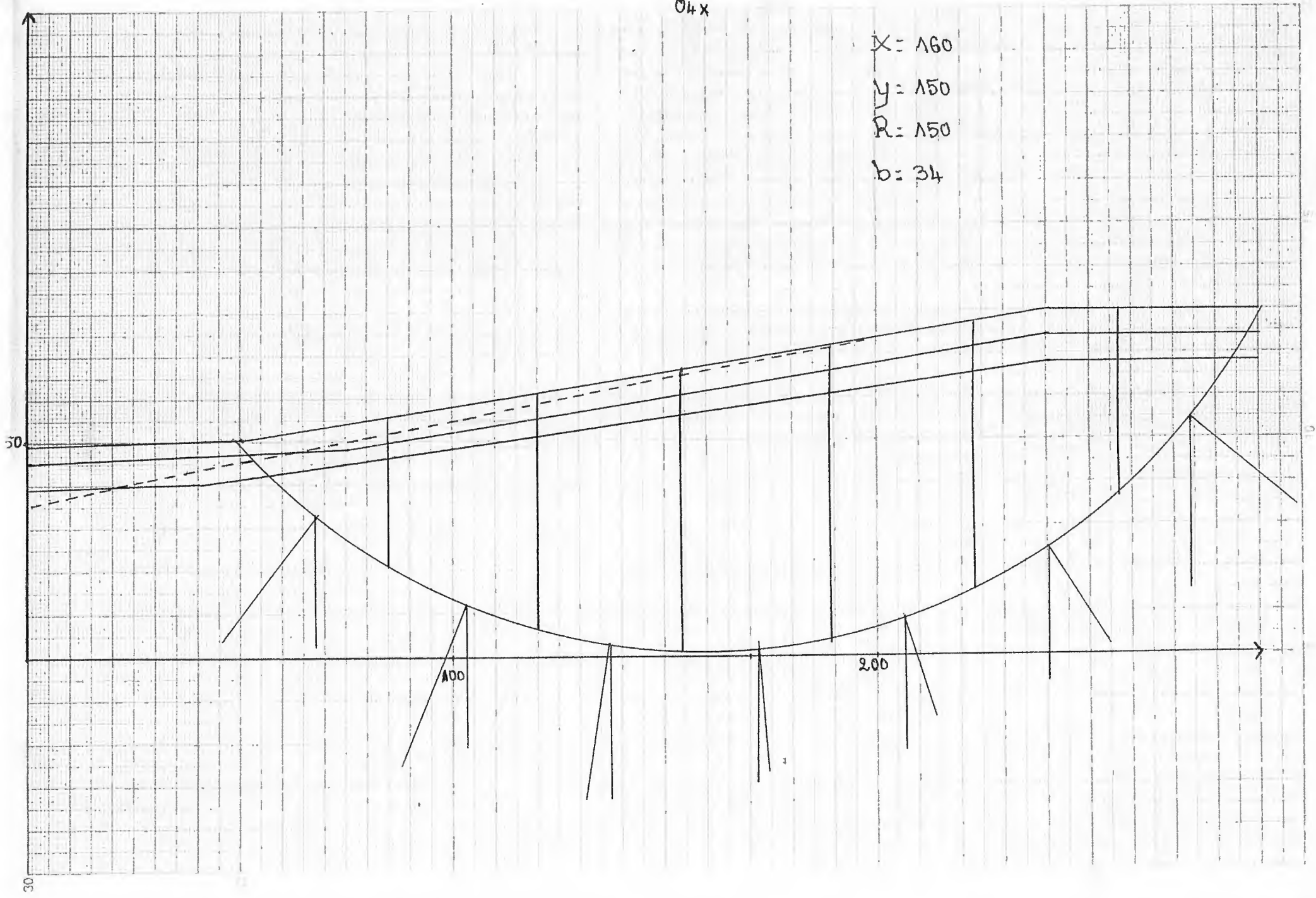
04x

X: 160

Y: 150

R: 150

b: 34



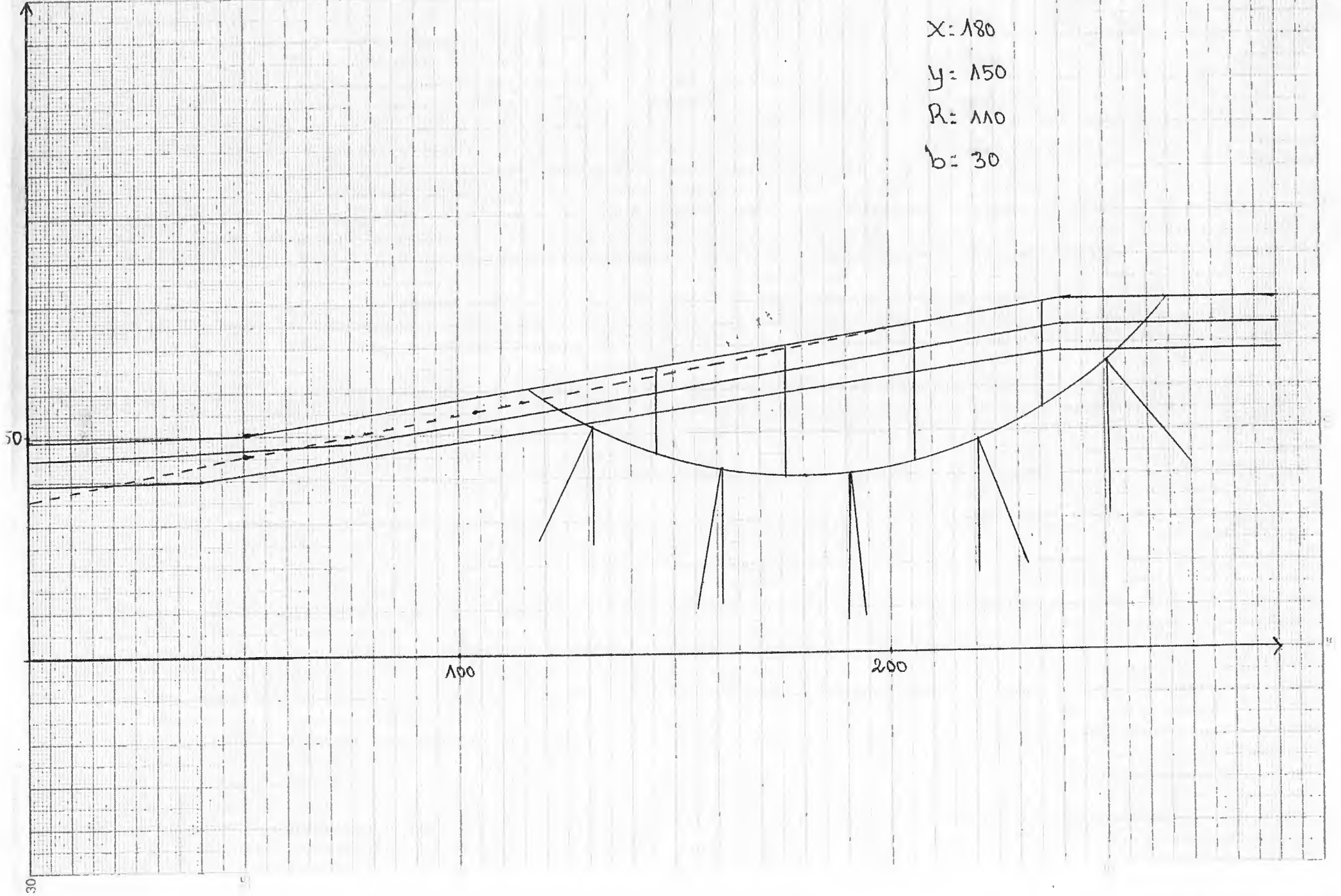
05x

X: 180

y: 150

R: 110

b: 30



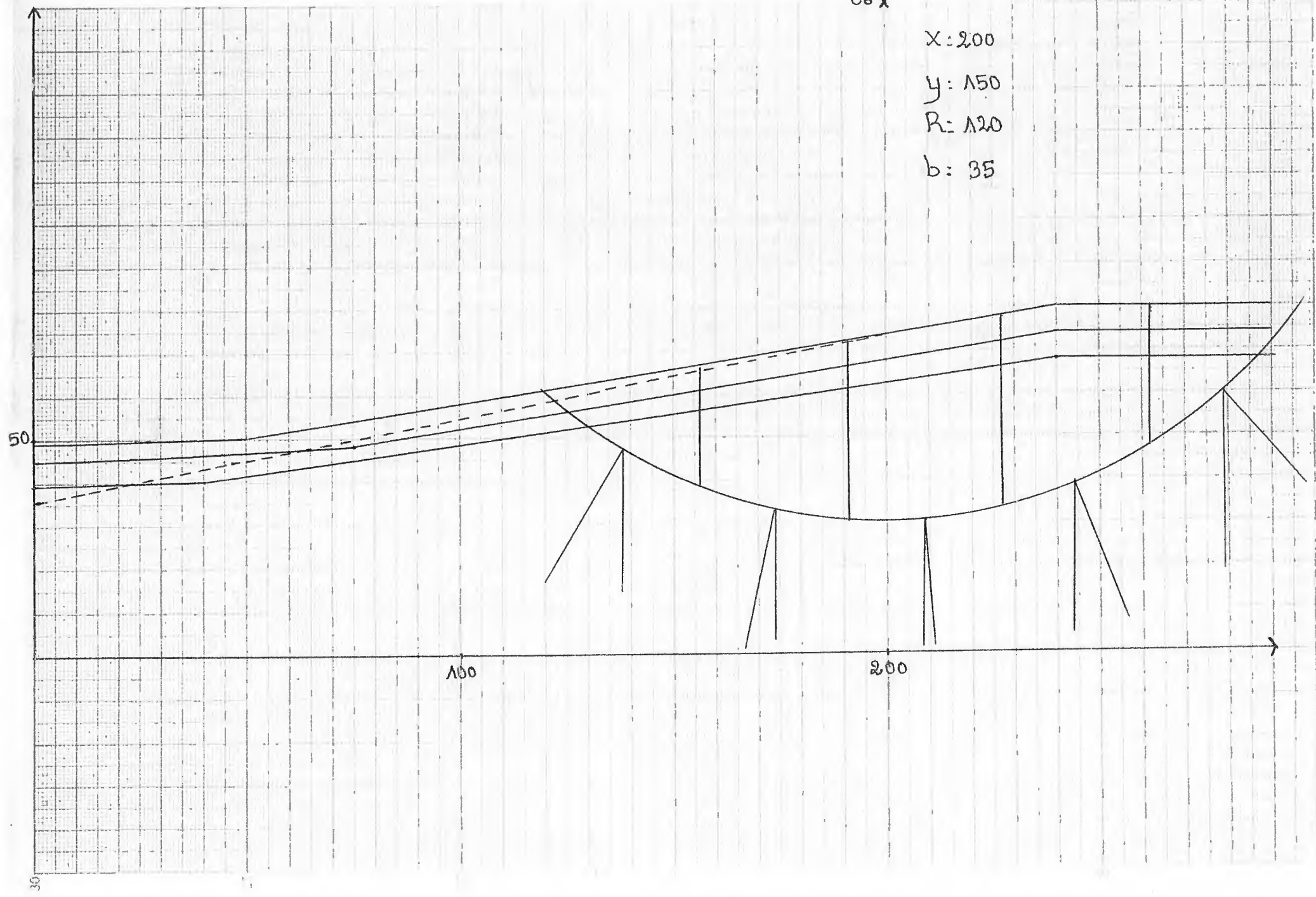
06 x

X: 200

y: 150

R: 120

b: 35



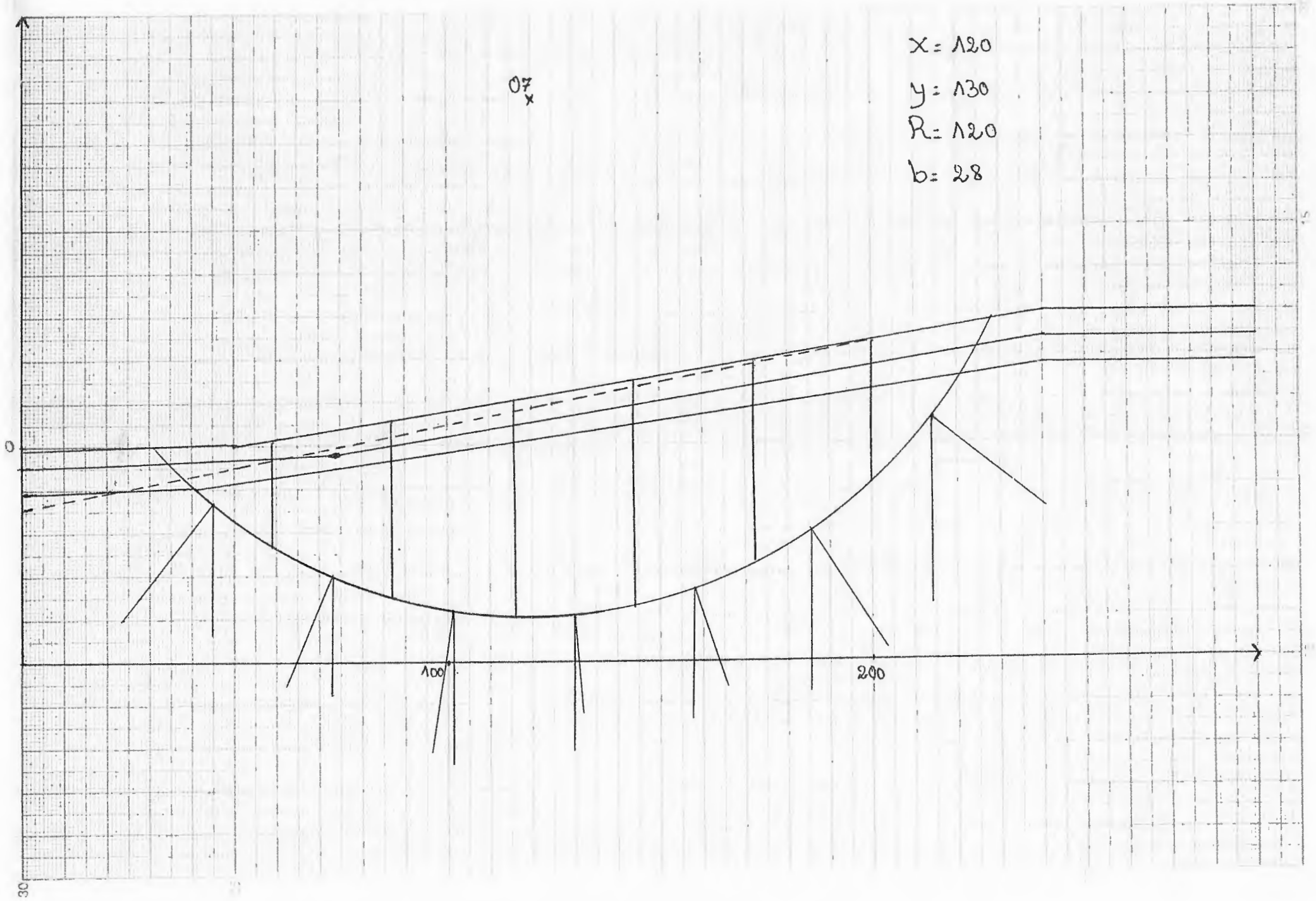
07
x

$$x = 120$$

$$y = 130$$

$$R = 120$$

$$b = 28$$



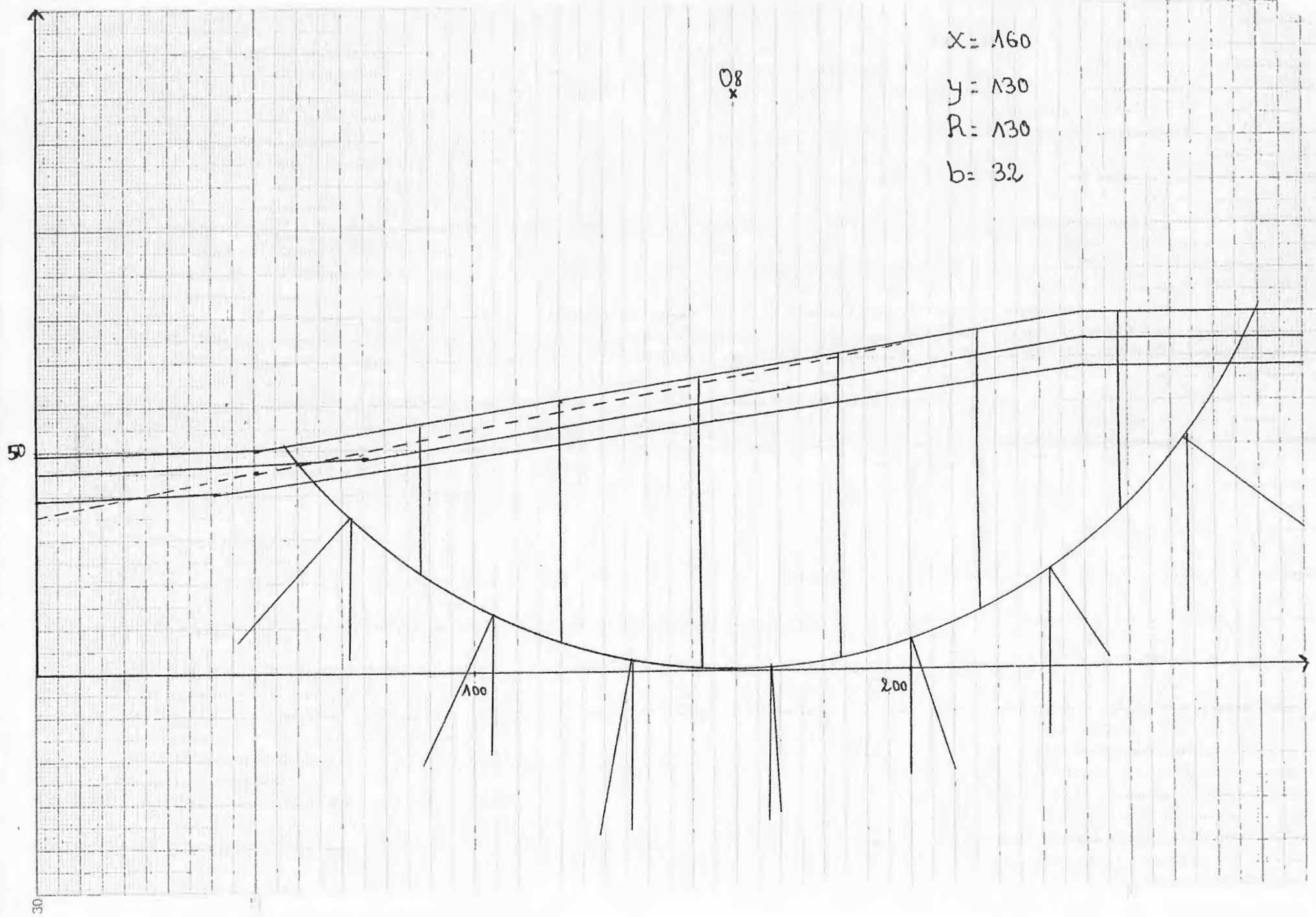
08
x

$x = 160$

$y = 130$

$R = 130$

$b = 32$



50

100

200

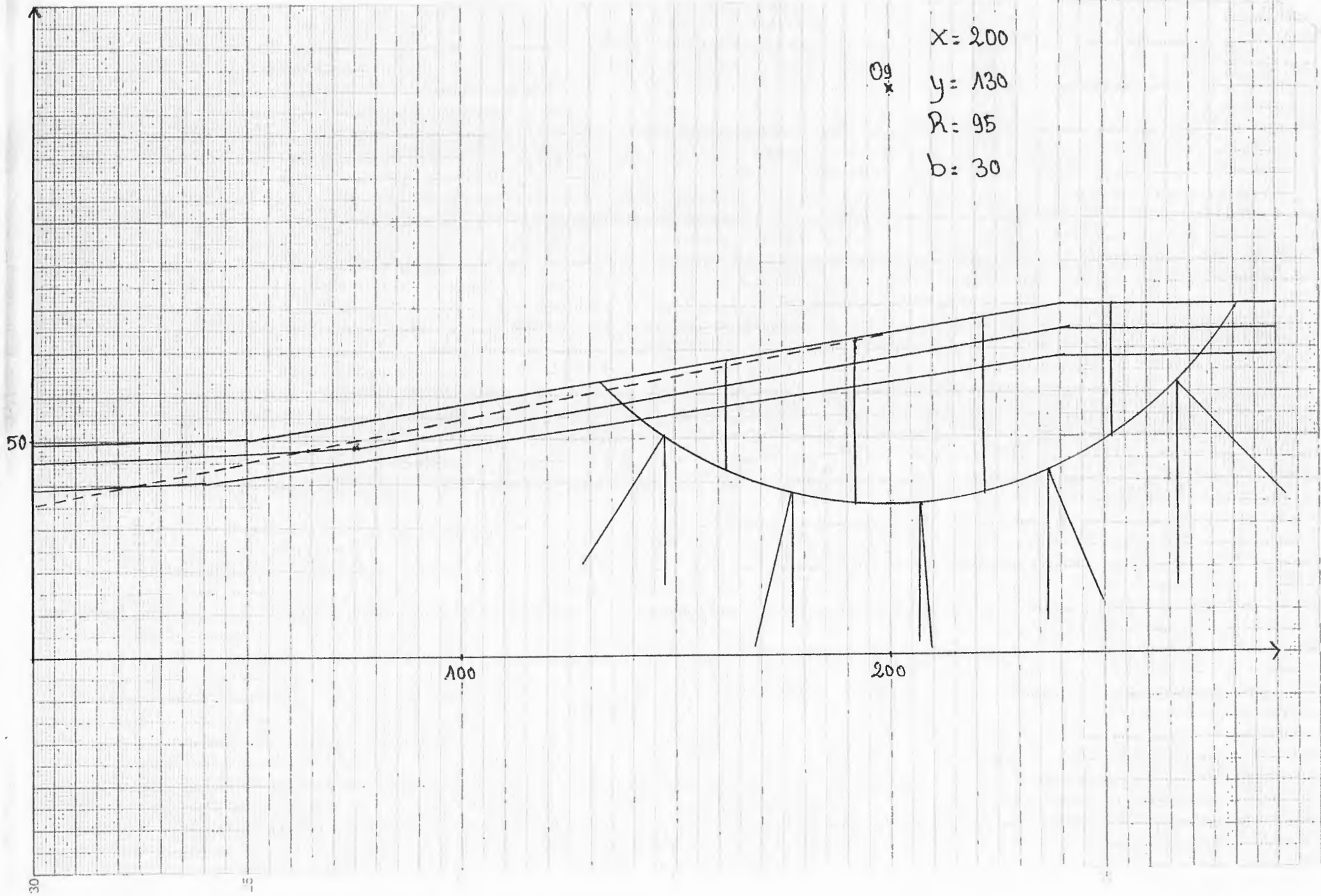
30

$$X = 200$$

$$y = 130$$

$$R = 95$$

$$b = 30$$



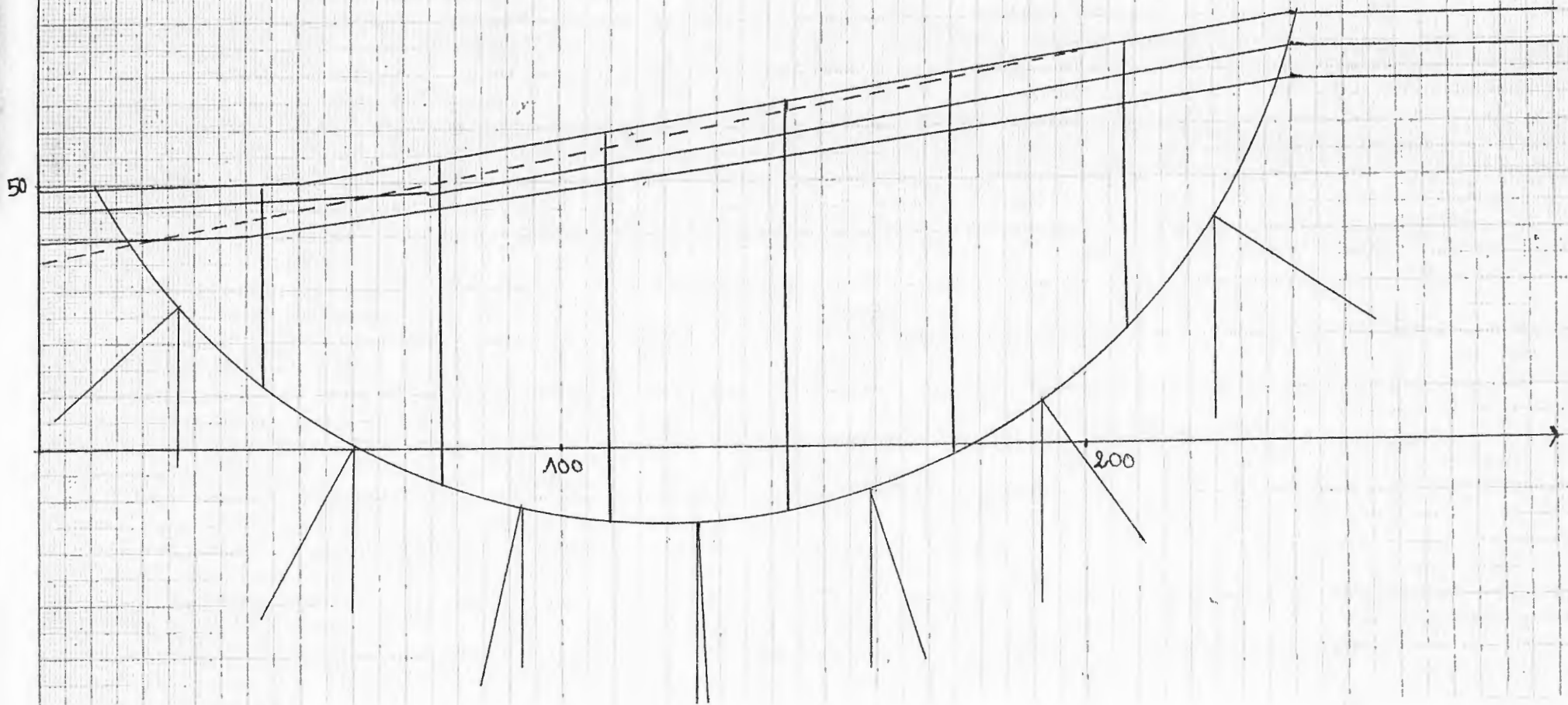
$x = 120$

$y = 110$

$R = 125$

$b = 33$

OAO
 x



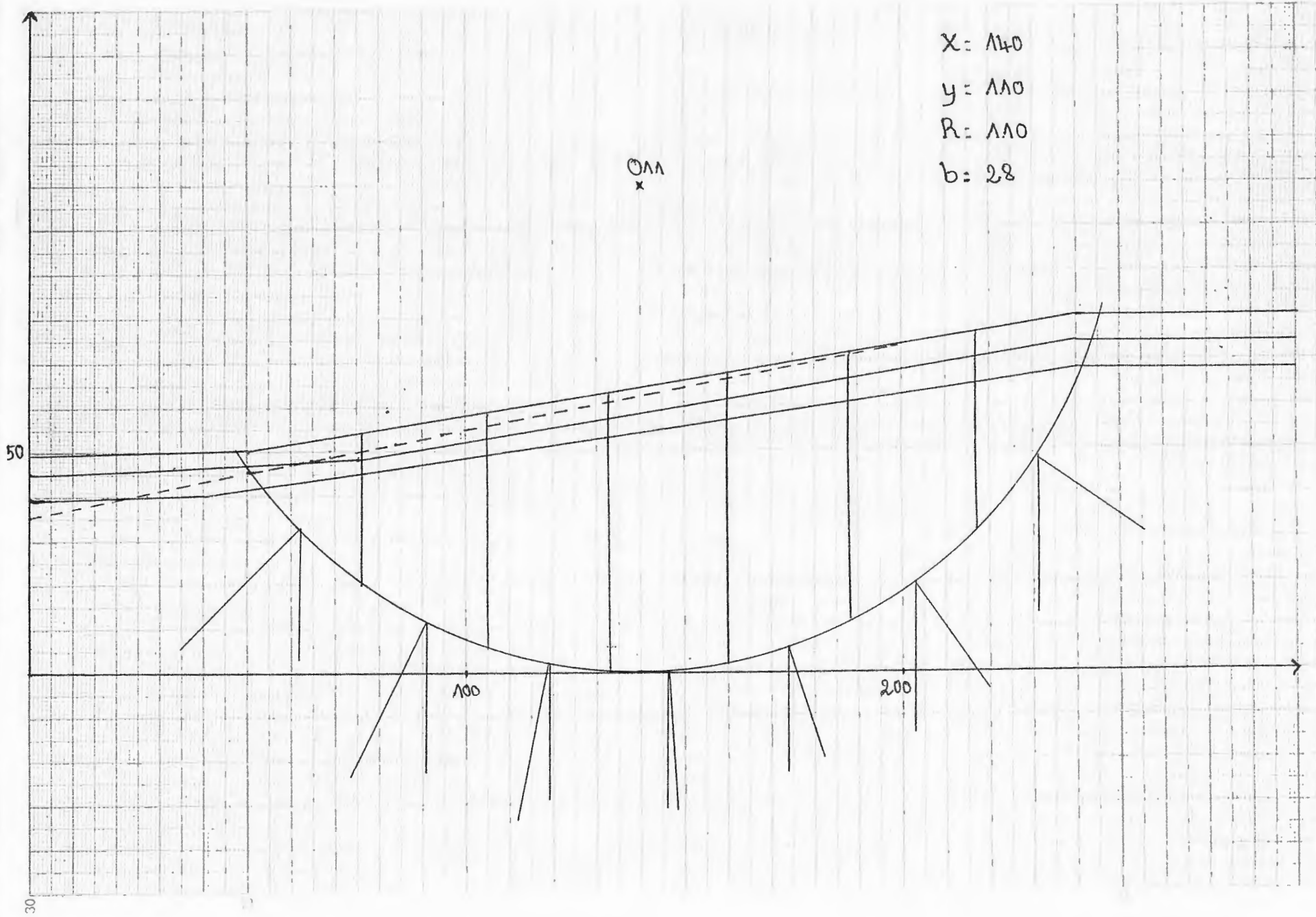
$$X = 140$$

$$y = 110$$

$$R = 110$$

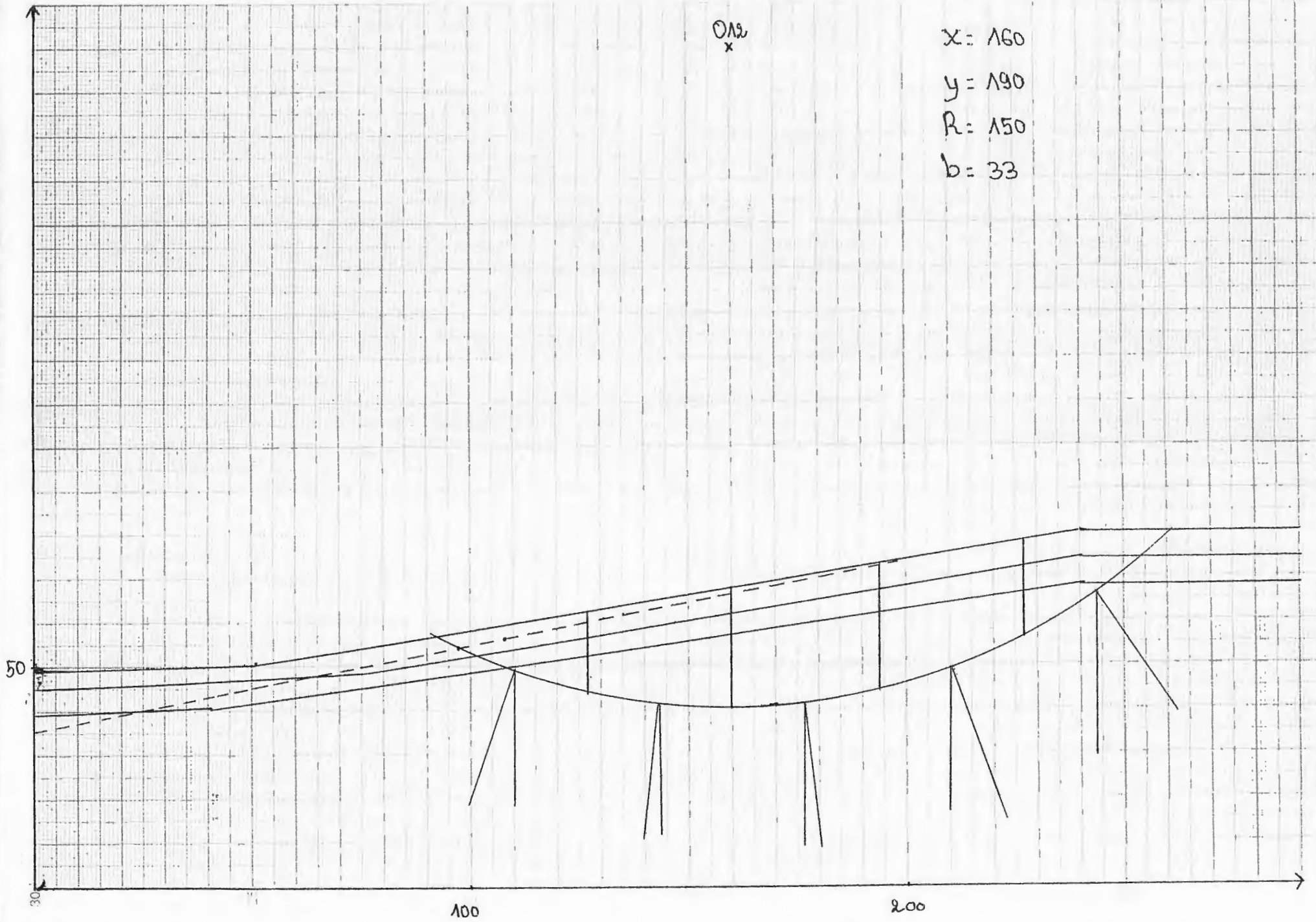
$$b = 28$$

011
x



Obs
x

$x = 160$
 $y = 190$
 $R = 150$
 $b = 33$



013
x

$$X = 120$$

$$y = 125$$

$$R = 88$$

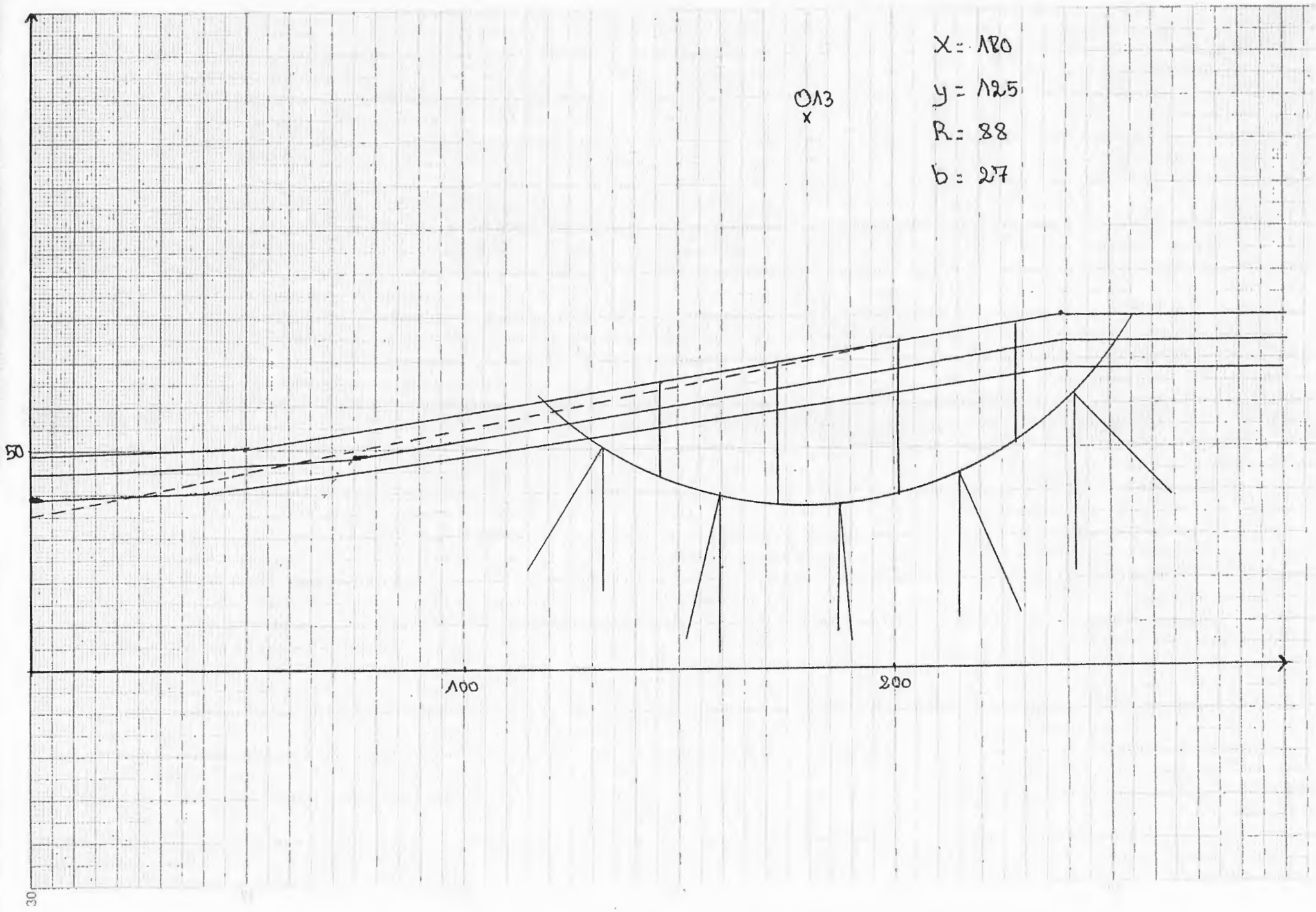
$$b = 27$$

80

100

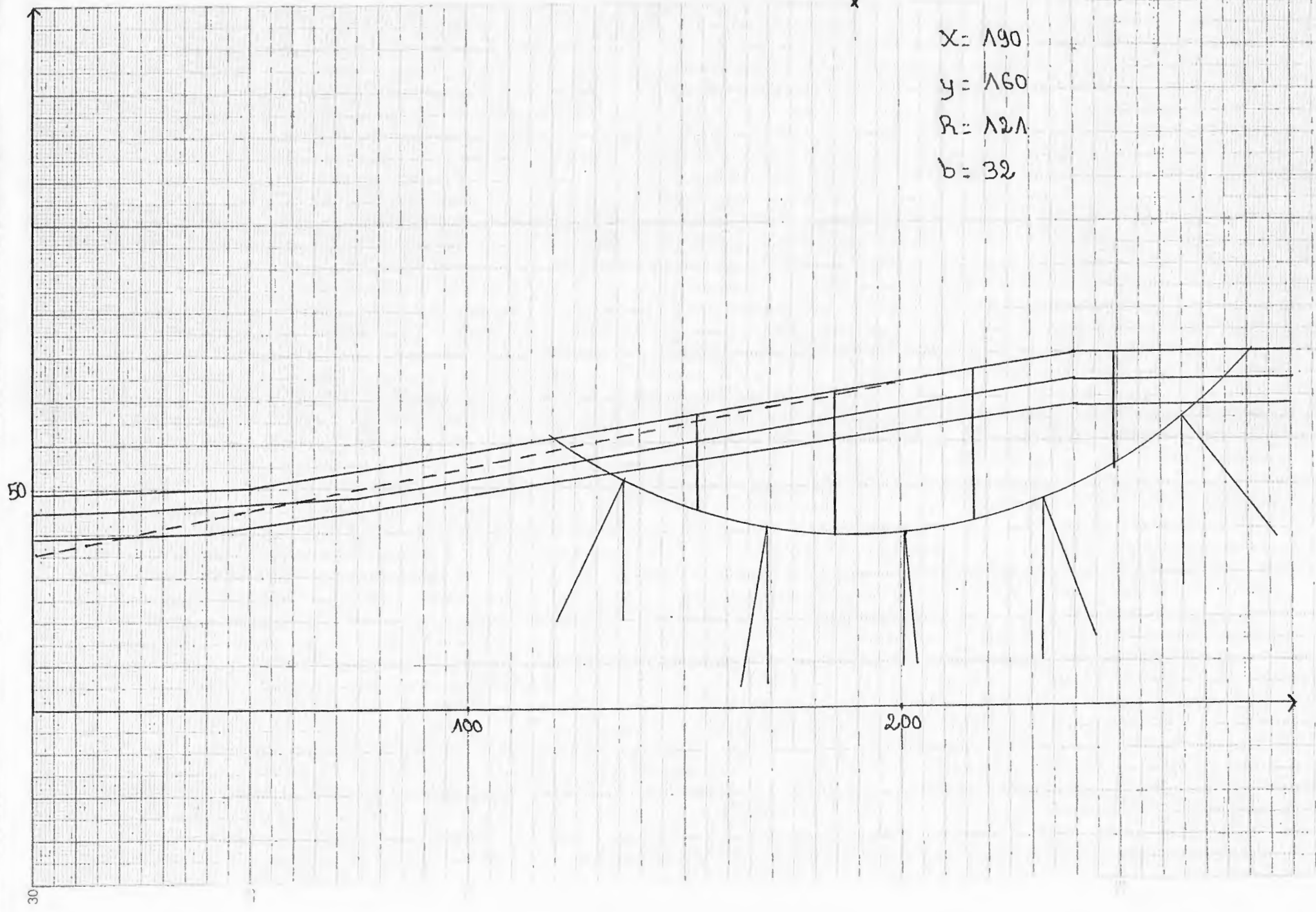
200

30



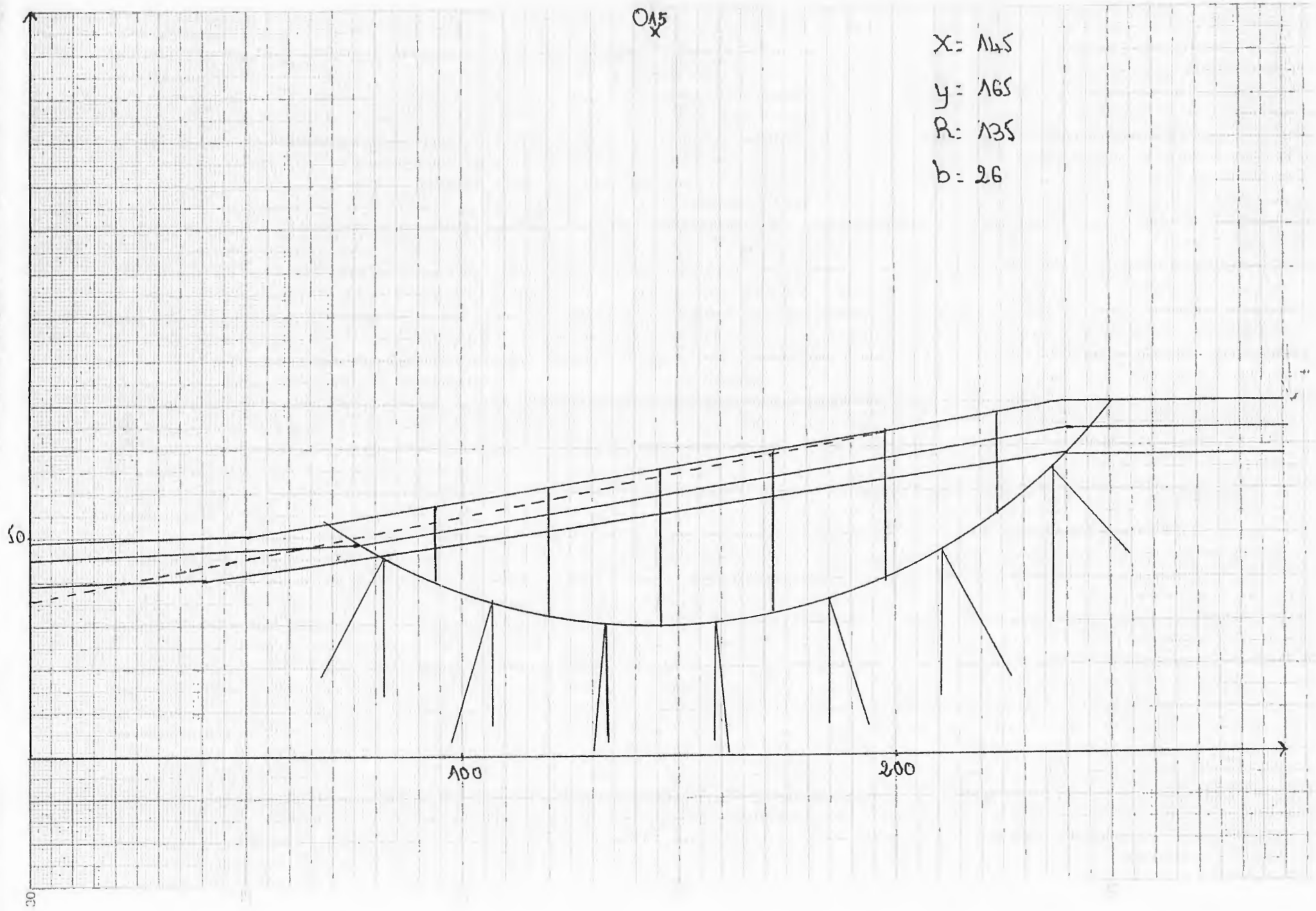
014
x

X = 190
y = 160
R = 121
b = 32



015

X: 145
y: 165
R: 135
b: 26



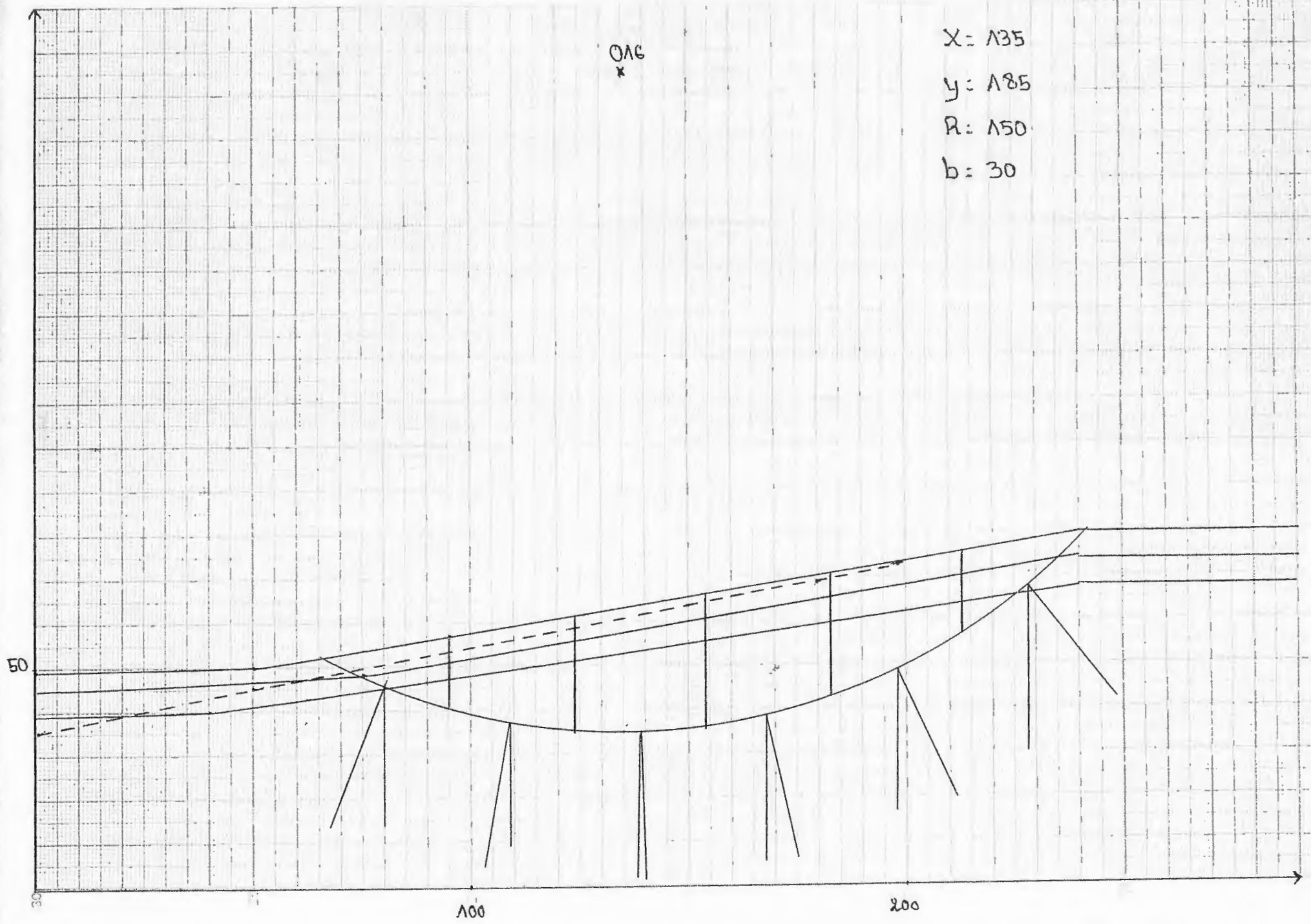
016
*

X: 135

y: 185

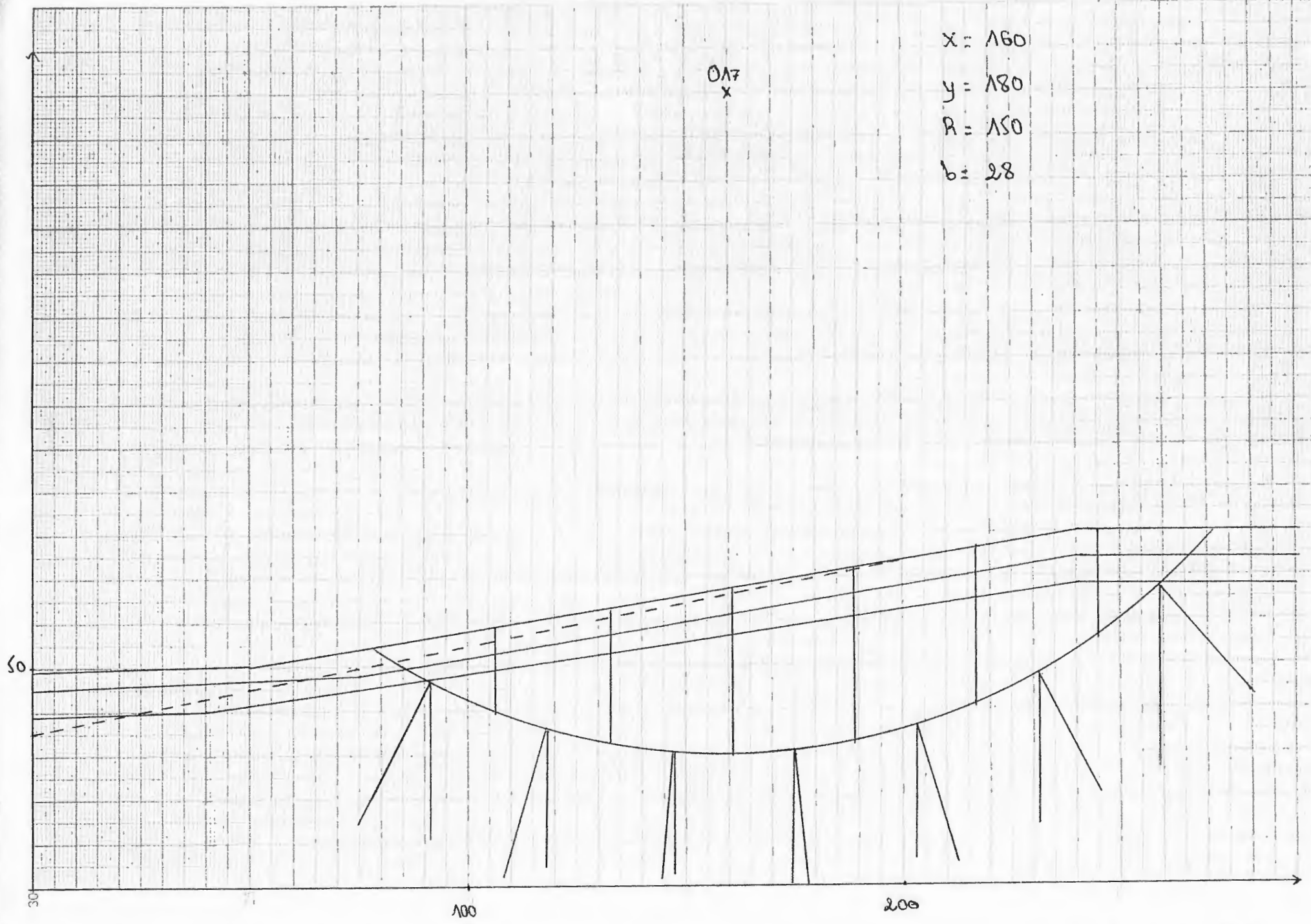
R: 150

b: 30



017
x

x = 160
y = 180
R = 150
b = 28



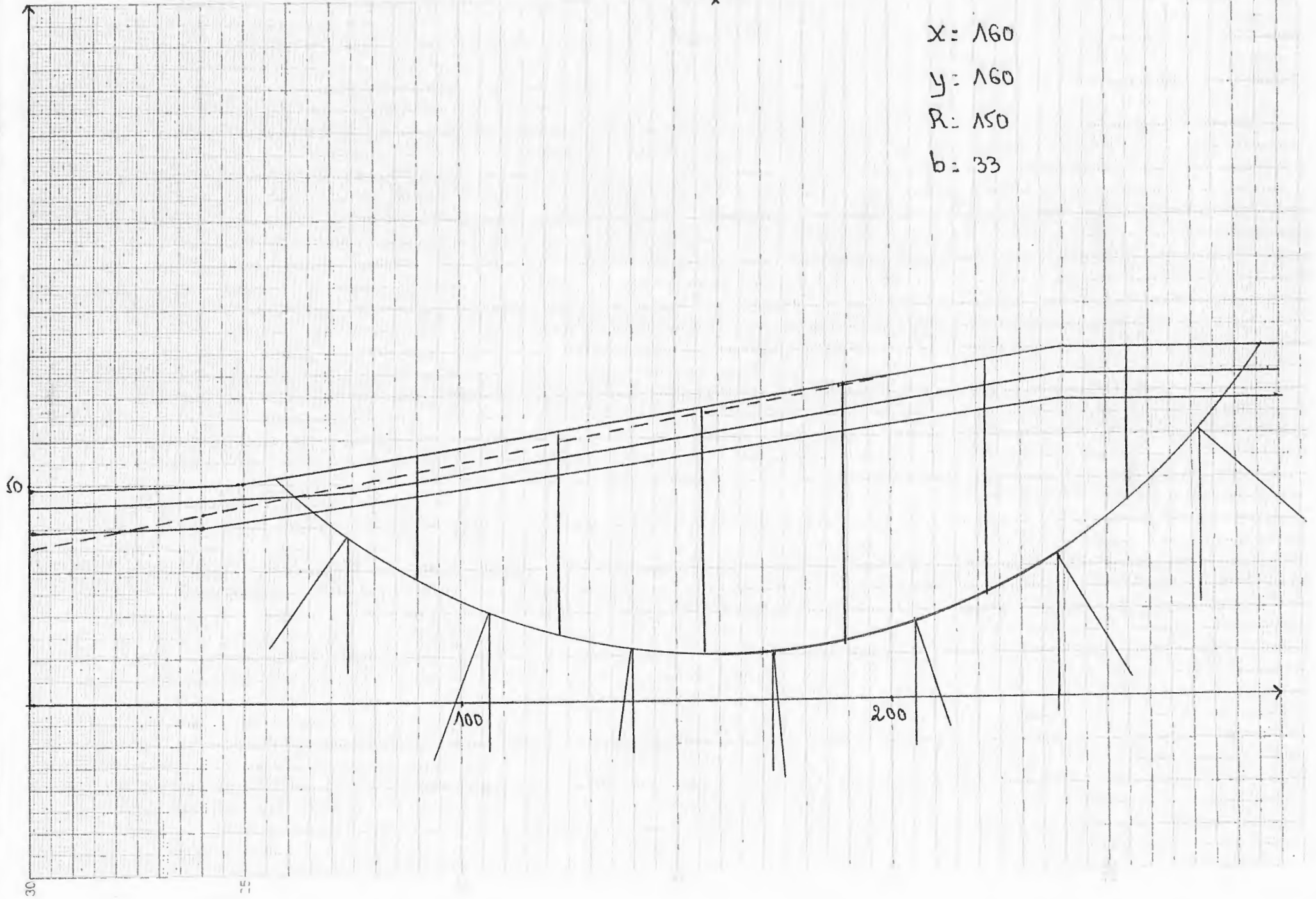
018
x

x: 160

y: 160

R: 150

b: 33



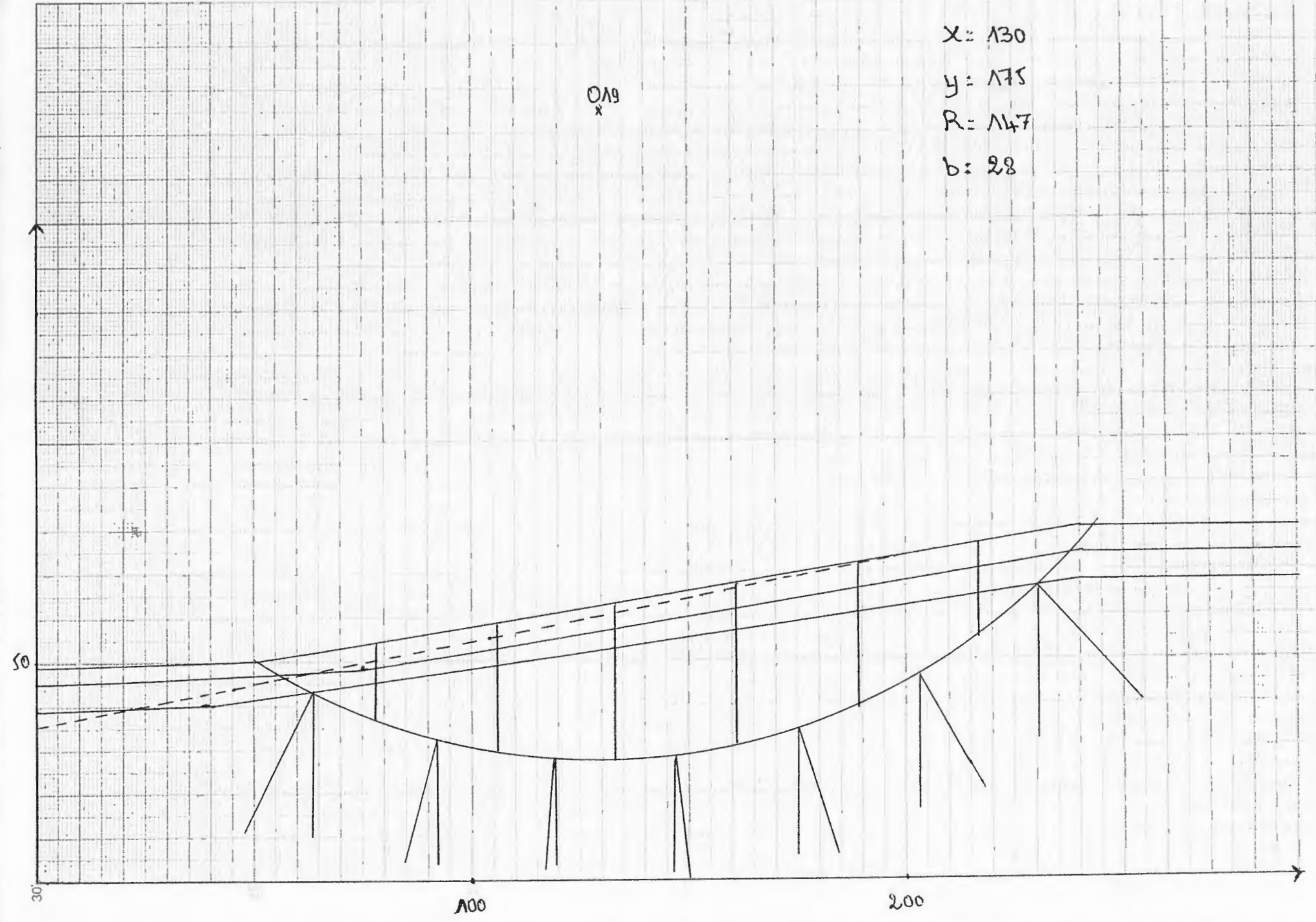
019
x

$x = 130$

$y = 175$

$R = 147$

$b = 28$



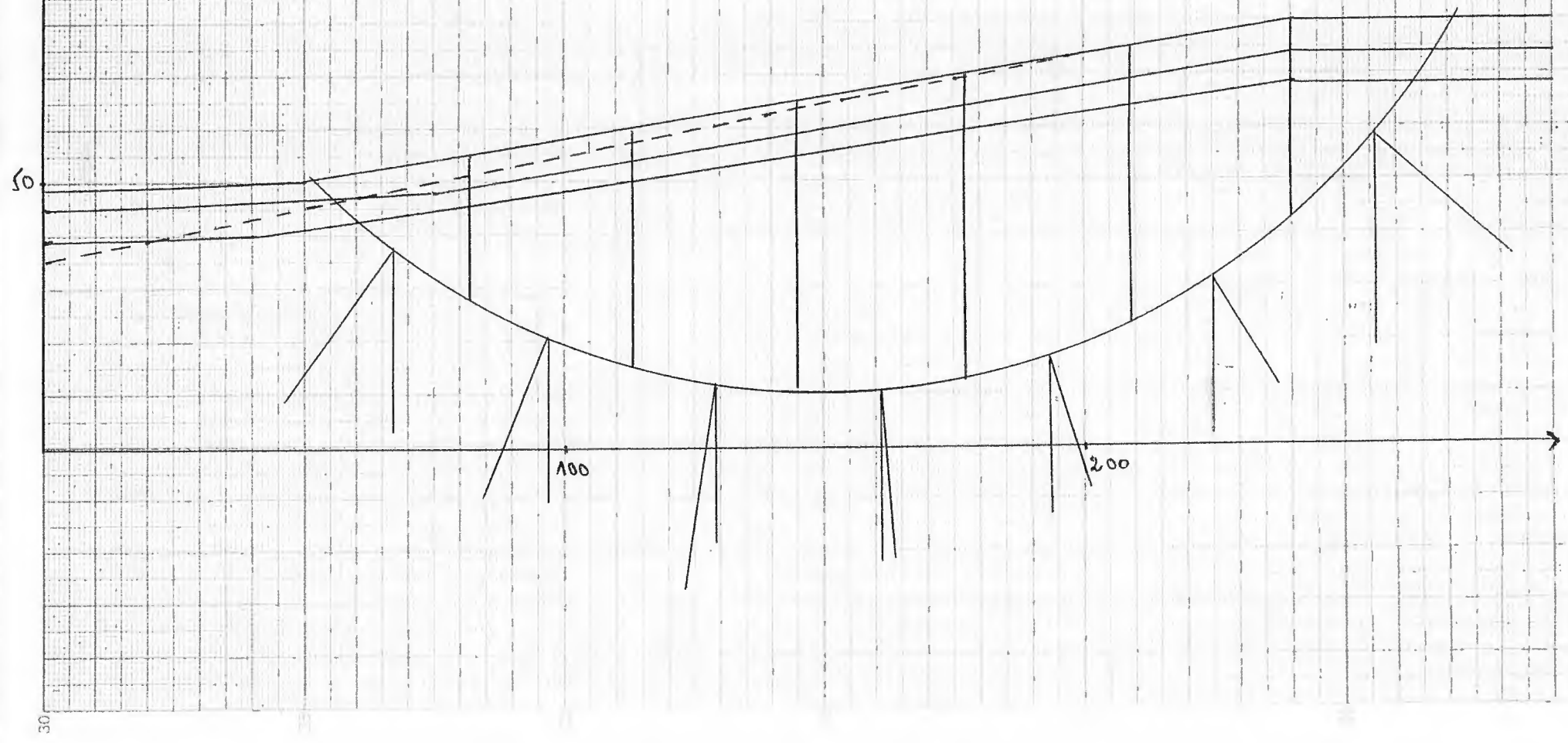
x 020

x: 150

y: 150

R: 140

b: 32



$$X = 100$$

$$y = 120$$

$$R = 86$$

$$b = 24$$

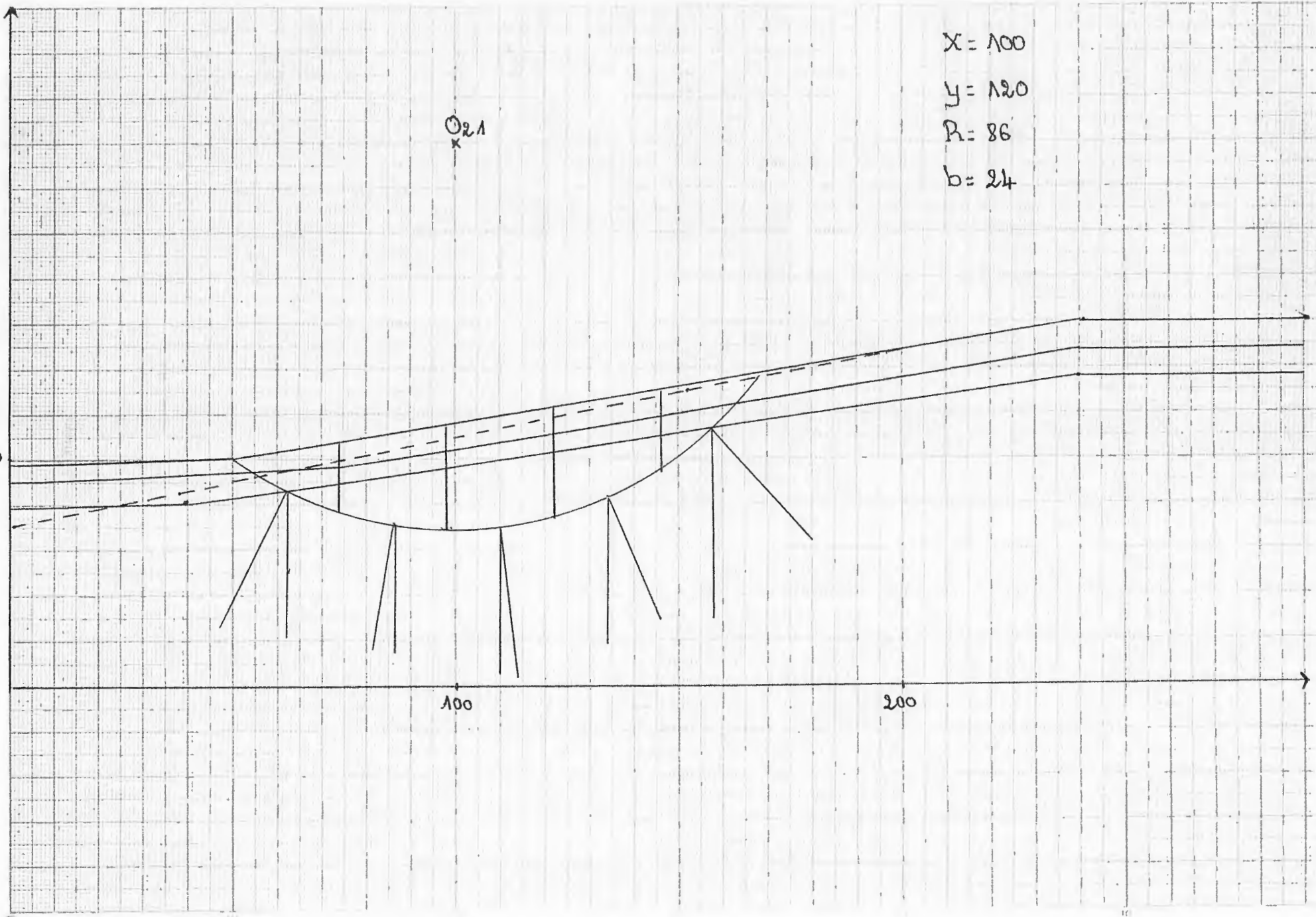
0.21
x

50

100

200

30



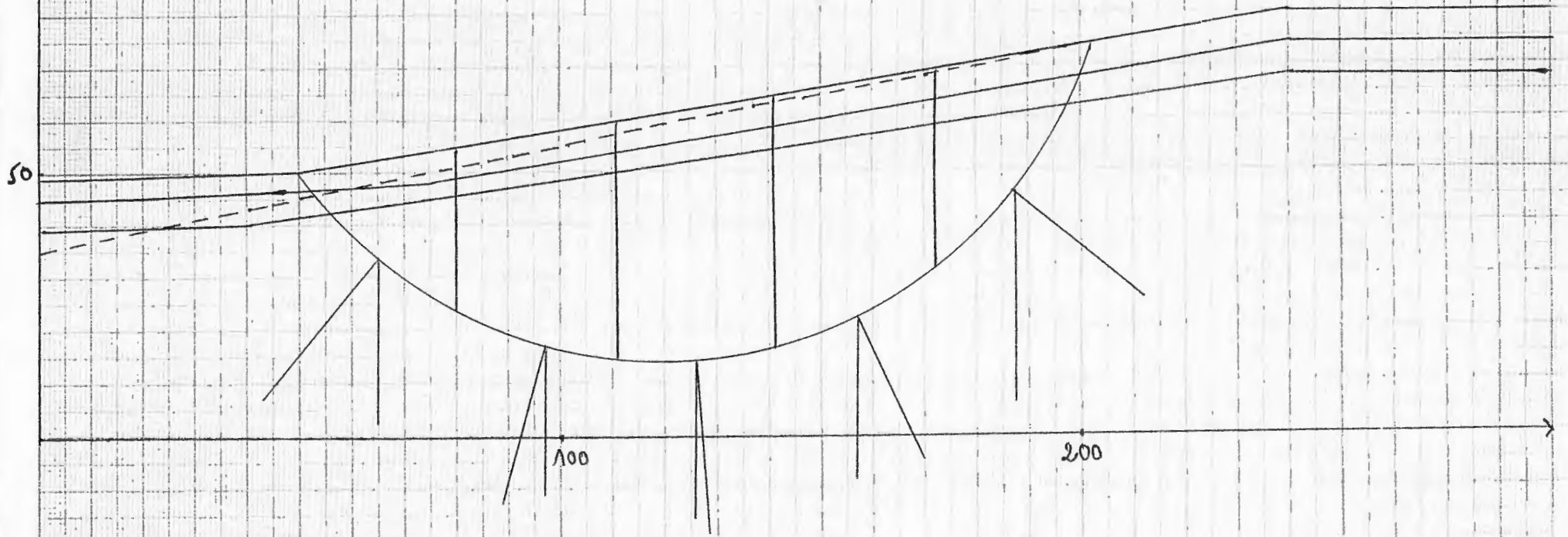
$$x = 190$$

$$y = 100$$

$$R = 86$$

$$b = 30$$

0.22
x



ANNEXE B : Résultats des calculs (Nixes et Trolls)

Résultats du calcul par le logiciel Nixes et Trolls :

Quadrillage (70; 100) Nb x et y (2; 2)

Delta (5; 5) Dec. rayon 5

Cercle (70 m; 100 m) rayon 69 m F 2,8370	poids 74459,1797
Cercle (70 m; 100 m) rayon 64 m F 2,8500	poids 61205,7148
Cercle (70 m; 100 m) rayon 59 m F 2,8689	poids 49204,2109
Cercle (70 m; 100 m) rayon 54 m F 2,9007	poids 38452,0039
Cercle (70 m; 100 m) rayon 49 m F 2,9189	poids 28957,5996
Cercle (70 m; 100 m) rayon 44 m F 2,8860	poids 20721,1367
Cercle (70 m; 100 m) rayon 39 m F 2,7731	poids 13744,8984
Cercle (70 m; 100 m) rayon 34 m F 2,1405	poids 8020,97607
Cercle (70 m; 100 m) rayon 29 m F 1,6245	poids 3549,95703
Cercle (70 m; 100 m) rayon 24 m F 2,9510	poids 701,875671
Cercle (70 m; 105 m) rayon 74 m F 2,7960	poids 77529,4453
Cercle (70 m; 105 m) rayon 69 m F 2,8124	poids 63897,8828
Cercle (70 m; 105 m) rayon 64 m F 2,84	poids 51518,9453
Cercle (70 m; 105 m) rayon 59 m F 2,8744	poids 40399,7891
Cercle (70 m; 105 m) rayon 54 m F 2,9190	poids 30542,7051
Cercle (70 m; 105 m) rayon 49 m F 2,9138	poids 21957,2266
Cercle (70 m; 105 m) rayon 44 m F 2,7513	poids 14644,1855
Cercle (70 m; 105 m) rayon 39 m F 2,1472	poids 8605,1123
Cercle (70 m; 105 m) rayon 34 m F 1,6509	poids 3847,67505
Cercle (70 m; 105 m) rayon 29 m F 3,0097	poids 780,708557
Cercle (75 m; 100 m) rayon 74 m F 2,5940	poids 87905,2734
Cercle (75 m; 100 m) rayon 69 m F 2,6017	poids 73463,2344
Cercle (75 m; 100 m) rayon 64 m F 2,5988	poids 60288,6797
Cercle (75 m; 100 m) rayon 59 m F 2,6039	poids 48351,4297
Cercle (75 m; 100 m) rayon 54 m F 2,6175	poids 37671,2852
Cercle (75 m; 100 m) rayon 49 m F 2,6122	poids 28245,9629
Cercle (75 m; 100 m) rayon 44 m F 2,5523	poids 20081,6816
Cercle (75 m; 100 m) rayon 39 m F 2,4326	poids 13179,252
Cercle (75 m; 100 m) rayon 34 m F 1,4807	poids 7527,49512
Cercle (75 m; 100 m) rayon 29 m F 1,5031	poids 3143,06177
Cercle (75 m; 100 m) rayon 24 m F 3,6458	poids 435,09964
Cercle (75 m; 105 m) rayon 79 m F 2,5587	poids 91316,8125
Cercle (75 m; 105 m) rayon 74 m F 2,5722	poids 76499,3125
Cercle (75 m; 105 m) rayon 69 m F 2,5774	poids 62936,9844
Cercle (75 m; 105 m) rayon 64 m F 2,5882	poids 50631,5391
Cercle (75 m; 105 m) rayon 59 m F 2,6039	poids 39582,6602
Cercle (75 m; 105 m) rayon 54 m F 2,6023	poids 29800,7363
Cercle (75 m; 105 m) rayon 49 m F 2,5446	poids 21289,1523
Cercle (75 m; 105 m) rayon 44 m F 2,4213	poids 14053,1055
Cercle (75 m; 105 m) rayon 39 m F 1,5552	poids 8089,55322
Cercle (75 m; 105 m) rayon 34 m F 1,4957	poids 3423,30762
Cercle (75 m; 105 m) rayon 29 m F 3,5060	poids 501,510712

Quadrillage (70; 140) Nb x et y (2; 2)

Delta (5; 5) Dec. rayon 5

Cercle (70 m; 140 m) rayon	89 m	F 2,9025	poids 39514,7656
Cercle (70 m; 140 m) rayon	84 m	F 2,8798	poids 28838,2402
Cercle (70 m; 140 m) rayon	79 m	F 2,7599	poids 19569,0781
Cercle (70 m; 140 m) rayon	74 m	F 2,1934	poids 11735,5596
Cercle (70 m; 140 m) rayon	69 m	F 1,8206	poids 5397,19775
Cercle (70 m; 140 m) rayon	64 m	F 3,5829	poids 1183,34888
Cercle (70 m; 145 m) rayon	94 m	F 2,9022	poids 40586,2539
Cercle (70 m; 145 m) rayon	89 m	F 2,8807	poids 29655,9414
Cercle (70 m; 145 m) rayon	84 m	F 2,7709	poids 20145,3203
Cercle (70 m; 145 m) rayon	79 m	F 2,2110	poids 12095,7832
Cercle (70 m; 145 m) rayon	74 m	F 1,8476	poids 5573,00635
Cercle (70 m; 145 m) rayon	69 m	F 3,6648	poids 1229,29565
Cercle (75 m; 140 m) rayon	94 m	F 2,6279	poids 50560,4102
Cercle (75 m; 140 m) rayon	89 m	F 2,6535	poids 38603,625
Cercle (75 m; 140 m) rayon	84 m	F 2,6137	poids 28025,9062
Cercle (75 m; 140 m) rayon	79 m	F 2,4848	poids 18851,0742
Cercle (75 m; 140 m) rayon	74 m	F 1,8234	poids 11112,2793
Cercle (75 m; 140 m) rayon	69 m	F 1,6653	poids 4901,24707
Cercle (75 m; 140 m) rayon	64 m	F 3,4236	poids 879,602295
Cercle (75 m; 145 m) rayon	99 m	F 2,6313	poids 51888,8242
Cercle (75 m; 145 m) rayon	94 m	F 2,6592	poids 39659,5391
Cercle (75 m; 145 m) rayon	89 m	F 2,6218	poids 28825,9453
Cercle (75 m; 145 m) rayon	84 m	F 2,4998	poids 19413,0586
Cercle (75 m; 145 m) rayon	79 m	F 1,8426	poids 11459,1543
Cercle (75 m; 145 m) rayon	74 m	F 1,6894	poids 5069,03857
Cercle (75 m; 145 m) rayon	69 m	F 3,4730	poids 923,426941

Quadrillage (70; 180) Nb x et y (2; 2)

Delta (5; 5) Dec. rayon 5

Cercle (70 m; 180 m) rayon	119 m	F 2,8579	poids 23668,5156
Cercle (70 m; 180 m) rayon	114 m	F 2,3308	poids 14286,7637
Cercle (70 m; 180 m) rayon	109 m	F 2,0237	poids 6639,85205
Cercle (70 m; 180 m) rayon	104 m	F 4,1605	poids 1506,54407
Cercle (70 m; 185 m) rayon	124 m	F 2,8696	poids 24113,0078
Cercle (70 m; 185 m) rayon	119 m	F 2,4318	poids 14564,877
Cercle (70 m; 185 m) rayon	114 m	F 2,0448	poids 6773,44434
Cercle (70 m; 185 m) rayon	109 m	F 4,2235	poids 1542,37683
Cercle (75 m; 180 m) rayon	124 m	F 2,6918	poids 33733,4609
Cercle (75 m; 180 m) rayon	119 m	F 2,6133	poids 22851,5254
Cercle (75 m; 180 m) rayon	114 m	F 2,0468	poids 13588,4736
Cercle (75 m; 180 m) rayon	109 m	F 1,8387	poids 6092,76953
Cercle (75 m; 180 m) rayon	104 m	F 3,8511	poids 1188,97375
Cercle (75 m; 185 m) rayon	129 m	F 2,7025	poids 34357,7852
Cercle (75 m; 185 m) rayon	124 m	F 2,6271	poids 23289,5781
Cercle (75 m; 185 m) rayon	119 m	F 2,0646	poids 13856,6777
Cercle (75 m; 185 m) rayon	114 m	F 1,8596	poids 6221,15039
Cercle (75 m; 185 m) rayon	109 m	F 3,9027	poids 1224,65344

Quadrillage (80; 220) Nb x et y (2; 2)

Delta (5; 5) Dec. rayon 5

Cercle (80 m; 220 m) rayon	159 m	F 2,4998	poids 25117,2871
Cercle (80 m; 220 m) rayon	154 m	F 1,8710	poids 14757,2656
Cercle (80 m; 220 m) rayon	149 m	F 1,9013	poids 6421,02832
Cercle (80 m; 220 m) rayon	144 m	F 4,1763	poids 1095,77332
Cercle (80 m; 225 m) rayon	164 m	F 2,5152	poids 25477,1855
Cercle (80 m; 225 m) rayon	159 m	F 1,8859	poids 14972,9062
Cercle (80 m; 225 m) rayon	154 m	F 1,9202	poids 6524,7627
Cercle (80 m; 225 m) rayon	149 m	F 4,2108	poids 1124,24231
Cercle (85 m; 220 m) rayon	159 m	F 2,2868	poids 24133,1504
Cercle (85 m; 220 m) rayon	154 m	F 1,3270	poids 13902,6172
Cercle (85 m; 220 m) rayon	149 m	F 1,8291	poids 5766,875
Cercle (85 m; 220 m) rayon	144 m	F 4,5062	poids 738,10791
Cercle (85 m; 225 m) rayon	164 m	F 2,3022	poids 24480,2441
Cercle (85 m; 225 m) rayon	159 m	F 1,4784	poids 14116,8623
Cercle (85 m; 225 m) rayon	154 m	F 1,8463	poids 5866,99561
Cercle (85 m; 225 m) rayon	149 m	F 4,5065	poids 766,26355
Quadrillage (90; 260) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (90 m; 260 m) rayon	199 m	F 2,2784	poids 25672,3359
Cercle (90 m; 260 m) rayon	194 m	F 1,2892	poids 14560,0957
Cercle (90 m; 260 m) rayon	189 m	F 1,9326	poids 5827,26855
Cercle (90 m; 260 m) rayon	184 m	F 5,2626	poids 593,787659
Cercle (90 m; 265 m) rayon	204 m	F 2,2929	poids 25966,1191
Cercle (90 m; 265 m) rayon	199 m	F 1,2981	poids 14740,1152
Cercle (90 m; 265 m) rayon	194 m	F 1,9480	poids 5915,07617
Cercle (90 m; 265 m) rayon	189 m	F 5,2303	poids 618,388184
Cercle (95 m; 260 m) rayon	199 m	F 2,1219	poids 24539,6035
Cercle (95 m; 260 m) rayon	194 m	F 1,2328	poids 13572,1055
Cercle (95 m; 260 m) rayon	189 m	F 2,0352	poids 5094,45166
Cercle (95 m; 260 m) rayon	184 m	F 7,9952	poids 251,585983
Cercle (95 m; 265 m) rayon	204 m	F 2,1351	poids 24835,8867
Cercle (95 m; 265 m) rayon	199 m	F 1,2416	poids 13751,5176
Cercle (95 m; 265 m) rayon	194 m	F 2,0492	poids 5180,43066
Cercle (95 m; 265 m) rayon	189 m	F 7,6415	poids 275,42337
Quadrillage (90; 300) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (90 m; 300 m) rayon	234 m	F 1,4365	poids 15945,584
Cercle (90 m; 300 m) rayon	229 m	F 2,0338	poids 6493,31885
Cercle (90 m; 300 m) rayon	224 m	F 5,1494	poids 783,849548
Cercle (90 m; 305 m) rayon	239 m	F 1,5216	poids 16111,2705
Cercle (90 m; 305 m) rayon	234 m	F 2,0309	poids 6572,91553
Cercle (90 m; 305 m) rayon	229 m	F 5,1494	poids 805,899597
Cercle (95 m; 300 m) rayon	239 m	F 2,2862	poids 26779,4531
Cercle (95 m; 300 m) rayon	234 m	F 1,3021	poids 14930,4434
Cercle (95 m; 300 m) rayon	229 m	F 2,0463	poids 5750,99854
Cercle (95 m; 300 m) rayon	224 m	F 6,3567	poids 437,979553
Cercle (95 m; 305 m) rayon	244 m	F 2,2996	poids 27036,7676
Cercle (95 m; 305 m) rayon	239 m	F 1,3106	poids 15092,7139
Cercle (95 m; 305 m) rayon	234 m	F 2,0592	poids 5827,67334

Cercle (95 m; 305 m) rayon 229 m F 6,2719 poids 459,831573
 Quadrillage (90; 340) Nb x et y (2; 2)
 Delta (5; 5) Dec. rayon 5
 Cercle (90 m; 340 m) rayon 274 m F 1,7469 poids 17200,8477
 Cercle (90 m; 340 m) rayon 269 m F 2,1266 poids 7099,70801
 Cercle (90 m; 340 m) rayon 264 m F 5,2096 poids 957,933228
 Cercle (90 m; 345 m) rayon 279 m F 1,7570 poids 17346,084
 Cercle (90 m; 345 m) rayon 274 m F 2,1213 poids 7171,35449
 Cercle (90 m; 345 m) rayon 269 m F 5,2229 poids 979,02356
 Cercle (95 m; 340 m) rayon 274 m F 1,3676 poids 16168,418
 Cercle (95 m; 340 m) rayon 269 m F 2,0964 poids 6347,98389
 Cercle (95 m; 340 m) rayon 264 m F 5,9059 poids 609,902954
 Cercle (95 m; 345 m) rayon 279 m F 1,3756 poids 16314,25
 Cercle (95 m; 345 m) rayon 274 m F 2,1086 poids 6418,81738
 Cercle (95 m; 345 m) rayon 269 m F 5,8883 poids 629,236755
 Quadrillage (90; 380) Nb x et y (2; 2)
 Delta (5; 5) Dec. rayon 5
 Cercle (90 m; 380 m) rayon 309 m F 2,2115 poids 7661,99219
 Cercle (90 m; 380 m) rayon 304 m F 5,3366 poids 1120,46936
 Cercle (90 m; 385 m) rayon 314 m F 2,2246 poids 7726,83936
 Cercle (90 m; 385 m) rayon 309 m F 5,3563 poids 1139,44873
 Cercle (95 m; 380 m) rayon 314 m F 1,4289 poids 17307,9199
 Cercle (95 m; 380 m) rayon 309 m F 2,1944 poids 6901,3916
 Cercle (95 m; 380 m) rayon 304 m F 5,7921 poids 768,904175
 Cercle (95 m; 385 m) rayon 319 m F 1,5163 poids 17441,1641
 Cercle (95 m; 385 m) rayon 314 m F 2,2062 poids 6967,00098
 Cercle (95 m; 385 m) rayon 309 m F 5,7854 poids 788,149841
 Quadrillage (100; 420) Nb x et y (2; 2)
 Delta (5; 5) Dec. rayon 5
 Cercle (100 m; 420 m) rayon 354 m F 1,4322 poids 17275,2266
 Cercle (100 m; 420 m) rayon 349 m F 2,2710 poids 6640,32324
 Cercle (100 m; 420 m) rayon 344 m F 6,6051 poids 585,009033
 Cercle (100 m; 425 m) rayon 359 m F 1,4395 poids 17394,5156
 Cercle (100 m; 425 m) rayon 354 m F 2,2634 poids 6702,62695
 Cercle (100 m; 425 m) rayon 349 m F 6,5750 poids 602,323059
 Cercle (105 m; 420 m) rayon 354 m F 1,4006 poids 16143,3291
 Cercle (105 m; 420 m) rayon 349 m F 2,3548 poids 5848,06836
 Cercle (105 m; 420 m) rayon 344 m F 8,8077 poids 285,24054
 Cercle (105 m; 425 m) rayon 359 m F 1,4071 poids 16267,4678
 Cercle (105 m; 425 m) rayon 354 m F 2,3454 poids 5911,63184
 Cercle (105 m; 425 m) rayon 349 m F 8,6351 poids 301,0914
 .
 .
 .
 Quadrillage (230; 100) Nb x et y (2; 2)
 Delta (5; 5) Dec. rayon 5
 Cercle (230 m; 100 m) rayon 99 m F 2,5972 poids 117279,594
 Cercle (230 m; 100 m) rayon 94 m F 2,6021 poids 98984,5781
 Cercle (230 m; 100 m) rayon 89 m F 2,5975 poids 82104,2188

Cercle (230 m; 100 m) rayon	84 m	F 2,6073	poids 66652,9609
Cercle (230 m; 100 m) rayon	79 m	F 2,5691	poids 52641,3789
Cercle (230 m; 100 m) rayon	74 m	F 2,5394	poids 40093,9375
Cercle (230 m; 100 m) rayon	69 m	F 2,5286	poids 29025,3145
Cercle (230 m; 100 m) rayon	64 m	F 2,5367	poids 19483,416
Cercle (230 m; 100 m) rayon	59 m	F 2,3624	poids 11541,0723
Cercle (230 m; 100 m) rayon	54 m	F 1,5160	poids 5260,45654
Cercle (230 m; 100 m) rayon	49 m	F 3,2129	poids 1066,39197
Cercle (230 m; 105 m) rayon	104 m	F 2,5687	poids 121225,672
Cercle (230 m; 105 m) rayon	99 m	F 2,5740	poids 102466,922
Cercle (230 m; 105 m) rayon	94 m	F 2,5685	poids 85133,2656
Cercle (230 m; 105 m) rayon	89 m	F 2,5767	poids 69238,0469
Cercle (230 m; 105 m) rayon	84 m	F 2,5372	poids 54798,7852
Cercle (230 m; 105 m) rayon	79 m	F 2,5113	poids 41834,7695
Cercle (230 m; 105 m) rayon	74 m	F 2,5011	poids 30373,5781
Cercle (230 m; 105 m) rayon	69 m	F 2,5077	poids 20453,4727
Cercle (230 m; 105 m) rayon	64 m	F 2,3889	poids 12163,6357
Cercle (230 m; 105 m) rayon	59 m	F 1,4953	poids 5575,16553
Cercle (230 m; 105 m) rayon	54 m	F 3,1572	poids 1158,9696
Cercle (235 m; 100 m) rayon	99 m	F 2,7954	poids 115775,859
Cercle (235 m; 100 m) rayon	94 m	F 2,8082	poids 97553,125
Cercle (235 m; 100 m) rayon	89 m	F 2,8112	poids 80757,1484
Cercle (235 m; 100 m) rayon	84 m	F 2,7811	poids 65383,1602
Cercle (235 m; 100 m) rayon	79 m	F 2,8037	poids 51457,0742
Cercle (235 m; 100 m) rayon	74 m	F 2,7856	poids 38989,0469
Cercle (235 m; 100 m) rayon	69 m	F 2,7832	poids 28011,918
Cercle (235 m; 100 m) rayon	64 m	F 2,6838	poids 18563,5859
Cercle (235 m; 100 m) rayon	59 m	F 2,5564	poids 10705,6777
Cercle (235 m; 100 m) rayon	54 m	F 1,7485	poids 4520,02197
Cercle (235 m; 100 m) rayon	49 m	F 3,9734	poids 647,073059
Cercle (235 m; 105 m) rayon	104 m	F 2,7617	poids 119670,383
Cercle (235 m; 105 m) rayon	99 m	F 2,7714	poids 100994,641
Cercle (235 m; 105 m) rayon	94 m	F 2,7758	poids 83738,0234
Cercle (235 m; 105 m) rayon	89 m	F 2,7369	poids 67921,2812
Cercle (235 m; 105 m) rayon	84 m	F 2,7644	poids 53568,4922
Cercle (235 m; 105 m) rayon	79 m	F 2,7496	poids 40685,8438
Cercle (235 m; 105 m) rayon	74 m	F 2,7492	poids 29315,8672
Cercle (235 m; 105 m) rayon	69 m	F 2,6960	poids 19494,2441
Cercle (235 m; 105 m) rayon	64 m	F 2,5297	poids 11292,2773
Cercle (235 m; 105 m) rayon	59 m	F 1,6979	poids 4801,91016
Cercle (235 m; 105 m) rayon	54 m	F 3,8749	poids 712,054932
Quadrillage (230; 140) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (230 m; 140 m) rayon	139 m	F 2,4140	poids 146887,297
Cercle (230 m; 140 m) rayon	134 m	F 2,4085	poids 125081,445
Cercle (230 m; 140 m) rayon	129 m	F 2,4040	poids 104787,164
Cercle (230 m; 140 m) rayon	124 m	F 2,4199	poids 86007,0156
Cercle (230 m; 140 m) rayon	119 m	F 2,4072	poids 68766,1641
Cercle (230 m; 140 m) rayon	114 m	F 2,3805	poids 53108,6484

Cercle (230 m; 140 m) rayon	109 m	F 2,3692	poids 39088,5547
Cercle (230 m; 140 m) rayon	104 m	F 2,3735	poids 26764,8262
Cercle (230 m; 140 m) rayon	99 m	F 2,2766	poids 16260,5723
Cercle (230 m; 140 m) rayon	94 m	F 1,3807	poids 7721,43408
Cercle (230 m; 140 m) rayon	89 m	F 2,8567	poids 1844,72632
Cercle (230 m; 145 m) rayon	144 m	F 2,3936	poids 150336,328
Cercle (230 m; 145 m) rayon	139 m	F 2,3898	poids 128115,07
Cercle (230 m; 145 m) rayon	134 m	F 2,3873	poids 107425,93
Cercle (230 m; 145 m) rayon	129 m	F 2,4060	poids 88251,9609
Cercle (230 m; 145 m) rayon	124 m	F 2,3932	poids 70643,6953
Cercle (230 m; 145 m) rayon	119 m	F 2,3665	poids 54622,6211
Cercle (230 m; 145 m) rayon	114 m	F 2,3550	poids 40259,6719
Cercle (230 m; 145 m) rayon	109 m	F 2,3595	poids 27624,293
Cercle (230 m; 145 m) rayon	104 m	F 2,2641	poids 16824,9922
Cercle (230 m; 145 m) rayon	99 m	F 1,3725	poids 8027,06201
Cercle (230 m; 145 m) rayon	94 m	F 2,8198	poids 1952,34277
Cercle (235 m; 140 m) rayon	139 m	F 2,5624	poids 144991,188
Cercle (235 m; 140 m) rayon	134 m	F 2,5656	poids 123284,328
Cercle (235 m; 140 m) rayon	129 m	F 2,5706	poids 103079,273
Cercle (235 m; 140 m) rayon	124 m	F 2,5508	poids 84388,7031
Cercle (235 m; 140 m) rayon	119 m	F 2,5943	poids 67246,1875
Cercle (235 m; 140 m) rayon	114 m	F 2,5772	poids 51691,4141
Cercle (235 m; 140 m) rayon	109 m	F 2,5749	poids 37771,6367
Cercle (235 m; 140 m) rayon	104 m	F 2,5296	poids 25560,0273
Cercle (235 m; 140 m) rayon	99 m	F 2,3787	poids 15163,6602
Cercle (235 m; 140 m) rayon	94 m	F 1,5646	poids 6737,89111
Cercle (235 m; 140 m) rayon	89 m	F 3,3723	poids 1220,19812
Cercle (235 m; 145 m) rayon	144 m	F 2,5390	poids 148392,531
Cercle (235 m; 145 m) rayon	139 m	F 2,5439	poids 126276,242
Cercle (235 m; 145 m) rayon	134 m	F 2,5496	poids 105670,867
Cercle (235 m; 145 m) rayon	129 m	F 2,5338	poids 86594,7109
Cercle (235 m; 145 m) rayon	124 m	F 2,5761	poids 69075,5938
Cercle (235 m; 145 m) rayon	119 m	F 2,5587	poids 53164,6094
Cercle (235 m; 145 m) rayon	114 m	F 2,5548	poids 38910,7852
Cercle (235 m; 145 m) rayon	109 m	F 2,5107	poids 26383,25
Cercle (235 m; 145 m) rayon	104 m	F 2,3630	poids 15698,6768
Cercle (235 m; 145 m) rayon	99 m	F 1,5550	poids 7012,26904
Cercle (235 m; 145 m) rayon	94 m	F 3,3187	poids 1301,47034
Quadrillage (230; 180) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon 5			
Cercle (230 m; 180 m) rayon	179 m	F 2,2944	poids 173227,5
Cercle (230 m; 180 m) rayon	174 m	F 2,2943	poids 148363,359
Cercle (230 m; 180 m) rayon	169 m	F 2,2995	poids 125001,391
Cercle (230 m; 180 m) rayon	164 m	F 2,2818	poids 103261,883
Cercle (230 m; 180 m) rayon	159 m	F 2,3122	poids 83157,6719
Cercle (230 m; 180 m) rayon	154 m	F 2,2856	poids 64776,5742
Cercle (230 m; 180 m) rayon	149 m	F 2,2694	poids 48153,1758
Cercle (230 m; 180 m) rayon	144 m	F 2,2778	poids 33397,957
Cercle (230 m; 180 m) rayon	139 m	F 2,1817	poids 20665,7188

Cercle (230 m; 180 m) rayon	134 m	F 1,2912	poids 10167,6426
Cercle (230 m; 180 m) rayon	129 m	F 2,6150	poids 2748,81958
Cercle (230 m; 185 m) rayon	184 m	F 2,2618	poids 176269,766
Cercle (230 m; 185 m) rayon	179 m	F 2,2837	poids 151139,562
Cercle (230 m; 185 m) rayon	174 m	F 2,2904	poids 127415,227
Cercle (230 m; 185 m) rayon	169 m	F 2,2722	poids 105319,422
Cercle (230 m; 185 m) rayon	164 m	F 2,3024	poids 84877,1328
Cercle (230 m; 185 m) rayon	159 m	F 2,2761	poids 66165,1953
Cercle (230 m; 185 m) rayon	154 m	F 2,2593	poids 49241,7031
Cercle (230 m; 185 m) rayon	149 m	F 2,2686	poids 34203,6406
Cercle (230 m; 185 m) rayon	144 m	F 2,1732	poids 21203,5859
Cercle (230 m; 185 m) rayon	139 m	F 1,2843	poids 10476,5615
Cercle (230 m; 185 m) rayon	134 m	F 2,5906	poids 2871,17505
Cercle (235 m; 180 m) rayon	179 m	F 2,3825	poids 170628,047
Cercle (235 m; 180 m) rayon	174 m	F 2,4176	poids 146224,375
Cercle (235 m; 180 m) rayon	169 m	F 2,4426	poids 122978,516
Cercle (235 m; 180 m) rayon	164 m	F 2,4308	poids 101336,102
Cercle (235 m; 180 m) rayon	159 m	F 2,4726	poids 81339,125
Cercle (235 m; 180 m) rayon	154 m	F 2,4532	poids 63061,1133
Cercle (235 m; 180 m) rayon	149 m	F 2,4446	poids 46562,8906
Cercle (235 m; 180 m) rayon	144 m	F 2,4087	poids 31939,002
Cercle (235 m; 180 m) rayon	139 m	F 2,3254	poids 19329,6641
Cercle (235 m; 180 m) rayon	134 m	F 1,4580	poids 8957,49023
Cercle (235 m; 180 m) rayon	129 m	F 2,9913	poids 1932,23511
Cercle (235 m; 185 m) rayon	184 m	F 2,3349	poids 173500,109
Cercle (235 m; 185 m) rayon	179 m	F 2,3838	poids 148929,219
Cercle (235 m; 185 m) rayon	174 m	F 2,4297	poids 125354,461
Cercle (235 m; 185 m) rayon	169 m	F 2,4175	poids 103358,281
Cercle (235 m; 185 m) rayon	164 m	F 2,4592	poids 83018,2109
Cercle (235 m; 185 m) rayon	159 m	F 2,4398	poids 64426,7109
Cercle (235 m; 185 m) rayon	154 m	F 2,4314	poids 47622,2969
Cercle (235 m; 185 m) rayon	149 m	F 2,3961	poids 32713,1328
Cercle (235 m; 185 m) rayon	144 m	F 2,3129	poids 19840,6719
Cercle (235 m; 185 m) rayon	139 m	F 1,4481	poids 9239,74609
Cercle (235 m; 185 m) rayon	134 m	F 2,9502	poids 2033,63611
Quadrillage (230; 220) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (230 m; 220 m) rayon	219 m	F 2,0802	poids 195840,969
Cercle (230 m; 220 m) rayon	214 m	F 2,1526	poids 169371,922
Cercle (230 m; 220 m) rayon	209 m	F 2,2172	poids 143728,906
Cercle (230 m; 220 m) rayon	204 m	F 2,2118	poids 119288,594
Cercle (230 m; 220 m) rayon	199 m	F 2,2409	poids 96561,3594
Cercle (230 m; 220 m) rayon	194 m	F 2,2122	poids 75680,2422
Cercle (230 m; 220 m) rayon	189 m	F 2,1958	poids 56690,2734
Cercle (230 m; 220 m) rayon	184 m	F 2,2010	poids 39726,2656
Cercle (230 m; 220 m) rayon	179 m	F 2,1565	poids 24954,1836
Cercle (230 m; 220 m) rayon	174 m	F 1,2241	poids 12669,623
Cercle (230 m; 220 m) rayon	169 m	F 2,4071	poids 3791,51929
Cercle (230 m; 225 m) rayon	224 m	F 2,0476	poids 198438,094

Cercle (230 m; 225 m) rayon	219 m	F 2,1595	poids 171787,141
Cercle (230 m; 225 m) rayon	214 m	F 2,1932	poids 145959,453
Cercle (230 m; 225 m) rayon	209 m	F 2,2038	poids 121226,898
Cercle (230 m; 225 m) rayon	204 m	F 2,2328	poids 98187,9141
Cercle (230 m; 225 m) rayon	199 m	F 2,2037	poids 77011,1328
Cercle (230 m; 225 m) rayon	194 m	F 2,1871	poids 57739,8828
Cercle (230 m; 225 m) rayon	189 m	F 2,1931	poids 40507,0703
Cercle (230 m; 225 m) rayon	184 m	F 2,1477	poids 25492,7051
Cercle (230 m; 225 m) rayon	179 m	F 1,2177	poids 12988,2363
Cercle (230 m; 225 m) rayon	174 m	F 2,3826	poids 3931,27734
Cercle (235 m; 220 m) rayon	214 m	F 2,2060	poids 166258,828
Cercle (235 m; 220 m) rayon	209 m	F 2,3261	poids 141204,984
Cercle (235 m; 220 m) rayon	204 m	F 2,3422	poids 117071,484
Cercle (235 m; 220 m) rayon	199 m	F 2,3810	poids 94476,0234
Cercle (235 m; 220 m) rayon	194 m	F 2,3560	poids 73713,5625
Cercle (235 m; 220 m) rayon	189 m	F 2,3495	poids 54853,5547
Cercle (235 m; 220 m) rayon	184 m	F 2,3165	poids 38028,4609
Cercle (235 m; 220 m) rayon	179 m	F 2,2254	poids 23408,375
Cercle (235 m; 220 m) rayon	174 m	F 1,3619	poids 11247,0527
Cercle (235 m; 220 m) rayon	169 m	F 2,7194	poids 2790,30786
Cercle (235 m; 225 m) rayon	219 m	F 2,1717	poids 168559,047
Cercle (235 m; 225 m) rayon	214 m	F 2,2966	poids 143315,375
Cercle (235 m; 225 m) rayon	209 m	F 2,3325	poids 118988,195
Cercle (235 m; 225 m) rayon	204 m	F 2,3709	poids 96066,9453
Cercle (235 m; 225 m) rayon	199 m	F 2,3455	poids 75008,8125
Cercle (235 m; 225 m) rayon	194 m	F 2,3391	poids 55868,5117
Cercle (235 m; 225 m) rayon	189 m	F 2,3064	poids 38782,3906
Cercle (235 m; 225 m) rayon	184 m	F 2,2148	poids 23913,3691
Cercle (235 m; 225 m) rayon	179 m	F 1,3543	poids 11540,5469
Cercle (235 m; 225 m) rayon	174 m	F 2,6924	poids 2905,39624
Quadrillage (230; 260) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon 5			
Cercle (230 m; 260 m) rayon	254 m	F 2,0103	poids 187626,312
Cercle (230 m; 260 m) rayon	249 m	F 2,0731	poids 160648,031
Cercle (230 m; 260 m) rayon	244 m	F 2,1611	poids 134422,594
Cercle (230 m; 260 m) rayon	239 m	F 2,1814	poids 109343,586
Cercle (230 m; 260 m) rayon	234 m	F 2,1485	poids 86133,8281
Cercle (230 m; 260 m) rayon	229 m	F 2,1336	poids 64934,2188
Cercle (230 m; 260 m) rayon	224 m	F 2,1388	poids 45901,6562
Cercle (230 m; 260 m) rayon	219 m	F 2,0892	poids 29222,9336
Cercle (230 m; 260 m) rayon	214 m	F 1,5408	poids 15265,2324
Cercle (230 m; 260 m) rayon	209 m	F 2,2139	poids 4971,55225
Cercle (230 m; 265 m) rayon	259 m	F 1,9903	poids 189720,516
Cercle (230 m; 265 m) rayon	254 m	F 2,0870	poids 162621,438
Cercle (230 m; 265 m) rayon	249 m	F 2,1442	poids 136214,859
Cercle (230 m; 265 m) rayon	244 m	F 2,1743	poids 110907,656
Cercle (230 m; 265 m) rayon	239 m	F 2,1417	poids 87415,3203
Cercle (230 m; 265 m) rayon	234 m	F 2,1225	poids 65953,0625
Cercle (230 m; 265 m) rayon	229 m	F 2,1316	poids 46668,9336

Cercle (230 m; 265 m) rayon	224 m	F 2,0809	poids 29762,8555
Cercle (230 m; 265 m) rayon	219 m	F 1,5937	poids 15592,4658
Cercle (230 m; 265 m) rayon	214 m	F 2,1918	poids 5130,90869
Cercle (235 m; 260 m) rayon	249 m	F 2,1340	poids 157293,297
Cercle (235 m; 260 m) rayon	244 m	F 2,2254	poids 131695,734
Cercle (235 m; 260 m) rayon	239 m	F 2,3056	poids 107005,102
Cercle (235 m; 260 m) rayon	234 m	F 2,2785	poids 83918,3984
Cercle (235 m; 260 m) rayon	229 m	F 2,2737	poids 62863,9805
Cercle (235 m; 260 m) rayon	224 m	F 2,2333	poids 43985,207
Cercle (235 m; 260 m) rayon	219 m	F 2,1446	poids 27469,5703
Cercle (235 m; 260 m) rayon	214 m	F 1,2858	poids 13642,9072
Cercle (235 m; 260 m) rayon	209 m	F 2,5068	poids 3792,01489
Cercle (235 m; 265 m) rayon	254 m	F 2,1080	poids 159201,219
Cercle (235 m; 265 m) rayon	249 m	F 2,2424	poids 133418,016
Cercle (235 m; 265 m) rayon	244 m	F 2,2939	poids 108535,992
Cercle (235 m; 265 m) rayon	239 m	F 2,2698	poids 85172,9531
Cercle (235 m; 265 m) rayon	234 m	F 2,2651	poids 63855,1406
Cercle (235 m; 265 m) rayon	229 m	F 2,2245	poids 44724,543
Cercle (235 m; 265 m) rayon	224 m	F 2,1354	poids 27978,5156
Cercle (235 m; 265 m) rayon	219 m	F 1,2787	poids 13945,4678
Cercle (235 m; 265 m) rayon	214 m	F 2,4787	poids 3928,6875
Quadrillage (230; 300) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (230 m; 300 m) rayon	289 m	F 1,9766	poids 175469,766
Cercle (230 m; 300 m) rayon	284 m	F 2,0583	poids 148215,109
Cercle (230 m; 300 m) rayon	279 m	F 2,1041	poids 121665,781
Cercle (230 m; 300 m) rayon	274 m	F 2,0952	poids 96281,8906
Cercle (230 m; 300 m) rayon	269 m	F 2,0760	poids 73002,1016
Cercle (230 m; 300 m) rayon	264 m	F 2,0825	poids 52012,6445
Cercle (230 m; 300 m) rayon	259 m	F 2,0303	poids 33502,207
Cercle (230 m; 300 m) rayon	254 m	F 1,6498	poids 17953,3086
Cercle (230 m; 300 m) rayon	249 m	F 2,0467	poids 6300,96191
Cercle (230 m; 300 m) rayon	244 m	F 29,359	poids 42,4008064
Cercle (230 m; 305 m) rayon	294 m	F 1,9971	poids 177184,891
Cercle (230 m; 305 m) rayon	289 m	F 2,0447	poids 149808,531
Cercle (230 m; 305 m) rayon	284 m	F 2,0894	poids 123152,445
Cercle (230 m; 305 m) rayon	279 m	F 2,0888	poids 97550,3125
Cercle (230 m; 305 m) rayon	274 m	F 2,0698	poids 73995,4766
Cercle (230 m; 305 m) rayon	269 m	F 2,0760	poids 52769,5156
Cercle (230 m; 305 m) rayon	264 m	F 2,0126	poids 34059,1641
Cercle (230 m; 305 m) rayon	259 m	F 1,7034	poids 18293,7207
Cercle (230 m; 305 m) rayon	254 m	F 2,0279	poids 6477,0459
Cercle (230 m; 305 m) rayon	249 m	F 22,573	poids 65,3652115
Cercle (235 m; 300 m) rayon	284 m	F 2,1211	poids 144950,406
Cercle (235 m; 300 m) rayon	279 m	F 2,2105	poids 118870,414
Cercle (235 m; 300 m) rayon	274 m	F 2,2132	poids 93836,5156
Cercle (235 m; 300 m) rayon	269 m	F 2,2024	poids 70704,4766
Cercle (235 m; 300 m) rayon	264 m	F 2,1648	poids 49884,9531
Cercle (235 m; 300 m) rayon	259 m	F 2,1172	poids 31566,207

Cercle (235 m; 300 m) rayon	254 m	F 1,2163	poids 16146,7676
Cercle (235 m; 300 m) rayon	249 m	F 2,2999	poids 4938,33057
Cercle (235 m; 305 m) rayon	289 m	F 2,1024	poids 146500,109
Cercle (235 m; 305 m) rayon	284 m	F 2,1920	poids 120287
Cercle (235 m; 305 m) rayon	279 m	F 2,2062	poids 95068,3906
Cercle (235 m; 305 m) rayon	274 m	F 2,1947	poids 71680,3438
Cercle (235 m; 305 m) rayon	269 m	F 2,1569	poids 50619,1406
Cercle (235 m; 305 m) rayon	264 m	F 2,1081	poids 32079,0957
Cercle (235 m; 305 m) rayon	259 m	F 1,3399	poids 16476,7617
Cercle (235 m; 305 m) rayon	254 m	F 2,2756	poids 5089,84863
Quadrillage (230; 340) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (230 m; 340 m) rayon	324 m	F 1,9980	poids 160372,578
Cercle (230 m; 340 m) rayon	319 m	F 2,0448	poids 132880,5
Cercle (230 m; 340 m) rayon	314 m	F 2,0483	poids 106196,68
Cercle (230 m; 340 m) rayon	309 m	F 2,0280	poids 80961,2734
Cercle (230 m; 340 m) rayon	304 m	F 2,0306	poids 58098,4336
Cercle (230 m; 340 m) rayon	299 m	F 1,9628	poids 37871,6211
Cercle (230 m; 340 m) rayon	294 m	F 1,6943	poids 20759,3457
Cercle (230 m; 340 m) rayon	289 m	F 1,9014	poids 7773,74268
Cercle (230 m; 340 m) rayon	284 m	F 9,0066	poids 317,260773
Cercle (230 m; 345 m) rayon	329 m	F 1,9887	poids 161796,312
Cercle (230 m; 345 m) rayon	324 m	F 2,0344	poids 134209,156
Cercle (230 m; 345 m) rayon	319 m	F 2,0394	poids 107386,094
Cercle (230 m; 345 m) rayon	314 m	F 2,0223	poids 81965,2422
Cercle (230 m; 345 m) rayon	309 m	F 2,0242	poids 58863,9297
Cercle (230 m; 345 m) rayon	304 m	F 1,9566	poids 38424,918
Cercle (230 m; 345 m) rayon	299 m	F 1,7452	poids 21112,5312
Cercle (230 m; 345 m) rayon	294 m	F 1,8848	poids 7968,87842
Cercle (230 m; 345 m) rayon	289 m	F 8,3513	poids 364,715881
Cercle (235 m; 340 m) rayon	324 m	F 1,9955	poids 156824,203
Cercle (235 m; 340 m) rayon	319 m	F 2,1118	poids 129809,586
Cercle (235 m; 340 m) rayon	314 m	F 2,1692	poids 103507,414
Cercle (235 m; 340 m) rayon	309 m	F 2,1434	poids 78458,9375
Cercle (235 m; 340 m) rayon	304 m	F 2,1025	poids 55765,9414
Cercle (235 m; 340 m) rayon	299 m	F 2,0420	poids 35720,8789
Cercle (235 m; 340 m) rayon	294 m	F 1,5952	poids 18779,5195
Cercle (235 m; 340 m) rayon	289 m	F 2,1176	poids 6233,05762
Cercle (235 m; 345 m) rayon	329 m	F 1,9839	poids 158216,969
Cercle (235 m; 345 m) rayon	324 m	F 2,0989	poids 131079,078
Cercle (235 m; 345 m) rayon	319 m	F 2,1539	poids 104682,719
Cercle (235 m; 345 m) rayon	314 m	F 2,1365	poids 79429,6953
Cercle (235 m; 345 m) rayon	309 m	F 2,0952	poids 56511,0547
Cercle (235 m; 345 m) rayon	304 m	F 2,0338	poids 36244,7461
Cercle (235 m; 345 m) rayon	299 m	F 1,5873	poids 19110,0898
Cercle (235 m; 345 m) rayon	294 m	F 2,0972	poids 6402,37158
Quadrillage (230; 380) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon	5		
Cercle (230 m; 380 m) rayon	364 m	F 1,9693	poids 171355,5

Cercle (230 m; 380 m) rayon	359 m	F 2,0179	poids 142934,312
Cercle (230 m; 380 m) rayon	354 m	F 2,0532	poids 115334,141
Cercle (230 m; 380 m) rayon	349 m	F 2,0112	poids 88744,7969
Cercle (230 m; 380 m) rayon	344 m	F 1,9816	poids 64210,25
Cercle (230 m; 380 m) rayon	339 m	F 1,9087	poids 42302,5781
Cercle (230 m; 380 m) rayon	334 m	F 1,7347	poids 23674,2539
Cercle (230 m; 380 m) rayon	329 m	F 1,7755	poids 9392,98828
Cercle (230 m; 380 m) rayon	324 m	F 5,7055	poids 767,969971
Cercle (230 m; 385 m) rayon	369 m	F 1,9629	poids 172667,266
Cercle (230 m; 385 m) rayon	364 m	F 2,0115	poids 144130,641
Cercle (230 m; 385 m) rayon	359 m	F 2,0437	poids 116404,656
Cercle (230 m; 385 m) rayon	354 m	F 2,0074	poids 89696,1719
Cercle (230 m; 385 m) rayon	349 m	F 1,9759	poids 64977,7227
Cercle (230 m; 385 m) rayon	344 m	F 1,9022	poids 42857,9531
Cercle (230 m; 385 m) rayon	339 m	F 1,7267	poids 24045,0703
Cercle (230 m; 385 m) rayon	334 m	F 1,7615	poids 9598,62988
Cercle (230 m; 385 m) rayon	329 m	F 5,4834	poids 834,404419
Cercle (235 m; 380 m) rayon	359 m	F 2,0231	poids 139615,031
Cercle (235 m; 380 m) rayon	354 m	F 2,0904	poids 112487,422
Cercle (235 m; 380 m) rayon	349 m	F 2,1134	poids 86160,8438
Cercle (235 m; 380 m) rayon	344 m	F 2,0450	poids 61673,6914
Cercle (235 m; 380 m) rayon	339 m	F 2,0270	poids 39954,9805
Cercle (235 m; 380 m) rayon	334 m	F 1,7087	poids 21522,5898
Cercle (235 m; 380 m) rayon	329 m	F 1,9616	poids 7667,99658
Cercle (235 m; 380 m) rayon	324 m	F 14,879	poids 145,879211
Cercle (235 m; 385 m) rayon	364 m	F 2,0143	poids 140793,297
Cercle (235 m; 385 m) rayon	359 m	F 2,0803	poids 113537,5
Cercle (235 m; 385 m) rayon	354 m	F 2,1086	poids 87090,8516
Cercle (235 m; 385 m) rayon	349 m	F 2,0381	poids 62416,9727
Cercle (235 m; 385 m) rayon	344 m	F 2,0188	poids 40491,332
Cercle (235 m; 385 m) rayon	339 m	F 1,7001	poids 21874,4102
Cercle (235 m; 385 m) rayon	334 m	F 1,9435	poids 7858,70605
Cercle (235 m; 385 m) rayon	329 m	F 12,973	poids 183,981583
Quadrillage (220; 420) Nb x et y (2; 2)			
Delta (5; 5) Dec. rayon 5			
Cercle (220 m; 420 m) rayon	404 m	F 1,9333	poids 188931,844
Cercle (220 m; 420 m) rayon	399 m	F 1,9832	poids 158700,828
Cercle (220 m; 420 m) rayon	394 m	F 1,9756	poids 129349,805
Cercle (220 m; 420 m) rayon	389 m	F 1,8984	poids 101245,742
Cercle (220 m; 420 m) rayon	384 m	F 1,8357	poids 75424,0391
Cercle (220 m; 420 m) rayon	379 m	F 1,7446	poids 52078,4453
Cercle (220 m; 420 m) rayon	374 m	F 1,7051	poids 31661,2031
Cercle (220 m; 420 m) rayon	369 m	F 1,1985	poids 15337,3633
Cercle (220 m; 420 m) rayon	364 m	F 2,7419	poids 3722,36377
Cercle (220 m; 425 m) rayon	409 m	F 1,9304	poids 190193,922
Cercle (220 m; 425 m) rayon	404 m	F 1,9810	poids 159844,359
Cercle (220 m; 425 m) rayon	399 m	F 1,9755	poids 130383,648
Cercle (220 m; 425 m) rayon	394 m	F 1,9015	poids 102133,219
Cercle (220 m; 425 m) rayon	389 m	F 1,8369	poids 76145,2031

Cercle (220 m; 425 m)	rayon	384 m	F 1,7719	poids 52665,4453
Cercle (220 m; 425 m)	rayon	379 m	F 1,6991	poids 32094,8184
Cercle (220 m; 425 m)	rayon	374 m	F 1,1911	poids 15613,7285
Cercle (220 m; 425 m)	rayon	369 m	F 2,7008	poids 3856,50708
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	404 m	F 1,9469	poids 185239,766
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	399 m	F 1,9793	poids 155501,359
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	394 m	F 1,9924	poids 126584,727
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	389 m	F 1,9565	poids 98678,7344
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	384 m	F 1,8779	poids 72821,0547
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	379 m	F 1,8298	poids 49454,168
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	374 m	F 1,7118	poids 29140,0645
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	369 m	F 1,3652	poids 13184,2979
Cercle (225 m; 420 m)	rayon	364 m	F 3,3273	poids 2456,41528
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	409 m	F 1,9436	poids 186471,062
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	404 m	F 1,9763	poids 156612,469
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	399 m	F 1,9908	poids 127590,055
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	394 m	F 1,9588	poids 99564,3672
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	389 m	F 1,8764	poids 73550,4219
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	384 m	F 1,8239	poids 50025,0742
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	379 m	F 1,7503	poids 29557,6816
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	374 m	F 1,3302	poids 13441,5459
Cercle (225 m; 425 m)	rayon	369 m	F 3,2754	poids 2564,55005
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	419 m	F 1,9669	poids 159900,828
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	414 m	F 1,9853	poids 130590,758
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	409 m	F 1,967	poids 102166,57
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	404 m	F 1,9032	poids 75699,0781
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	399 m	F 1,8093	poids 51739,9727
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	394 m	F 1,7297	poids 30803,1113
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	389 m	F 1,3023	poids 14222,71
Cercle (225 m; 440 m)	rayon	384 m	F 3,1245	poids 2912,17139
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	424 m	F 1,9642	poids 161000,109
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	419 m	F 1,9829	poids 131576,766
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	414 m	F 1,9701	poids 103036,969
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	409 m	F 1,9040	poids 76400,7812
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	404 m	F 1,8045	poids 52310,9414
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	399 m	F 1,7234	poids 31219,8398
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	394 m	F 1,2827	poids 14488,7549
Cercle (225 m; 445 m)	rayon	389 m	F 3,0742	poids 3031,51587

ANNEXE C : Programme Fs

Dans cette annexe, on a réalisé un programme en fortran 90 propre à la méthode de Fellinus, qui calcule le coefficient de sécurité au glissement.

$$F_s = \frac{\sum_1^n C_i \frac{b}{\cos \alpha_i} + \left(W \cdot \cos \alpha_i - \frac{U \cdot b}{\cos \alpha_i} \right) \operatorname{tg} \phi}{\sum_1^n W \cdot \sin \alpha_i}$$

Ce programme intervient dans le cas d'une seule couche, en présence ou en absence de la nappe phréatique.

Le principe de ce programme est :

- Quadrillage du premier centre du cercle de glissement (voir figure ci-dessous)
- A partir d'un point (x_0, y_0) , on calcule le coefficient de sécurité au glissement de chaque rayon possible (r_{\max} à r_{\min}).
- Quant tous les coefficients de sécurité au glissement du premier point (x_0, y_0) sont calculés, ce dernier change son ordonné (y) et on effectue les mêmes opérations que l'étape précédente.
- Quant le point (x_0, y_0) change tous ces ordonnés (y), il passe au changement de son abscisse (x) et on effectue les mêmes opérations que l'étape précédente.

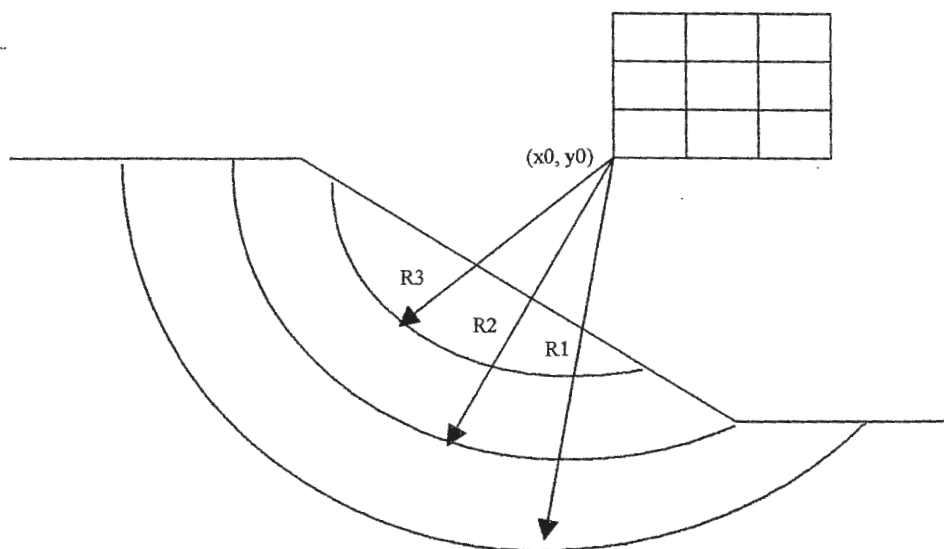


Figure : Principe du programme Fs

```

program facteur_de_securite
parameter (gamaw=10)
double precision rmax,rmin,gamad,fs,fs1,fs2,fs3
dimension x0(1000),y0(1000),x(1000),y(1000),xe(1000),ye(1000),xc(1000),yc(1000)
dimension xk(1000),yk(1000),alpha(1000),yke(1000),xke(1000),u(1000)
dimension s1(1000),s2(1000),s3(1000),w1(1000),w2(1000),w3(100),s(1000),w(1000)
character quit

! Partie des données

write(*,*)
10 write(*,*)'Ce programme calcul le facteur de securite d'un glissement de terrain'
write(*,*)'-----'
write(*,*)

! Talus

write(*,*)'On va entrer les cordonnées du talus'
write(*,*)

write(*,*)'Entrer le premier point (x1,y1) de chaque couche (partie amont):'
read(*,*)x1,y1
write(*,*)'Entrer le deuxieme point (x2,y2) de chaque couche (partie amont):'
read(*,*)x2,y2
write(*,*)'Entrer le troisieme point (x3,y3) de chaque couche (partie aval):'
read(*,*)x3,y3
write(*,*)'Entrer le quatrieme point (x4,y4) de chaque couche (partie aval):'
read(*,*)x4,y4

! Cordonnées de la nappe

write(*,*)
write(*,*)'On va entrer les cordonnees de lanappe'
write(*,*)'Remarque: s''il n''y a pas de nappe,tapez x quelconque et y=0'
write(*,*)

write(*,*)'Entrer le premier point de la nappe d''eau (xe1;ye1):'
read(*,*)xe1,ye1
write(*,*)'Entrer le deuxieme point de la nappe d''eau (xe2;ye2):'
read(*,*)xe2,ye2
write(*,*)'Entrer le toisieme point de la nappe d''eau (xe3;ye3):'
read(*,*)xe3,ye3
write(*,*)'Entrer le quatrieme point de la nappe d''eau (xe4;ye4):'
read(*,*)xe4,ye4

! Premier centre

write(*,*)
write(*,*)'On va entrer le premier centre du cercle de glissement'
write(*,*)
write(*,*)'Entrer le premier centre du cercle de glissement (x0,y0):'
write(*,*)'Remarque: c''est le point le plus bas a gauche.'
read(*,*)x00,y00

! Quadrillage

write(*,*)
write(*,*)'On va entrer cree un quadrillage pour le centre du cercle'
write(*,*)
write(*,*)'Donner le nombre des colonnes:'
read(*,*)ncol
write(*,*)'Donner le nombre des lignes:'
read(*,*)nlig
write(*,*)'Donner la valeur du pas des abcisses:'
read(*,*)pasx
write(*,*)'Donner la valeur du pas des ordonnees:'
read(*,*)pasy
write(*,*)'Donner la valeur du pas du rayon:'
read(*,*)pasr

write(*,*)
write(*,*)'Donner l''ordonnee (ys) du point le plus bas'
write(*,*)'remarque: ys est cosidere comme le toit du substratum.'
read(*,*)ys
write(*,*)'Donner le nombre des tranches (nt):'
read(*,*)nt

```

```
! Caractéristiques géotechniques
```

```
write(*,*)
write(*,*)'On va entrer les données geotechniques'
write(*,*)
write(*,*)'Donner la valeur de la cohesion (c) en kn/m2:'
read(*,*)c
write(*,*)'Donner la valeur de l''angle de frottement interne (fi) en degres:'
read(*,*)fi
write(*,*)'Donner la valeur du poids volumique sec (gamad) en kn/m3:'
read(*,*)gamad
gamasat=gamad+(1-(gamad/27))*gamaw
```

```
! Calculs
```

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
write(*,*)
write(*,*)'Resultats des calculs:'
write(*,*)
write(*,*)'x0=',x00
write(*,*)'y0=',y00
write(*,*)
```

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
x0=x00
do i=1,ncol+1

  x0(i)=x00+(i-1)*pasx

  y0=y00
  do j=1,nlig+1

    y0(j)=y00+(j-1)*pasy
```

```
! rmax
```

```
  rmax=y0(j)-ys
```

```
! rmin
```

```
! r2 : rayon entre le point (x0,y0) et le point (x2,y2)
! r3 : rayon entre le point (x0,y0) et le point (x3,y3)
! (xr,yr) : intersection du rmin avec la pente du talus
! yr=p.xr+q : équation de la pente
! aa.xr**2+bb.xr+cc=0 : équation du cercle
```

```
  r2=sqrt(((x2-x0(i))**2)+((y2-y0(j))**2))
  r3=sqrt(((x3-x0(i))**2)+((y3-y0(j))**2))

  p=(y2-y3)/(x2-x3)
  q=((x2*y3)-(x3*y2))/(x2-x3)
  aa=(p**2)+1
  bb=2*((p*q)-(p*y0(j))-x0(i))
  xr=-bb/(2*aa)
  yr=(p*xr)+q
  if(xr<x2)then
    rmin=sqrt(((x2-x0(i))**2)+((y2-y0(j))**2))
  else
    if(xr>x3)then
      rmin=sqrt(((x3-x0(i))**2)+((y3-y0(j))**2))
    else
      rmin=sqrt(((xr-x0(i))**2)+((yr-y0(j))**2))
    endif
  endif
endif
```

!!

```
write(*,*)
write(*,*)'rmax=',rmax
write(*,*)'rmin=',rmin
```

!!

! Programme d'une erreur entre le pas du rayon et (rmax-rmin)

```
drmaxrmin=rmax-rmin
if(drmaxrmin<pasr)then
  write(*,*)'le pas du rayon est superieur a (rmax-rmin)'
  goto 110 ! nouvelle execution / sortie
endif
```

```
do r=rmax,rmin,-pasr
```

! Largeur b

! y_{g1}=p₁.x_g+q₁ : équation de la pente du segment x₁-x₂
! y_{g1}=a₁.x_g²+b₁.x_g+c₁ : équation du cercle avec le segment x₁-x₂
! x_{g11},x_{g12} : intersections du cercle avec la droite du segment x₁-x₂
! x_{g01} : intersection du cercle avec le segment x₁-x₂

```
p1=(y1-y2)/(x1-x2)
q1=((x1*y2)-(x2*y1))/(x1-x2)
a1=(p1**2)+1
b1=2*((p1*q1)-(p1*y0(j))-x0(i))
c1=(q1**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*q1*y0(j))
delta1=(b1**2)-(4*a1*c1)
```

```
if(delta1<0)then
  goto 20
endif
```

```
xg11=(-b1-sqrt(delta1))/(2*a1)
xg12=(-b1+sqrt(delta1))/(2*a1)
```

```
if(xg11<xg12)then
  xg01=xg11
else
  xg01=xg12
endif
```

! y_{g2}=p₂.x_g+q₂ : équation de la pente du segment x₂-x₃
! y_{g2}=a₂.x_g²+b₂.x_g+c₂ : équation du cercle avec le segment x₂-x₃
! x_{g11},x_{g12} : intersection du cercle avec la droite du segment x₁-x₂
! x_{g01} : intersection du cercle avec le segment x₁-x₂

```
20 p2=(y2-y3)/(x2-x3)
q2=((x2*y3)-(x3*y2))/(x2-x3)
a2=(p2**2)+1
b2=2*((p2*q2)-(p2*y0(j))-x0(i))
c2=(q2**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*q2*y0(j))
delta2=(b2**2)-(4*a2*c2)
```

```
if(delta2<0)then
  goto 30
endif
```

```
xg21=(-b2-sqrt(delta2))/(2*a2)
xg22=(-b2+sqrt(delta2))/(2*a2)
```

```
if(xg21<xg22)then
  xg02=xg21
else
  xg02=xg22
endif
```

```

! yg3=p3.xg+q3 : équation de la pente du segment x3-x4
! yg3=a3.xg**2+b3.xg+c3 : équation du cercle avec le segment x3-x4
! xg11,xg12 : intersection du cercle avec la droite du segment x1-x2
! xg01 : intersection du cercle avec le segment x1-x2

30  p3=(y3-y4)/(x3-x4)
    q3=((x3*y4)-(x4*y3))/(x3-x4)
    a3=(p3**2)+1
    b3=2*((p3*q3)-(p3*y0(j))-x0(i))
    c3=(q3**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*q3*y0(j))
    delta3=(b3**2)-(4*a3*c3)

    if(delta3<0) then
        goto 40
    endif

    xg31=(-b3-sqrt(delta3))/(2*a3)
    xg32=(-b3+sqrt(delta3))/(2*a3)

40  if(xg31<xg32) then
        xg03=xg32
    else
        xg03=xg31
    endif

    if(r>r2) then
        if(r>r3) then
            xg1=xg01
            yg1=(p1*xg1)+q1
            xg2=xg03
            yg2=(p3*xg2)+q3
        else
            xg1=xg01
            yg1=(p1*xg1)+q1
            xg2=xg22
            yg2=(p2*xg2)+q2
        endif
    else
        if(r>r3) then
            xg1=xg02
            yg1=(p2*xg1)+q2
            xg2=xg03
            yg2=(p3*xg2)+q3
        else
            if(xg21<xg22) then
                xg1=xg21
                yg1=(p2*xg1)+q2
                xg2=xg22
                yg2=(p2*xg2)+q2
            else
                xg1=xg22
                yg1=(p2*xg1)+q2
                xg2=xg21
                yg2=(p2*xg2)+q2
            endif
        endif
    endif

    l=xg2-xg1
    b=l/nt

! nappe phréatique

! re2 : rayon entre le point (x0,y0) et le point (xe2,ye2)
! re3 : rayon entre le point (x0,y0) et le point (xe3,ye3)

    re2=sqrt(((xe2-x0(i))**2)+((ye2-y0(j))**2))
    re3=sqrt(((xe3-x0(i))**2)+((ye3-y0(j))**2))

! yge1=pe1.xge+qe1 : équation de la pente du segment x1-x2
! yge1=ae1.xge**2+be1.xge+ce1 : équation du cercle avec le segment x1-x2
! xge11,xge12 : intersection du cercle avec la droite du segment x1-x2
! xge01 : intersection du cercle avec le segment x1-x2

```

```

pe1=(ye1-ye2)/(xe1-xe2)
qe1=((xe1*ye2)-(xe2*ye1))/(xe1-xe2)
ae1=(pe1**2)+1
be1=2*((pe1*qe1)-(pe1*y0(j))-x0(i))
ce1=(qe1**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*qe1*y0(j))
deltae1=(be1**2)-(4*ae1*ce1)

if(deltae1<0) then
  goto 50
endif

xge11=(-be1-sqrt(deltae1))/(2*ae1)
xge12=(-be1+sqrt(deltae1))/(2*ae1)

if(xge11<xge12) then
  xge01=xge11
else
  xge01=xge12
endif

! yge2=pe2.xge+qe2 : équation de la pente du segment x2-x3
! yge2=ae2.xge**2+be2.xge+ce2 : équation du cercle avec le segment x2-x3
! xge11,xge12 : intersection du cercle avec la droite du segment x1-x2
! xge01 : intersection du cercle avec le segment x1-x2

50  pe2=(ye2-ye3)/(xe2-xe3)
    qe2=((xe2*ye3)-(xe3*ye2))/(xe2-xe3)
    ae2=(pe2**2)+1
    be2=2*((pe2*qe2)-(pe2*y0(j))-x0(i))
    ce2=(qe2**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*qe2*y0(j))
    deltae2=(be2**2)-(4*ae2*ce2)

    if(deltae2<0) then
      goto 60
    endif

    xge21=(-be2-sqrt(deltae2))/(2*ae2)
    xge22=(-be2+sqrt(deltae2))/(2*ae2)

    if(xge21<xge22) then
      xge02=xge21
    else
      xge02=xge22
    endif

! yge3=pe3.xge+qe3 : equation de la pente du segment x3-x4
! yge3=ae3.xge**2+be3.xge+ce3 : equation du cercle avec le segment x3-x4
! xge11,xge12 : intersection du cercle avec la droite du segment x1-x2
! xge01 : intersection du cercle avec le segment x1-x2

60  pe3=(ye3-ye4)/(xe3-xe4)
    qe3=((xe3*ye4)-(xe4*ye3))/(xe3-xe4)
    ae3=(pe3**2)+1
    be3=2*((pe3*qe3)-(pe3*y0(j))-x0(i))
    ce3=(qe3**2)+(x0(i)**2)+(y0(j)**2)-(r**2)-(2*qe3*y0(j))
    deltae3=(be3**2)-(4*ae3*ce3)

    if(deltae3<0) then
      goto 70
    endif

    xge31=(-be3-sqrt(deltae3))/(2*ae3)
    xge32=(-be3+sqrt(deltae3))/(2*ae3)

70  if(xge31<xge32) then
      xge03=xge32
    else
      xge03=xge31
    endif

```




```

if(r>re2) then
  if(r>re3) then
    xge1=xge01
    yge1=(pe1*xge1)+qe1
    xge2=xge03
    yge2=(pe3*xge2)+qe3
  else
    xge1=xge01
    yge1=(pe1*xge1)+qe1
    xge2=xge22
    yge2=(pe2*xge2)+qe2
  endif
endif
else
  if(r>re3) then
    xge1=xge02
    yge1=(pe2*xge1)+qe2
    xge2=xge03
    yge2=(pe3*xge2)+qe3
  else
    if(xge21<xge22) then
      xge1=xge21
      yge1=(pe2*xge1)+qe2
      xge2=xge22
      yge2=(pe2*xge2)+qe2
    else
      xge1=xge22
      yge1=(pe2*xge1)+qe2
      xge2=xge21
      yge2=(pe2*xge2)+qe2
    endif
  endif
endif
endif

! angle alpha

! xk : l'intersection du rayon avec le cercle au milieu de la tranche
! yk : l'ordonnée du xk(n)
! alpha : l'angle entre le rayon qui coupe le point (xk,yk) et la varticale

do n=1,nt

  xk(n)=xg1+(n*b)-(b/2)
  yk(n)=y0(j)-sqrt((r**2)-((xk(n)-x0(i))**2))
  alpha(n)=atand((xk(n)-x0(i))/(yk(n)-y0(j)))

! pression

! xke : l'intersection du rayon avec le cercle au milieu de la tranche
! yke : l'ordonnée du xk(n)
! u : pression de l'eau

  xke(n)=xk(n)

  if(xke(n)<xe2) then
    yke(n)=(pe1*xke(n))+qe1
  else
    if(xke(n)>xe3) then
      yke(n)=(pe2*xke(n))+qe2
    else
      yke(n)=(pe3*xke(n))+qe3
    endif
  endif

  if(yke(n)>yk(n)) then
    u(n)=(yke(n)-yk(n))*gamaw
  else
    u(n)=0
  endif

endif

enddo

```

```

! surface

! (x,y) : point d'intersection entre la surface du talus
!         et le premier segment de la tranche
! (xe,ye) : point d'intersection entre la surface de la nappe
!         et le premier segment de la tranche
! (xc,yc) : point d'intersection entre le cercle
!         et le premier segment de la tranche
! s :     surface
! w :     poids

fs=0
fs1=0
fs2=0
fs3=0

do n=1,nt

x(n)=xg1+(n*b)-b
x(n+1)=xg1+((n+1)*b)-b

if(x(n)<x2) then
y(n)=(p1*x(n))+q1
y(n+1)=(p1*x(n+1))+q1
else
if(x(n)>x3) then
y(n)=(p3*x(n))+q3
y(n+1)=(p3*x(n+1))+q3
else
y(n)=(p2*x(n))+q2
y(n+1)=(p2*x(n+1))+q2
endif
endif

xe(n)=xge1+(n*b)-b
xe(n+1)=xge1+((n+1)*b)-b

if(xe(n)<xe2) then
ye(n)=(pe1*xe(n))+qe1
ye(n+1)=(pe1*xe(n+1))+qe1
else
if(xe(n)>xe3) then
ye(n)=(pe3*xe(n))+qe3
ye(n+1)=(pe3*xe(n+1))+qe3
else
ye(n)=(pe2*xe(n))+qe2
ye(n+1)=(pe2*xe(n+1))+qe2
endif
endif

xc(n)=x(n)
xc(n+1)=x(n+1)
yc(n)=y0(j)-sqrt((r**2)-((xc(n)-x0(i))**2))
yc(n+1)=y0(j)-sqrt((r**2)-((xc(n+1)-x0(i))**2))

if(ye(n)<yc(n)) then
if(ye(n+1)<yc(n+1)) then
s(n)=((y(n+1)-yc(n+1))+(y(n)-yc(n)))*(b/2)
w(n)=s(n)*gamad
! 01
else
s1(n)=((y(n+1)-yc(n+1))+(y(n)-yc(n)))*(b/2)
s2(n)=(ye(n+1)-yc(n+1))*(x(n+1)-xge1)*(1/2)
s3(n)=s1(n)-s2(n)
w2(n)=s2(n)*gamasat
w3(n)=s3(n)*gamad
w(n)=w2(n)+w3(n)
! 02
endif
else
if(ye(n+1)<yc(n+1)) then
s1(n)=((y(n+1)-yc(n+1))+(y(n)-yc(n)))*(b/2)
s2(n)=(ye(n)-yc(n))*(xge2-x(n))*(1/2)
s3(n)=s1(n)-s2(n)
w2(n)=s2(n)*gamasat
w3(n)=s3(n)*gamad
w(n)=w2(n)+w3(n)
! 03
endif
endif
endif
endif

```

```

else
  s1(n)=(y(n+1)-ye(n+1))+y(n)-ye(n))* (b/2)
  s2(n)=(ye(n+1)-yc(n+1))+ye(n)-yc(n))* (b/2)
  w1(n)=s1(n)*gamad
  w2(n)=s2(n)*gamasat
  w(n)=w1(n)+w2(n)
endif
endif

fs1=fs1+((c*b)/cosd(alpha(n)))
fs2=fs2+(((w(n)*cosd(alpha(n)))-((u(n)*b)/cosd(alpha(n))))*tand(alpha(n)))
fs3=fs3+(w(n)*sind(alpha(n)))

enddo

fs=((fs1+fs2)/fs3)

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

write(*,2)x0(i),y0(j),r,fs
2 format(1x,'x=',f10.5,5x,'y=',f10.5,5x,'r=',f10.5,5x,'fs=',f10.5)
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

80 enddo ! r

90 enddo ! y0

100 enddo ! x0

! program pour quitter

write(*,*)
110 write(*,*)'Tapez (+) pour une nouvelle execution'
write(*,*)'Tapez (-) pour quitter'
read(*,*) quit

if(quit.eq.'+')then
goto 10
else
if(quit.eq.'-')then
stop
else
write(*,*)'Tapez (+) ou (-)'
goto 110
endif
endif

end

```