

REPUBLIQUE DU SENEGAL

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

GC.0192

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

**TITRE : AMENAGEMENT DU DOMAINE DU SEMINAIRE DE THIES ET
DE SES DEPENDANCES CONTRE L'INONDATION
ET LES EFFETS DESTRUCTEURS DES EAUX
DE RUISSELLEMENT**

AUTEUR : Franck ACCROMBESSY

DIRECTEUR : GERARD SOUMA
DIRECTEUR EXTERNE : ABBE ALBERT MBAYE

DATE : JUILLET 1992

TABLE DES MATIERES

DEDICACE-----	I
REMERCIEMENTS-----	II
SOMMAIRE-----	III
I- INTRODUCTION -----	1
II- ETUDES TOPOGRAPHIQUES -----	4
2-1- Généralités : -----	4
2-2- Schéma des opérations de levé: -----	4
1-2-1- La documentation -----	4
2-2-2- Planification des travaux -----	5
2-2-3- Choix de l'échelle -----	7
<u>2-3- Le cheminement de la polygonale de base</u> -----	8
<u>2-3-1- Description du canevas de détail</u> -----	8
<u>2-3-2- Mode opératoire</u> -----	9
<u>2-3-3- Considérations sur les Tolérances de fermeture</u> -----	9
<u>2-3-4- Compensation du cheminement</u> -----	10
<u>2-3-4-1- Compensation angulaire</u> -----	10
<u>2-3-4-2- Ecart de fermeture linéaire du cheminement</u> -----	11
2-4- Altimétrie -----	15
2-5- Organisation du travail de levé sur le terrain -----	16
<u>2-6- Présentation des calcul et résultats</u> -----	19
<u>2-6-1- Calcul du gisement de la direction 12-11</u> -----	19
<u>2-6-2- coordonnées des points de levé tachéométrique</u> -----	20
2-6-3- Report des points -----	21

<u>2-7- Le bassin versant</u>	-----	21
<u>2-7-1- Caractéristiques physiques du bassin versant</u>	-----	21
<u>2-7-2- Caractéristique du réseau hydrographique</u>	-----	24
III- ETUDES HYDROLOGIQUES	-----	27
<u>3-1- Estimation du débit traversant l'exutoire du bassin</u>	-----	27
<u>3-1-1- Débit à la confluence, amont du ravin</u>	-----	27
<u>3-1-2- Estimation du débit ruisselé par le bassin versant</u>	-----	29
IV°) - ANALYSE DES CONSEQUENCES DE LA VITESSE OBSERVEE POUR LE RUISSELLEMENT		
<u>4-1- Analyses</u>	-----	33
<u>4-2- Objectifs à atteindre</u>	-----	35
V°) AMENAGEMENTS PROPOSES	-----	36
<u>5-1- Première solution: Elargir la section du canal</u>	-----	36
<u>5-1-1- Présentation de la solution</u>	-----	36
<u>5-1-2- Estimation du volume d'excavation</u>	-----	38
<u>5-1-3- Comparaison des coûts des deux situations</u>	-----	38
<u>5-2- Deuxième solution: Conception d'un barrage</u>	-----	39
<u>5-2-1- Présentation de la solution</u>	-----	39
<u>5-2-2- Analyse et commentaire</u>	-----	42
<u>5-2-3- Impacts de cette solution</u>	-----	43

- ANNEXES: 1 : Schémas liés au séminaire de Thiès
2 : Calcul et résultats du levé tachéométrique
3 : Procédure d'utilisation du logiciel Surfer

Liste des figures

- Figure 1 : Localisation du séminaire de Thiès et des Antennes d'égout pluvial s'y jetant -----3-a
- Figure 2 : Plan du séminaire de Thiès(1/2000)-----5-a
- Figure 3 : Définition du polygone d'apui -----9-a
- Figure 4 : Plan repris du séminaire de Thiès(1/1000)-----5-a
- Figure 5 : Courbes de niveau représetant le relief du séminaire -----21-b
- Figure 6 : Abaque pour lecture du coeficient C_w (weir coeficient) -----40-a

Liste des tableaux

Tableau 1 : Densité optimale requise en fonction de l'échelle -----	7
Tableau 2: Equidistance en fonction de l'échelle -----	15
Tableau 3: Organisation des travaux de levé -----	18
Tableau 4: Evaluation de la pente du canal -----	26
Tableau 5: Débit des antennes du réseau d'égout confluant sur EP1 -----	29
Tableau 6: Vitesse limite d'érosion selon la nature du sol	34
Tableau 7: Vitese d'infiltration en fonction de la nature du sol -----	35

DEDICACE

A MON PAPA
A MA MAMAN
A MES FRERES
ET SOEURS,
A TOUS MES PARENTS,
JE DEDIE CE PROJET

CELUI CI N' EST RIEN ENCORE
POUR MES REVES FUTURS ;
JE SOUHAITE QU'IL SOIT UN DEPART
POUR MES VASTES PROJETS D'AVENIR.

REMERCIEMENTS

S'il faut exprimer mes reconnaissances à tous ceux qui m'ont aidé et soutenu dans mes moments faibles au cours de la réalisation de ce projet, le verbe en prose ne serait pas adapté, et les pages seront longues.

Je dirai simplement merci à Mme Faye et Mr Souma qui surent me convaincre du choix de ce sujet; je remercie aussi Mr Okey Vladimir, l'Abbé Albert Mbaye et tous les élèves du Séminaire de Thiès pour leur aide dans les opérations de levé topographique.

II-SOMMAIRE

Il est entendu que toute étude hydraulique et toute proposition d'aménagement pour pallier à la déstabilisation des ouvrages fondés sur le sol passent par une connaissance précise du relief qui s'offre à nous. Aussi nos investigations ont-elles été menées dans une succession concordante. La chronologie des études est la suivante :

Etudes topographiques

Nous sommes partis du plan fourni par le responsable du séminaire ; ce plan est plutôt planimétrique et ne comporte aucune description du relief. de plus, l'échelle indiquée (du 1/20) ne correspondait pas avec les mesures sur le terrain. L'échelle probable suivant nos supputations étant du 1/2000, nous avons jugé indispensable de combiner levé de planimétrie et d'altimétrie.

L'échelle utile pour les dimensions du bassin serait la plus grande possible. Les détails concernant les opérations de levé sont amplement exposés. Nous notons simplement que l'échelle adoptée est du 1/1000 .

Etudes hydrogéologiques, géotechniques et hydrologiques sur le bassin versant

Nous n'avons principalement pas mené d'étude géotechnique et hydrogéologique. Seule une étude hydrologique a été effectuée.

Enfin des solutions d'aménagement ont été proposée au chapitre V. On retiendra surtout celle qui consiste à réaliser un barrage déversoir, la deuxième solution.

I- INTRODUCTION

On a longtemps omis dans les perspectives de développement des régions sous-développées du globe, les questions liées à l'environnement. Aujourd'hui, les observations parlent et l'amertume des hommes sensés de comprendre le problème est profonde. Même les paysans se mobilisent face aux effets de dégradation des sols de culture, dégradation qui se manifeste par la disparition du couvert végétal, l'érosion hydraulique et /ou éolienne des terres et leur ravinement. Le ravinement crée des canaux indésirables d'écoulement. Toutes ces manifestations concourent à l'anéantissement de l'effort humain pour accroître l'exploitation des terres et peuvent aussi détruire les structures érigées sur des terrains devenus instables. Il faut donc y pallier nécessairement. L'agriculture étant généralement la base de nos productions nationales en Afrique, on comprend bien que les discours politiques soulèvent l'intérêt de concilier perspectives de développement futur et questions de l'environnement.

Le ton étant donné, les techniciens et autres hommes de science doivent être mobilisés. En Afrique, nous ne disposons que d'une expérience mineure sur ces questions: elle est à peine naissante dans beaucoup de régions. Contrairement, l'Amérique du nord des Etats Unis, dont un fort pourcentage des terres cultivées est désertique, possède une très longue et bien éprouvée expérience dans le domaine [1] de la maîtrise des ressources hydriques. Etant donné que le climat est un facteur prépondérant à prendre en

compte, il ressort en principe que les pratiques hydrauliques en dépendent aussi, surtout pour des raisons technique, écologique, économique et sociale. Beaucoup de méthodes innovatrice en matière de technologie de l'eau s'appuient avant tout sur le principe énoncé précédemment.

Fort de tous ces constats, notre attention s'est focalisée sur le sujet de la protection de l'environnement, et appelés par les responsables du séminaire de Thiès, nous avons visité de fond en comble cette superficie de 3 hectares. Nous avons aussi compris l'opportunité d'y intervenir très promptement.

C'est ainsi que nous avons identifié les difficultés rencontrées sur un relief aussi impressionnant que passionnant en enseignement.

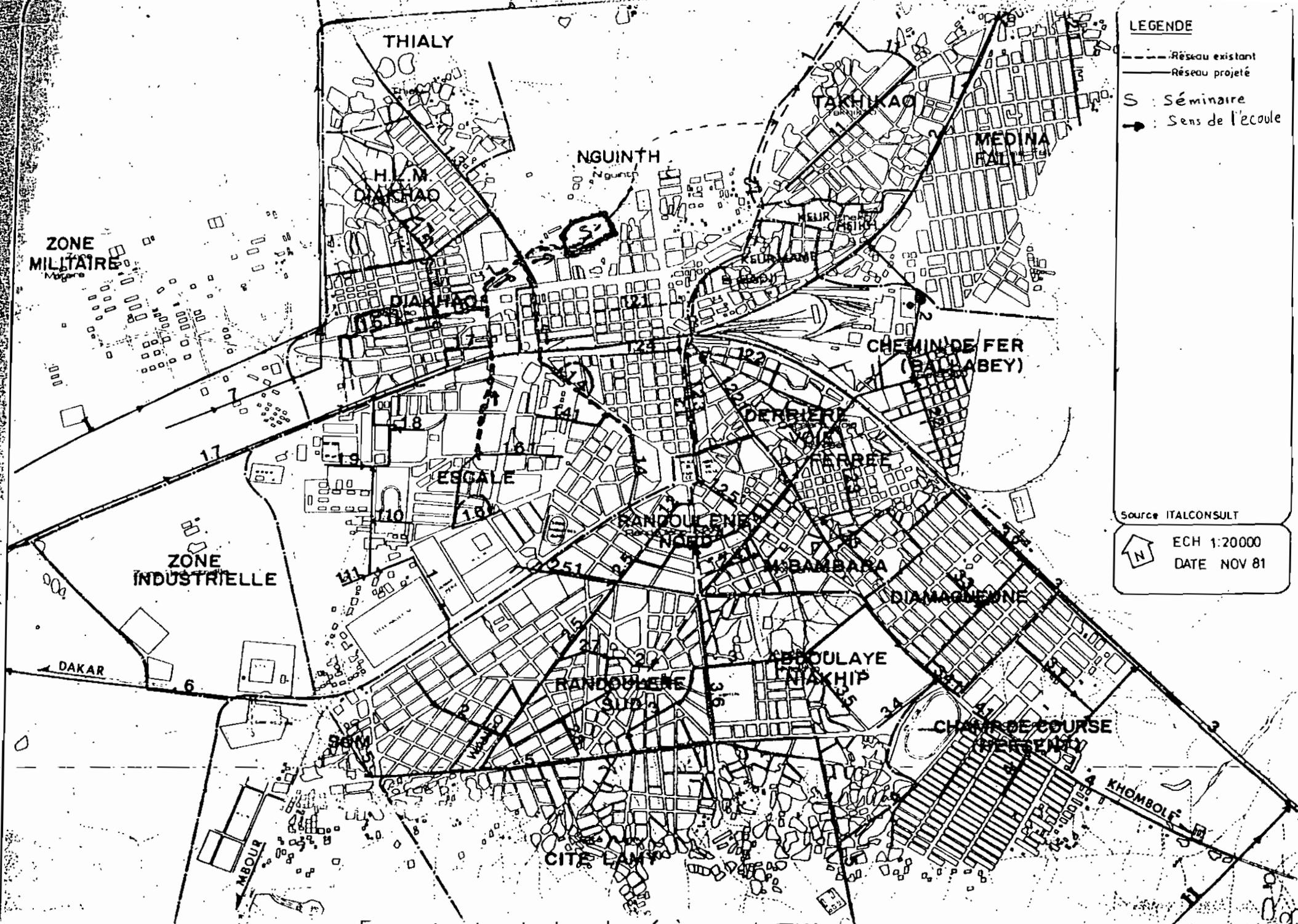
L'objectif était de pallier avant tout aux problèmes d'érosion du sol et de destruction de constructions préexistantes par le puissant ruissellement de l'eau lors des crues importantes des hivernages. La préoccupation est d'autant plus grande que la contribution à l'écoulement dans le ravin principal ne vient pas que de l'apport du bassin versant interne. Il y a d'autres sources artificielles et beaucoup plus importantes en apport d'eau. En premier, l'intercepteur du réseau d'égoût pluvial collectant entre autres les eaux relatives à l'aire du marché de Diakhao (Voir figure N°1). Et en dernier, les eaux ruisselées et provenant en amont du quartier HLM Thialli, et qui passent en dessous du pont de Mont-Rolland.

Ayant aussi observé l'utilité de développer du jardinage commercial, à cause de la qualité exceptionnelle du sol, nous avons

pensé optimiser conservation de l'eau et diminution de la vitesse du ruissellement.

Les solutions proposées sont présentées au chapitre V et prennent en compte les réalisations d'ouvrages en projection qui s'inscrivent dans le plan global d'aménagement du séminaire de Thiès.

3-0



LEGENDE

- Réseau existant
- Réseau projeté
- S : Séminaire
- : Sens de l'écoule

Source ITALCONSULT

ECH 1:20000
DATE NOV 81

Figure 1 : Localisation du séminaire de Thiès et des Anlennes d'égout pluvial s'y jetant

II- ETUDES TOPOGRAPHIQUES

2-1- Généralités :

Le levé topographique est l'un des moyens permettant d'acquérir (Captage et saisie de données du territoire), de manipuler, de gérer et de stocker les diverses données reliées au territoire.

Le résultat d'une telle opération est l'établissement de carte topographique (ou plan), qui est une représentation sur un plan et à une échelle déterminée des formes et des détails du terrain.

On y distingue l'altimétrie et la planimétrie.

En définitive donc, l'ensemble des opérations qui permettent de réaliser la représentation du terrain (modèle physique) s'appelle "Levé du terrain".

2-2- Schéma des opérations de levé:

Il est constitué de trois phases:

2-2-1- La documentation

On met à contribution tout document pouvant donner de l'information reliée au territoire à lever:

- Information chez les autorités administratives, religieuse et coutumière. C'est ainsi que nous avons consulté les documents (Plan du domaine) laissés par une société privée. L'échelle indiquée sur ce dernier du 1/20, ce qui est contredit par les vérifications sur le terrain. Aussi en avons nous conclu la nécessité de faire des

levés de détails du domaine.

- Informations sur les infrastructures géodésiques, topographiques et cartographiques. Dans ce cadre, nous avons consulté le service du cadastre de Thiès pour avoir la localisation des points connus concernant la zone à l'étude (T.153), et pouvoir ainsi rattacher, une fois pour toute, le domaine levé au système de coordonnées national. Aux résultats de cette enquête, mettons l'obtention de quatre points d'appuis (ce sont les points 10, 11, 12 et 13) en coordonnées plane (x,y) et d'un point d'altitude connue (Voir schéma de situation de ces différents points , page suivante).

Sur la base de ces prérequis, nous avons abordé l'étape de la planification des travaux.

2-2-2- Planification des travaux

Dépendamment des dimensions du territoire à représenter et du format de la feuille papier à imprimer, l'échelle de la carte topographique est adoptée.

Ce choix est également fonction des trois facteurs suivants:

a°)- Erreur graphique: C'est celle-là que l'on commet matériellement, lorsque, voulant placer la pointe d'un instrument de dessin ou de tracé en un point donné, on la place en réalité légèrement à côté.

Dans les meilleures conditions, pour un dessinateur confirmé utilisant un instrument bien appointé ou affûté, cette erreur peut être estimée à 1/10 mm .

Compte tenu des opérations de reproduction ou d'impression,

l'erreur moyenne sur l'épreuve imprimée peut être évaluée à 2/10 mm [2].

Néanmoins, on peut d'abord estimer l'erreur graphique maximale entre 0.5 et 1 mm, puis déterminer l'échelle minimale permettant de ne pas dépasser la tolérance : T_e .

Ainsi, tient la relation suivante pour l'échelle minimale E :

$$1 \text{ mm} * E \leq T_e$$

b°)- La précision des levés : Elle dépend de la même erreur graphique qui en levé direct, affecte le piquetage des points de base et le report graphique des mesures elles-mêmes erronées. Noter qu'une représentation fidèle des détails à leurs dimensions réelles réduites à l'échelle, c'est à dire sans déformation parasite due aux signes conventionnels, n'est possible qu'aux échelles supérieures à 1/5000 .

Pour les dimensions réduites de notre terrain, nous ne pouvons travailler qu'à une grande échelle; ce qui garantit la conformité à la réalité de notre représentation.

Par ailleurs, nous ne pouvons continuer le développement sans nous attarder sur les nouvelles approches pour spécifier la précision des documents. Il s'agit de l'approche probabiliste qui est de plus en plus utilisée dans les travaux de très grande précision. Elle s'énonce comme suit :

- **Pour la planimétrie:** Il ne faut pas que plus de 10% des points vérifiés présentent une erreur de plus de 0.5 mm sur la carte.

- **Pour l'altimétrie:** Pas plus de 10% des points vérifiés ne doivent avoir une erreur de plus de la moitié de l'équidistance des courbes de niveau. Les points cotés doivent avoir une erreur inférieure à 1/4 de l'équidistance.

c°)- Le développement économique de la région à cartographier: Le nombre et la densité des détails à représenter, qui sont fonction du développement économique de la région traitée, interviennent directement sur le choix de l'échelle. Il existe une densité optimale de graphisme telle que la surface de papier n'est ni claire ni efficace si celle-ci est dépassée, et telle que la surface de papier est mal utilisée si la densité est trop faible.

Le tableau suivant (Tableau 1) nous donne la densité optimale requise en fonction de l'échelle en cas du nivellement.

TABLEAU 1 : Densité optimale requise en fonction de l'échelle

Echelle	Densité/ha		
	Plan(cm)	Terrain(m)	densité/ha
1/10000	1	100	1
1/5000	1.5	75	2
1/1000	2	20	25
1/500	3	15	45

2-2-3- Choix de l'échelle

Supposons que le papier à utiliser soit de format A4 : dimensions : 297*210 mm . Par ailleurs, en observant le plan du

séminaire, on peut accepter que la plus grande dimension à représenter est de 200 m de côté. Ainsi, avec uniquement ces deux données de départ, on pourra adopter une échelle minimale E telle que: 200 m sur le terrain correspondent à 200 mm sur le papier, soit $E=200/200 \cdot 10^3 = 1/1000$.

En attendant d'aller plus loin dans le sujet, nous apportons la précision ci-après quant à la terminologie:

- On parle de carte lorsque l'échelle est de 1/10000 et moins;
- On parlera de plan dans le cas contraire.

Aussi avec une échelle de 1/1000, une grande échelle, le résultat sur papier de nos levés sera un plan.

2-3°) Le cheminement de la polygonale de base

2-3-1°)- Description du canevas de détail

Nous avons repéré deux points connus du registre planimétrique de la ville de Thiès : les points 11 et 12 de la zone T.153 (figure 2). Cette immatriculation des points ainsi nommés est celle recueillie au service du cadastre de Thiès.

Le cheminement adopté part du point 12, avec une visée sur le point 11, et parcourt successivement les sommets P1, P2, P3, P4, P5 et P6 qui sont des nouveaux points immatriculés par nous-mêmes, et la dernière station se porte sur le point 11 pour lancer en dernier le point 11 d'où le point 12 sera visé. Nous obtenons ainsi, en faisant d'une pierre deux coups, une polygonale à la fois rattachée et fermée.

Pour de plus amples détails sur ces points, se référer aux croquis de l'annexe N°1 qui donne des détails sur le repérage de

tous les points planimétriques du cheminement.

2-3-2°)- Mode opératoire

Nous stationnons en premier sur le point 12, pointons l'autre point connu et ensuite le point P1, premier sommet de la polygonale, est pointé. Les visées sont faites successivement en cercle à gauche(C.G) puis en cercle à droite(C.D), et dans chaque position du cercle, une lecture d'angle horizontal et/ou vertical est effectuée. De cette façon, on élimine les erreurs de collimation horizontale, de tourillonnement et d'excentricité de l'axe principal. Une moyenne de ces deux lectures nous donne l'angle effectif à utiliser pour les prochains calculs.

Etant donné que seulement deux points planimétriques ont été retrouvés sur le terrain, nous avons fermé la polygonale par la visée sur le point 12. Ainsi, pour les calculs de compensation du cheminement, nous pourrions commencer d'abord par celle de l'écart angulaire avant d'enchaîner avec la fermeture de l'écart linéaire.

2-3-3°)- Considérations sur les Tolérances de fermeture

La composition des erreurs systématiques est dangereuse et peut entraîner un écart de fermeture important; c'est pourquoi tout au long des opérations sur le terrain, nous avons opté pour une conduite rigoureuse dans la manipulation des appareils. Le respect scrupuleux des spécifications du constructeur sur l'entretien et les conditions d'opération était effectif. Ainsi on travaillait

avec le théodolite comme le niveau, les matinées de 8 à 11 h 30mn et l'après midi de 16 h 30 mn à 18 h 30 mn.

2-3-4- Compensation du cheminement

Les écarts de fermeture angulaire et linéaire ne devront pas dépasser les tolérances requises avant d'être répartis, l'ordre étant d'abord angulaire, puis linéaire.

2-3-4-1- Compensation angulaire

σ_a étant l'écart type sur la mesure de chaque angle observé, nous avons $(n-1) = 6$ sommets intermédiaires entre les points 11 et 12, en plus ces points; donc au total 8 points.

Les erreurs accidentelles en tous les sommets se composent pour donner en 11, sur le gisement final, un écart type résultant de :

$\sigma_a \sqrt{(1+n)}$, avec $n=7$ =nombre de côté du cheminement, pour une polygonale fermée.

L'erreur maximale correspondante sera donc

$$T_a = 2.6 * \sigma_a * 2.83 .$$

Pour lire un angle, on effectue une visée sur la référence, puis on vise le sommet suivant, soit deux lectures par angle mesuré en deux répétitions. Pour chaque pointé, l'erreur est de 0.5 centigrade (cg). Donc $\sigma_a = 0.5 * 4 = 2$ cg .

Finalement on obtient $T_a = 2.6 * 2.83 * 2 = 14.71$ cg

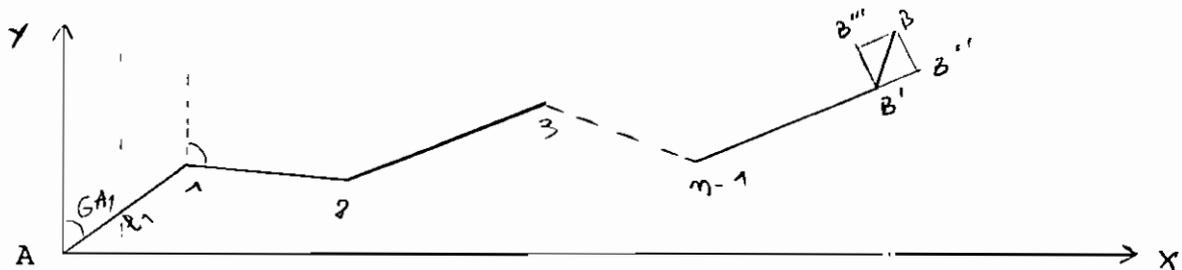
T_a = tolérance angulaire = 14.71 cg

LE MODE DE COMPENSATION:

Nous admettons que les angles du cheminement ont été mesurés avec la même précision à tous les sommets. On répartit également l'écart de fermeture angulaire entre les 8 angles observés; ainsi la correction s'échelonne comme suit suivant les sommets:

sommets	correction du gisement
12	$fa/8$
P1	$2*fa/8$
...
11	fa

2-3-4-2- Ecart de fermeture linéaire du cheminement



Le vecteur BB' , dans le cas de la polygonale ci-dessus constitue l'écart de fermeture linéaire du cheminement.

On considère:

1- Ses coordonnées suivant l'axe des abscisses et des ordonnées:

$$f_x = x_{B'} - x_B = \text{écart de fermeture suivant l'axe } x$$

$$f_y = y_{B'} - y_B = \text{écart de fermeture suivant l'axe } y$$

2- Les composantes dans la direction du cheminement et celle perpendiculaire, celle-ci n'ayant toutefois de sens que pour un

cheminement tendu.

Si on projette le vecteur d'écart BB' sur la direction du cheminement en $B''B'$ et sur la direction perpendiculaire en $B'''B'$, on appelle vecteur d'écart de fermeture longitudinal, le vecteur $f_l = B''B'$, et vecteur d'écart de fermeture transversal, le vecteur $f_t = B'''B'$.

Le vecteur de correction de fermeture est $B'B = -BB'$, correction toujours de signe opposé à l'erreur.

Etudions le vecteur de correction de fermeture linéaire d'un cheminement quelconque en mode goniométrique; ce vecteur BB' est la somme géométrique des erreurs : dli commises sur les longueurs des côtés et des influences planimétriques des erreurs angulaires. Les erreurs sur les longueurs de côtés s'ajoutent vectoriellement sous la forme : $\sum dli$.

Etudions l'influence de l'erreur angulaire: da , sur la position de B, quand on l'applique à un point M quelconque du cheminement.

Supposons que le côté MN subisse une rotation d'angle da et que dans la suite du cheminement il n'y ait pas d'autre erreur angulaire. D'après les propriétés de la rotation, $BB'' = MB * da$, que nous pouvons écrire sous forme vectorielle: $BB'' = -i * MB * da$. On sait en effet que : $i * MB$ désigne un vecteur issu de MB par une rotation de $+\pi/2$ (sens direct des mathématiques). $-i * MB$ désigne un vecteur issu de MB par une rotation de $\pi/2$, dans le sens des gisements, correspondant à celui dans lequel est compté da .

Le déplacement final de B dû aux erreurs accidentelles de

gisement et de mesure de longueurs est donc :

$$BB' = \sum (-i \cdot MB) \cdot da + \sum dli$$

En projetant, cette relation sur les deux axes de coordonnées, on obtient

$$fx = \sum (yB - yM) \cdot da + \sum dli \cdot \sin Gi$$

$$fy = \sum (xB - xM) \cdot da + \sum dli \cdot \cos Gi$$

Si on désigne par α l'écart type sur la mesure des gisements et li , celui sur la mesure du côté du cheminement de rang i , on aura les écarts types de fermeture en x et en y : ex et ey donnés par les relations ci-après:

$$ex = \alpha^2 \cdot \sum (yB - yM)^2 + \sum li^2 \cdot \sin^2 Gi$$

$$ey = \alpha^2 \cdot \sum (xB - xM)^2 + \sum li^2 \cdot \cos^2 Gi$$

L'écart type eb sur la position de B s'obtient donc par

$$eb^2 = \alpha^2 \cdot \sum MB^2 + \sum li^2$$

[Cette formule générale provient de l'ouvrage [7], voir référence]

Toutefois, en prenant la longueur moyenne des côtés, les limites des composantes linéaires de eb sont fixées par les expressions suivantes :

$$ex = Tx = 2.6 \cdot li \cdot \sqrt{N}$$

$$ey = Ty = 2.6 \cdot \alpha \cdot L \cdot \sqrt{P}$$

Ici, α est en radian;

L = longueur moyenne des côtés, en m;

$$P = N/6 \cdot [N+1] \cdot [2 \cdot N+1] .$$

Lorsque la polygonale est fermée, les vecteurs x et y n'étant pas orientables dans une figure fermée, la fermeture en position s'exprimera par la résultante linéaire de ceux-ci :

$$fL = \sqrt{x^2 + y^2} .$$

Nous déduisons de tout ce qui précède les valeurs numériques suivantes :

$$T_x = 2.6 * 0.05 * \sqrt{6} = 0.32 \text{ m}$$

$$T_y = 2.6 * (1 * 1.57 / 10000) * 111.406 * \sqrt{(6/6) * 7 * 13} = 0.4345 \text{ m}$$

$$T_l = \sqrt{0.868^2 + 0.32^2} = 0.534 \text{ m}$$

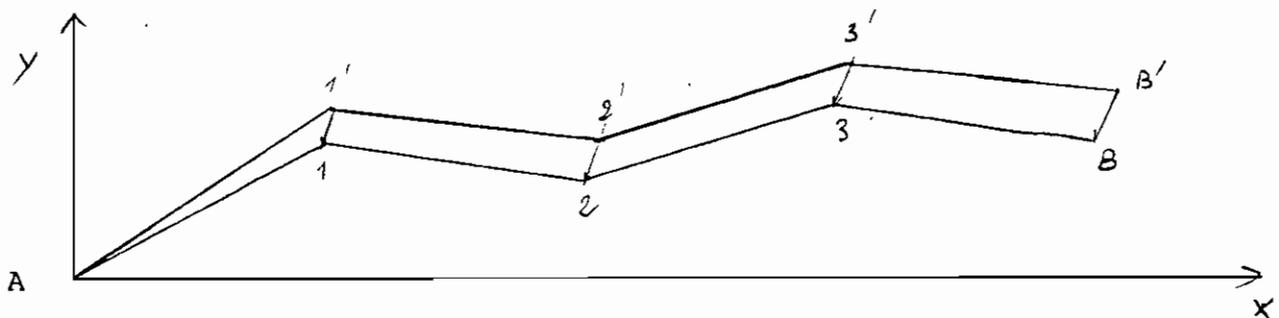
Mode de compensation

Nous choisissons le mode de compensation parallèle proportionnelle. il consiste à déplacer chaque sommet parallèlement à B'B d'une quantité proportionnelle à sa distance au point de départ A.

N étant le nombre de côté, la longueur totale du cheminement est $\sum l_i$; Ainsi, au sommet de rang i, le déplacement se fera suivant la quantité :

$$(B'B / L) * \sum l_i$$

(Voir, sur schéma suivant, la représentation de la situation)



2-4)- Altimétrie

2-4-1- Généralités

Ce travail aura pour résultat la représentation des courbes de niveau ou courbes hypsométrique. Du fait qu'on travaille dans des espaces restreints, de rayon inférieur à 500 m, on pourra considérer la terre comme plane et remplacer les surfaces de niveau par des plans. Sinon il aurait fallu tenir compte de la sphéricité

de la terre.

2-4-2- Equidistance

C'est la différence l'élevation entre deux courbes successives. Dans un levé, l'équidistance doit rester constante pour qu'une même pente soit représentée par un même écartement des courbes.

On a songé adopter pour toutes échelles, une équidistance graphique uniforme du 1/4 mm (quart du millimètre); l'équidistance proprement dite aurait été fonction linéaire de l'échelle et la même pente aurait été représentée à toutes les échelles par le même écartement des courbes.

Notons que les équidistances adoptées suivent à peu près cette loi. Le quart du millimètre donne le tableau suivant : tableau 2.

[7]

TABLEAU 2

Echelle	1/100000	1/40000	1/20000	1/1000	1/500
Equidistance (m)	25	10	5	0.25	0.125

2-4-3- Erreur sur le nivellement de la polygonale

Les erreurs accidentelles qui interviennent sont:

- L'erreur de calage de la nivelle
- L'erreur de lecture sur la mire
- L'erreur accidentelle de réfraction: n'intervient en principe qu'en cas de terrain incliné et dans certaines circonstances: Visée

au dessus d'une étendue d'eau, d'une rivière, etc. Nous l'admettons nulle.

- L'erreur de verticalité de la mire, qui fait le plus souvent défaut.[7]

2-4-4- Description du polygone nivelé

Il est fait par double positionnement; nous avons retenu les points P3, P5, P6, de la polygonale planimétrique et le point RN1, point d'altitude connue (Macaron de la mission catholique Sainte-Anne).

2-5- Organisation du travail de levé sur le terrain

Les instrument n'ont pas été choisis sur un coup de dé; une option est d'abord justifiée avant d'être effectivement arrêtée .

Ainsi pour la précision recherchée sur notre terrain, nous avons utilisé les instruments suivants:

2-5-1- Théodolite Wild T16 Utilisé pour la mesure des angles horizontaux et verticaux, gradué en grade, elle donne une précision de 0.01g pour l'angle.

La lecture de l'angle vertical correspond à un angle zénithal, la première direction étant celle des rayons solaire au midi d'un lieu.

Le théodolite est aussi utilisé pour opérer les levés de détail: Il s'agit du levé tachéométrique qui combine des mesures de direction, de distance et d'altitude. Ces lectures sont faites

en position C.G(position cercle à gauche de la lunette). Pour ces levés tachéométriques, on lit aussi sur la mire les positions inférieures, de milieu et supérieure des fils. Lorsque la visée est inclinée, une lecture de l'inclinaison verticale permettra de réduire la distance à l'horizontale.

La distance entre le point stationné et le point visé est:

$$D = 100 * (A2 - A1) * \sin(Av) ; Av : \text{angle vertical.}$$

Pour avoir la différence de niveau, avec la côte z du fil horizontal du réticule, et la mesure H_{inst} de la hauteur de l'instrument, entre le point au dessus du miroir d'éclairage et le point de station, on utilise l'expression suivante:

$$dH = 100(A2 - A1) * \sin(Av) * \cos(Av) + (H_{inst} - z)$$

2-5-2- La mire

Elle est en bois et graduée en cm. La précision de lecture est de 0.5mm. Elle permet d'avoir en levé tachéométrique le dénivelés et les distances entre points de station et points visés.

Avec une telle précision pour la mire , la précision de la mesure de distance est 0.05m.

2-5-3- Justification du choix de ces instruments

Nous savons que l'échelle convoitée est du 1/1000 . Prenons pour 1 mm, l'erreur graphique maximale à ne pas dépasser. On a donc pour la tolérance correspondant à l'échelle :

$$TE = 1 * 1000 \text{mm} = 1 \text{m.}$$

Or nous avons obtenus la tolérance liée aux instrument choisis : $Tl=0.54m$; $Tl < TE$, donc les instruments choisis conviennent pour l'échelle.

2-5-4- Organisation sur le terrain

Le tableau suivant indique l'agencement optimal pour mener effectivement les travaux.

Tableau 3

Nombre de personnes	titre	Fonction
1	Chef de brigade	Coordonne les activités, croquisseur, place les porte-mires
1	Opérateur	Manipule l'appareil
1	Secrétaire	Tient le carnet de note, inscrit les mesures faites par l'opérateur
2	Aides	porteurs de mires

2-5-5- Le carnet de note

On y inscrit les numéros des points stationnés, ainsi que la hauteur de l'instrument, les trois lectures sur mire puis les deux angles horizontal et vertical.

2-5-6- Explication sur l'immatriculation des points de détail levés dans le domaine :

Nous avons lancé trois points d'appui intermédiaires en partant du point P3. Ce sont les points P'3, P''3 et P'''3.

P'3 est obtenu par rayonnement, en visant la direction P3-P1 d'une part et en s'orientant sur P'3 d'autre part.

Pour P"3 comme P'''3, la station est faite sur P'3 et la direction initiale est P'3-P3; ces deux points sont ensuite visés.

2-5-6-1°) Levé du canal

Sa forme est trapézoïdale, mais le talus est en général assez faible pour qu'on la confonde à un rectangle. Aussi, nous avons levé à chaque fois trois points: un sur le bord sud (C.S.i , i indique le numéro du point), un au milieu (C.M.i) et le dernier sur la bordure nord(C.N.i).

Le canal a été levé juste dans la limite du domaine. Il faut reconnaître qu'il continu jusqu'à son point de concours avec le canal d'égout de Diakhao et le pont de Mont-Rolland.

2-5-6-2- La clôture, les bâtiments et les points du relief:

Il y a deux Bâtiments principaux que nous avons relevé.

Le premier dont les points sont immatriculés Bat1.i, i le numéros du point. Le second dont les point sont appelés par Bat2.i

Les limites des murs sont levés sous l'appellation M.i.

Quant aux points de détail devant refléter le relief , nous avons retenu l'appellation D.i .

2-6- Présentation des calcul et résultats

2-6-1- Calcul du gisement de la direction 12-11

Les coordonnées de ces points :12 , 11 sont :

12 (110045.97 , 57642.46)

11 (109836.79 , 57618.13)

$$\delta x = -209.18$$

$$\delta y = -24.33$$

On peut représenter la situation de ces deux points dans un système de coordonnées rectangulaire :

$$\text{Ainsi } \tan(G_{12-11}) = \delta x / \delta y = 8.5976$$

On en déduit que : $G = 292.628$ grade

La distance entre ces deux points 11 et 12 est

$$D_{11-12} = \sqrt{(\delta x^2 + \delta y^2)} = 210.59 \text{ m}$$

2-6-2- Coordonnées des points de levé tachéométrique

Le calcul des paramètres : X_p , Y_p et Z_p d'un point rayonné à partir d'une station O de coordonnées : X_o , Y_o et Z_o se fait par l'expression suivante:

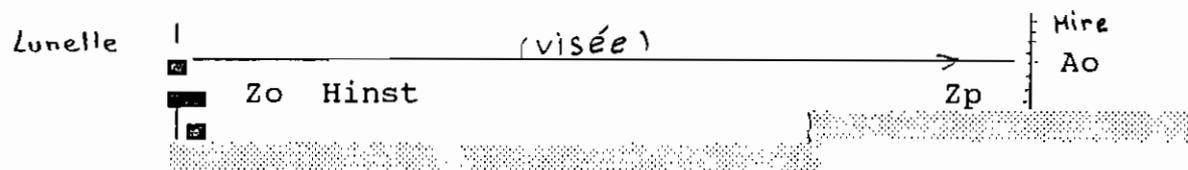
$$X_p = X_o + D \cdot \sin(G_{op}) ;$$

$$Y_p = Y_o + D \cdot \cos(G_{op}) ;$$

$$Z_p = Z_o - D \cdot \cotan(A_v) + (H_{inst} - A_o)$$

Où D est la distance entre les points P et O ;

G_{op} est le gisement de la direction OP .



(VOIR TABLEAU DE CALCUL , ANNEXE 2)

2-6-3 Report des points

Voir la figure 4 à la page suivante.

2-7 - Le bassin versant

Le bassin versant est l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique. Sa superficie est délimitée par la ligne de partage des eaux , qui relie tous les points hauts. LE bassin versant est un des très petits sous-bassin du bassin de FAndène qui constitue un grand réservoir de réception des eaux de la région de Thiès.

Le tracé est indiqué sur la figure 5.

Sa superficie est évaluée à 0.03 km² pour un périmètre de 0.73 km, n'incluant que l'intérieur du séminaire.

2-7 -1 - Caractéristiques physiques du bassin versant

Parmi les caractéristiques considérés pour un bassin versant, on note:

a°)- Indice de compacité

C'est un facteur qui définit la forme du bassin versant. L'hydrogramme à l'exutoire varie en fonction de cette forme. Plusieurs auteurs ont défini différents indices de compacité.

i°)- Indice de Horton(1932)

Il définit l'indice de forme du bassin versant par le rapport de la largeur moyenne du bassin à la longueur du cours d'eau principal (Ici, le ravin).

$$ICH = Aire / L^2$$

Aire: Superficie du bassin versant en Km²

L: Longueur du cours d'eau principal, en Km

$$\text{Pour notre cas, } ICH = 0.03 / 0.255^2 = 0.012$$

ii°)- Indice de Gravelius(1914)

Il compare le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Le coefficient de Gravelius est égal au rapport de ces deux grandeurs:

$$ICG = P / 2 * (\pi * Aire)^{1/2}$$

$$\text{Ici, } ICG = 0.28 * 0.73 / (\sqrt{0.03}) = 1.18$$

iii°)- Indice de Miller

Il compare l'aire du bassin à celui d'un cercle qui aurait le même périmètre que lui.

$$ICM = Aire / Aire_{\text{du cercle de même périmètre}}$$

$$ICM = Aire / [(P/2 * \pi)^2 * \pi] = 0.03 / 0.04024 = 0.707$$

Les indices de compacité de Gravelius et de Miller sont ceux qui caractérisent au mieux la forme du bassin. L'interprétation des résultats montre que la forme du bassin s'approche plus d'un rectangle.

b°)- Rapport de relief

C'est un facteur proposé par Schumm(1958) pour caractériser la

topographie du bassin versant. C'est le quotient du relief total du bassin sur la longueur maximale mesurée dans le sens de l'écoulement.

$$RR=RB/LB$$

RR: Rapport de relief ;

RB: Relief total du bassin versant, en m

LB: Longueur maximale du bassin versant, en m .

La longueur maximale du bassin est évaluée en mesurant la distance entre l'exutoire et le point le plus éloigné. Le calcul du relief total s'effectue en relevant 7 altitudes prises sur le contour du bassin. On sépare d'abord le bassin en deux parties, en traçant pour se faire une perpendiculaire qui divise la ligne LB en deux segments à l'endroit où le bassin a sa largeur maximale. Chacune des deux parties du bassin est ensuite séparée en deux surfaces en traçant deux perpendiculaires à la ligne LB qui divise en deux longueurs égales les segments précédemment obtenus. On calcul la moyenne des 7 altitudes obtenues aux points de rencontre des perpendiculaires avec le contour du bassin, en plus de celle du point le plus éloigné.

Le relief total du bassin versant: RB est obtenu en soustrayant de la longueur obtenue l'élevation prise à l'exutoire.

Nous ne le déterminons pas, car il nous est d'aucune utilité.

c°) - La pente moyenne du bassin versant

C'est aussi un paramètre qui indique le temps de parcours du ruissellement direct et est directement reliée à l'amplitude des crues.

$$PMB = D * \delta L / Aire$$

PMB: en m/Km, pente moyenne du bassin ;

D: Dénivellation, en m

L: longueur des courbes de niveau, en Km .

Ici , PMb =

La valeur de cette pente qui est loin d'être faible indique que l'eau n'a pas le temps de s'infiltrer dans le sol.

d°) - Rectangle équivalent

Un rectangle équivalent est une transformation géométrique du bassin versant dans laquelle le contour devient un rectangle de même périmètre , les courbe de niveau, des droites parallèle au petit côté et à l'exutoire sur un des côtés du rectangle.

Ainsi , on a :

$$Le = (ICG * Aire^{1/2}) * (1 + (1 - 1.2/ICG)^{1/2})$$

$$le = P/2 - Le$$

Le : Longueur du rectangle équivalent

le : Largeur du rectangle équivalent

Les calculs nous donnent :

$$Le = 0.205 \text{ Km} \quad le = 0.16 \text{ km}$$

2-7-2 - Caractéristique du réseau hydrographique

Ce sont principalement la densité de drainage et le rapport de confluence, et la pente moyenne du ravin.

a°) - Densité de drainage

La densité de drainage représente la longueur totale des cours d'eau par unité de surface du bassin versant : c'est un facteur qui dépend surtout de la géologie et des caractéristiques topographiques du bassin versant.

$DD = EL/Aire$

DD: Km/Km

EL : Longueur totale du cours d'eau;

Aire: superficie du bassin versant.

Nous avons ici $DD = 0.73/0.03 = 24.33 \text{ km/km}^2$

Une densité de drainage faible signifie une présence d'un matériau perméable qui favorise une infiltration intense. Autrement cette valeur fort élevée nous indique qu'il y a une très faible infiltration, ce qui est confirmé sur les terrains avec le matériau latéritique consolidé qui constitue le canal.

b°)- Profil en long du talweg du canal

Cette représentation graphique simule l'évolution de la pente du canal en fonction de la longueur (distance par rapport à l'exutoire). Ici, nous mettons en abscisse les distances, et en ordonnée l'altitude des fonds de sections(voir sur le plan du domaine, les sections choisies).

La finalité de cette étape est l'obtention d'une pente représentative S du canal pour le calcul du débit de contribution du bassin versant.

Ce profil est visible sur la figure qui étaye bien le choix d'échelle.

Par le tableau suivant, nous récapitulons les valeurs qui sont

portée sur la courbe.

Tableau 4 :

Distance par rapport à l'exutoire en fonction de l'altitude.

Section	distance(m)	Altitude	Pente(%)	distance relative(m)
Exutoire	0	68.35	6.77	6.5
1	6.5	68.79	1.02	20.5
2	27	69	2	9
3	36	69.16	-0.5	25
4	61	69.04	1.8	9
5	70	69.2	1	16
6	86	69.67	0.3	18
7	104	69.72	-9.41	34
8	138	66.52	2.03	35
9	173	67.23	1.27	15
10	188	67.42		
11	232	68.1	1.545	44
longueur totale = 255 m ; la pente moyenne obtenu est 1.285% = 1.3%				

La pente négative maximale observée (-9.41%) correspond à 14.6% de la longueur totale du canal. On peut donc admettre son effet comme ralentisseur de l'écoulement. Aussi pour atteindre une valeur optimale de la pente, nous allons l'ignorer. Cela une pure

mesure prise par jugement. Ainsi la pente moyenne que nous allons évaluer avec les autres valeurs du tableau est donnée par la formule suivante : $S = \Sigma s_i \cdot L_i / (\Sigma L_i)$.

L_i : distance sur laquelle s'étend la dite pente.

On obtient $S = 1.285\% \approx 1.3\%$.

c°)- Caractéristique du canal à l'exutoire(Aval)

C'est la section considérée pour calculer la vitesse à l'exutoire. La section du canal est globalement considérée (fruit de l'observation) trapézoïdale; l'angle du talus s'échelonne entre 30 et 40° soit une moyenne de 70% pour le talus.

La section au niveau de l'exutoire a les dimension suivantes:

- Largeur de la grande base = 4 m
- Hauteur moyenne $\approx 1.2\text{m} = [69.57+69.53-2 \cdot 68.35]/2$
- L'aire de la section sera donc A_e :

Le talus étant de 70% ,

$A_e = \frac{4 \cdot (1.2 + 1.2 \cdot 1.7)}{2} = 3.72 \text{ m}^2$ section du canal à l'exutoire

III-ETUDES HYDROLOGIQUES

La finalité d'une telle étude est l'estimation du débit traversant le ravin, à l'exutoire naturel du bassin étudié (Voir la représentation du bassin versant). Nous avons deux contributions au débit total: le ruissellement dans le bassin versant et l'apport des eaux confluées par le réseau d'égout vers le pont de Montrolland.

Pour les paramètres hydrologiques intervenant dans les diverses évaluations, nous nous sommes inspirés des résultats déjà disponibles par l'étude faite par le groupe d'Ingénieurs en Génie Civil : Bernard Djagoun et Valéry Mévo. Il ont élaboré une expression pour évaluer l'intensité des pluies d'une fréquence donnée, après une étude statistique.

3-1°)- Estimation du débit traversant l'exutoire du bassin

3-1-1°)- Débit à la confluence, amont du ravin

Présentation de l'influence du réseau d'égout pluvial

Le réseau d'évacuation des eaux pluviales de la ville de Thiès est constitué d'un canal principal, de quelques collecteurs et antenne. C'est l'héritage de la période coloniale, et il a été construit pour l'horizon 2000 sur étude de ITALCONSULT. Les éléments du réseau sont matérialisés sur le plan RG1 (figure 1). [3]

Le canal principal, EP, à ciel ouvert, en terre, est situé à l'intérieur du développement urbain prévu pour l'an 2000. Il part du village peul, derrière l'EPT, traverse le camp militaire et passe derrière le quartier Diakhao pour aboutir à la sortie de

Thiès, sur la route de Tivaouane. Il permet l'écoulement des eaux venant des villages voisins. Il a une section trapézoïdale, de largeur à la base variant entre 1 et 8 m , de hauteur en tronçon final de 2.6m , et s'étend sur environ 10 Km. La pente du talus est 34° et celle du thalweg varie entre 0.2 et 1.2.% .

Le collecteur EP1 traverse le quartier Diakhao et la mission Catholique dont une partie se trouve à l'intérieur de la ville et l'autre à l'extérieur. Le tronçon se trouvant à l'intérieur , en béton, s'étend sur 280 m . Il est couvert , de section rectangulaire, de hauteur 1.7m , et de base 2.4m . La pente du talweg varie entre 0.3 et 0.4 % . Le tronçon se trouvant à l'intérieur, en terre, à ciel ouvert, s'étend sur environ 1390m . Sa section est trapézoïdale, de hauteur 1.6m, de largeur à la base 3 m.

La pente du talus est de 45° , et celle du talweg de 0.1% . Dans ce collecteur, se jette les antenne suivantes:

■ EP1.4 : qui longe le dispensaire et traverse le quartier Escale. Elle est de section carré, de côté 1.5m et s'étend sur environ 1150m . La pente du talweg varie entre 0.06 et 0.445% .

■ EP1.5 et EP1.5.1: traversent Diakhao, de section trapézoïdale de hauteur 1.37 m , de largeur à la base 1.15 m et de longueur 1135m. La pente de talus varie de 0.07% à 1.9% .

■ EP1.6: traverse la cité SMDR et HLM route de Dakar, de section trapézoïdale de hauteur 1 m, de largeur à la base 1.5m et de largeur au sommet 2.80 m . Elle s'étend sur 600m. La pente varie entre 0.229% et 1.5% .

Ce sont ces trois antennes qui convergent vers le point de confluence, en dessous du pont de Mont-rolland, avant que ne ruissellement à l'intérieur du Séminaire qui en lui - même constitue un bassin versant.

Dans leurs études, ils ont établi le débit ruisselé par chacune des antennes que nous considérons plus haut. L'intensité de la pluie , pour les grandes crues de période de retour 5 ans a été retenue. Pour une telle période, la fonction suivante a été établie et utilisée pour calculée l'intensité : $i = 3300/(t+11)$.

Le tableau suivant résume les valeurs trouvées pour le débit dans les antennes.

Tableau 5

Antenne	Q: débit ruisselé (m ³ /s)
EP1.6	13.61
EP1.5	1.57
EP1.4	6.49
Point de confluence	21.67

Au point de confluence avec EP1, qui passe par la mission, nous pouvons accepter que le débit , celui passant en dessous du pont de Mont-rolland est la somme des trois contributions provenant des antennes; ce qui suppose que nous avons négligé les infiltrations. Donc le débit à l'amont du canal est $Q = 21.67 \text{ m}^3/\text{s}$.

3-1-2°)- Estimation du débit ruisselé par le bassin versant

En général, suivant qu'on a à disposition des données hydrométriques, trois situations peuvent se présenter :

■ Cas où il existe suffisamment de données: Le paramètre étudié est considéré comme une variable aléatoire à laquelle on fait subir un

traitement statistique.

■ Cas où il n'existe pas suffisamment de données: On tentera d'augmenter la taille de l'échantillon par corrélation avec une série de données voisines où autre technique afin de nous ramener au cas précédent.

■ Lorsqu'il n'existe presque pas de données: On est obligé de se tourner vers des méthodes d'estimation à base empirique (Cela est valable pour des bassin de superficie supérieur à 250 km²).

Dans le cas qui nous préoccupe, nous nous inspirons des corrélations tirées sur étude statistique d'échantillon par les ingénieurs Djagoun et Mévo dans le cadre de leur projet de fin d'étude [3] .

Nous utilisons donc la méthode rationnelle d'estimation de débit .

La méthode rationnelle permet d'évaluer le débit de pointe, ou débit maximal de l'hydrogramme de ruissellement. Elle consiste à établir la continuité de l'écoulement entre deux sections , la première étant une surface horizontale recevant de la précipitation et la seconde, l'exutoire du bassin où tout le ruissellement se concentre. Les hypothèses nécessaires à cette continuité ne peuvent s'appliquée que pour des bassin de faible étendue, ce qui caractérise le notre .

On admet que la précipitation est d'intensité constante dans le et sur tout bassin versant et que sa durée excède le temps requis pour que la première goutte d'eau la plus éloignée hydrauliquement ruisselle jusqu'à l'exutoire(Appelé temps de concentration). On a établit la relation entre le débit de

ruissellement et l'intensité de la pluie , toutes les considérations sur les conditions réelles incluses.

Le débit est donné par : $Q = 2.75 \cdot 10^{-3} \cdot C \cdot A \cdot I$ (m³/s)

3-1-2-1°)- Récapitulation des paramètres

a°) temps de concentration: Tc

Tc= Tf +Te , où te est le temps d'entrée et Tf durée d'un écoulement sur la longueur du canal.

Pour calculer Te nous préférons la formule Américaine de la

$$Te = 0.702 \cdot (1.1 - C) \cdot \sqrt{L/s^{0.33}}$$

$$Tf = Lc / (V \cdot 60)$$

s : la pente de la plus longue distance parcourue par une goutte d'eau ruisselée;

L: la longueur maximale parcourue par une goutte d'eau.

b°) A est la surface drainée en hectare (ha)

c°) C est le coefficient de ruissellement;

■ Estimation de C :

$$C = 1 - (C1 + C2 + C3);$$

où : C1: coefficient dû à la topographie;

C2: coefficient dû à la nature du sol;

C3: coefficient dû au couvert végétal.

Nous prenons : C1=0.15; C2=0.15 et C3=0.2.

Ainsi , C = 0.5

d°) I :intensité de précipitation(mm/h)

Calcul de I:

La période de retour gardée pour la détermination de l'intensité des pluies est de 5 ans, puisque les difficultés rencontrées au niveau du séminaire récidivent tous les ans.

rencontrées au niveau du séminaire récidivent tous les ans.

Celle-ci correspond à celle choisie pour vérifier le débit dans le réseau d'égout de Thiès. Il est aussi raisonnable de nous conformer à une telle période de retour si nous voulons utiliser la valeur préalablement établie du débit à l'amont.

Nous rappelons que : $I = 3300 / (t + 11)$;

Or $T = 0.702 * (1.1 - 0.5) * \sqrt{255} / [1.3\%]^{0.33} = 28.2$ ans

$I = 3300 / (28.2 + 11) = 84.2$ mm/h

Le débit ruisselé par le bassin versant

$Q = 2.75 * 10^{-3} * 3 * 0.5 * 84.2 = 0.347 \text{ m}^3/\text{s}$

1-3 °) Le débit total ruisselé par le bassin versant

$Q_t = 21.67 + 0.347 \approx 22 \text{ m}^3/\text{s}$

On admet bien un tel débit en minimisant les infiltrations subies par le ruissellement d'entrée jusqu'à son accès à l'exutoire.

Ainsi nous pouvons estimer la vitesse de l'écoulement à l'exutoire , si on suppose la section pleine :

$V = Q_t / A$;

$Q_t = 22 \text{ m}^3/\text{s}$ et $A_e = 3.792 \text{ m}^2$;

donc $V = 5.80 \text{ m/s}$

Cette vitesse est excessive, et on en comprend pourquoi des destructions de structure, en l'occurrence le mur de clôture avec son ossature poutres et colonnes , intervenaient après chaque hivernage.

IV- ANALYSE DES CONSEQUENCES DE LA VITESSE OBSERVEE POUR LE RUISSELLEMENT

4-1-°)- Analyses

Pour un canal, le chemin exact suivi est lié aux pentes du terrain. Une pente excessive conduirait à une vitesse élevée pouvant entraîner l'érosion du canal, tant sur les côtés que du fond. La vitesse limite pour un début d'arrachement des sédiments dépend de la forme de la section du canal et du type de matériau dont il est constitué.

Les sols à grains fins sont le plus souvent arrachés à des vitesses d'écoulement plus faibles que pour les sols à grains grossiers. Mais un autre facteur influence grandement. En effet la présence de matériau ciment dans le sol accroît considérablement sa résistance à l'arrachement de grain par frottement. De même le lit du canal tend toujours à se consolider avec le temps et offre ainsi une résistance plus importante à l'érosion. Néanmoins, les eaux chargées de matériaux abrasifs érodent plus facilement , avec efficacité, les sols cohérents ou consolidés.

Dans notre cas, plus on s'approche de l'aval du canal, plus la présence de sédiments de matériaux grossiers est prononcée. De même on remarque que le lit du canal et ses bordures sont en matériau consolidé et cohérent; cette caractéristique devient plus effective lorsqu'on remonte vers l'aval.

Le tableau 7 suivant nous donne une relation vitesse limite d'érosion, nature du sol du canal:

TABLEAU 6 [4]

Sol du canal	Vitesse (m/sec) limite	
	eau claire	eau chargée en matériau abrasif
Sable fin	0.45	0.45
Limon	0.60	0.60
Gravier fin	0.75	1.0
Argile raide	1.2	0.9
Ardoise	1.8	1.5
Gravier grossier	1.2	1.8
Béton	12.0	3.6

Le canal est en terre sur toute sa longueur, et sa section transversale varie suivant la position, allant de la section presque rectangulaire à une section trapézoïdale ou parfois ovale.

Cette forme a été acquise avec l'usure dans le temps.

Comme nous cherchons à réduire la vitesse de l'écoulement, il nous est utile de savoir la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, vers la nappe phréatique. Cette nappe phréatique se trouve à une profondeur de 17m en temps de sécheresse (Résultat du forage effectué sur le terrain, non loin du canal, près de la section 8).

Le tableau 8 suivant donne la vitesse d'infiltration dans le sol suivant sa nature.

TABLEAU 7 [4]

Matériau	Plage de la vitesse d'infiltration(m/j)
Argile riche-fertile	0.075 - 0.225
Sable fertile	0.30 - 0.45
sol sablonneux	0.45 - 0.6
Sol graveleux	0.9 - 1.8

L'infiltration considérée se fait dans le lit du canal. Nous allons nous situer entre les deux premières nature de sol, et choisir ainsi la vitesse d'infiltration de 0.225m/j . Mais nous précisons que la position de la nappe phréatique et la nature du sol influencent la vitesse d'infiltration.

Même si on en tenait compte dans l'évaluation du débit à l'exutoire, ce qui donne pour débit infiltré sur toute la longueur du canal : $Q_{inf} = (0.225 \cdot 730 \cdot 2.5) / 86400 = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$, l'infiltration a un effet très négligeable sur la vitesse observée à l'exutoire et sur le débit de design .

4-2°)- Objectifs à atteindre

A ce niveau de nos études, la première question à éluder est la difficulté qui résulte d'une vitesse assez grande de ruissellement dans le canal , se qui se ressentir à l'exutoire. Il s'agira donc de réduire cette vitesse à une valeur acceptable, qui cadre avec la nature du sol et tienne compte de la charge en matière solide de l'eau ruisselé.

C'est du moins dans cet esprit que nous abordons le prochain chapitre.

V - AMENAGEMENTS PROPOSES

Nos réflexions, nos concertations avec les responsables du Séminaire ont été paufinées après une discussion avec le directeur de projet.

Finalement notre choix s'est porté sur deux options dont la seconde complète la première et donne un caractère utilitaire, économiquement, au projet et à l'investissement qui résultera de son choix.

5-1- Première solution: Elargir la section du canal

5-1-1- Présentation de la solution

C'est la première solution qui s'impose à première vue. Il s'agira de transformer la section du canal en l'adaptant pour la vitesse limite fixée.

Nous avons précédemment relié la vitesse maximale permise à la nature du matériau du canal (fond et flanc compris). Pour la nature du matériau, remarquons qu'il s'agit d'un sol latéritique consolidé. On peut l'approcher de l'argile - gravier fin ; et la vitesse limite sera prise à 0.95 m/s .

Pour un débit constant , la section qui convient est :

$$A = \text{section du canal} = Q/V = 22/0.95 = 23.16 \text{ m}^2 .$$

Si nous optons pour une section trapézoïdale de profondeur limitée à 3 m , la largeur de la grande base sera de $(23.16/3 + 3) = 10.72\text{m}$, pour un talus de 100% . De telles largeur et profondeur semblent considérables, car elles nécessitent un travail

d'excavation assez important.

Nous allons alors préférer la solution qui permet une vitesse limite plus élevée, réduisant, ce faisant, la section dans sa globalité.

Le choix de limiter la section est sécuritaire car c'est un domaine fréquenté, et le risque ne peut être évité s'il n'est pas prévenu; Aussi le prévoyons nous. Nous proposons ici d'utiliser pour recouvrir le long de la section et même les flancs du gravier grossier. Ce faisant, la vitesse limite sera portée à 1.2m/s. Il en résultera une section de $A = 22.0/1.8 = 12.23 \text{ m}^2$.

On choisira une section trapézoïdale, de talus 100%.

Le tableau suivant donne pour différentes profondeurs, la largeur de la grande base.

$$B = \text{largeur de la grande base} = (12.23/P) + P$$

Profondeur(m)	grande base(m)
1	13.23
1.5	9.65
2	8.12
2.5	7.40

Nous allons donc garder une section constante pour tout le canal :

Section : Trapézoïdale

Grande base = 8.12 m

Profondeur = 2 m

Talus = 100% .

Le fond sera couverture par du gravier grossier.

5-1-2- Estimation du volume d'excavation

Pour avoir la profondeur moyenne du canal, nous ajoutons à sa profondeur à l'exutoire une valeur approximative de 30% , fruit de l'observation. La largeur de la grande base est évaluée à 5m, et le talus moyen maintenu à 70% . Ainsi, la profondeur moyenne sera:

$p = 1.2 + 0.3 * 1.2 = 1.56m$, et la section moyenne s'en déduit :

$$A = 1/2 * [5 + (5 - 2 * 1.56 * 0.70)] * 1.56 = 6.1m.$$

Le volume à excaver, V_{exc} s'obtient par la formule suivante:

$$V_{exc} = L * (Ad - Aa) ;$$

L : longueur du canal ,

Ad : section moyenne de design ,

Aa : section moyenne actuelle .

Pour le cas de figure N°1, ce volume sera :

$$V_{exc} = 255 * (23.16 - 6.1) = 4350.3m^3 .$$

Pour le second cas de figure, se volume est :

$$V_{exc} = 255 * (12.23 - 6.1) = 1563.15m^3 .$$

5-1-3- Comparaison des coûts des deux situations

En faisant le rapport des coûts d'excavation pour les deux cas ce figures, on remarquera que l'excavation pour la première situation coûtera 2.8 fois plus cher. Ce surplus pourra être alloué à l'acquisition de gravier grossier, afin de protéger la section du canal et de rendre possible la vitesse de 1.8m/s prévue. Même si le

coût de l'acquisition et de la mise en oeuvre dépasse 2.8 fois le coût de l'excavation pour le second cas, l'aspect sécuritaire nous porte vers cette solution.

5-2- Deuxième solution: Conception d'un barrage

5-2-1- Présentation de la solution

Mettre un petit barrage et garder l'excavation correspondant au premier cas de figure de la première solution, voilà ce en quoi consiste notre deuxième solution.

La cote de la crête du barrage sera celle du fond du canal à l'amont qui sera maintenu en dépit des excavations; soit 68.1m . Ainsi, une réserve artificielle sera observée à l'intérieur du domaine. Le barrage sera donc un déversoir qui en situation de trop plein évacuera l'eau par déversement.

Le déversoir sera mis à la section (8) indiquée sur la figure bien avant le pont qui passera au dessus du canal et dont le design existe déjà. A cette position, le déversoir qui est perpendiculaire à la section du canal aura une longueur minimale de 10.72m. On peut déduire le débit suivant la hauteur d'eau au dessus du déversoir. A cette position, l'étendue restante sera suffisante pour protéger le sol contre les effets d'érosion rapide et grave pour la survie de l'ouvrage.

Le déversoir que nous proposons sera construit avec le matériau béton.

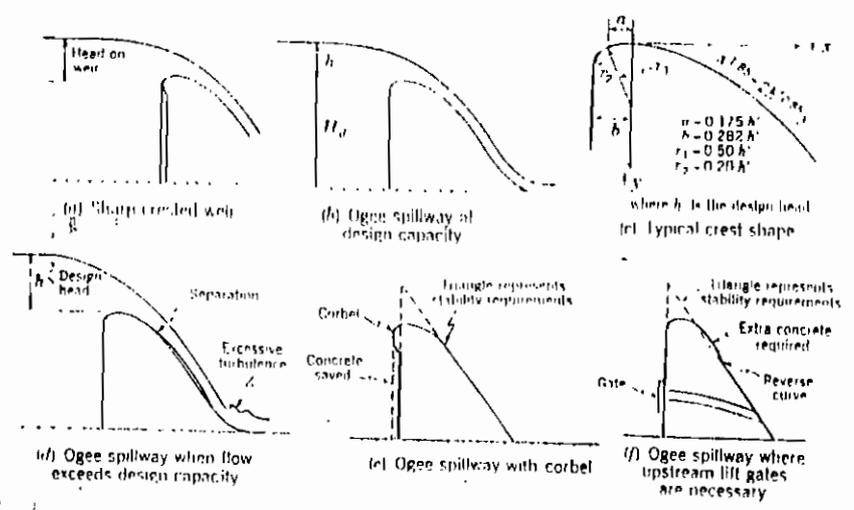


Figure 9-1 Characteristics of an ogee spillway.

18 WATER RESOURCES ENGINEERING

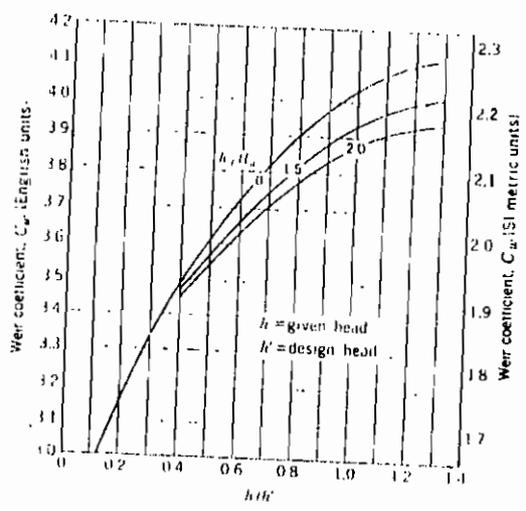
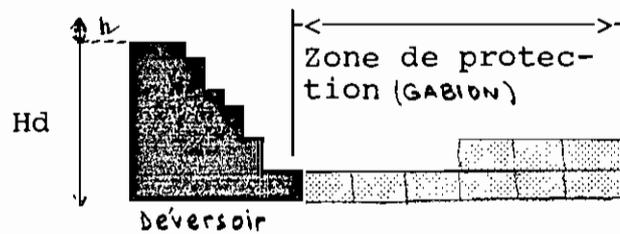


Figure 9-2 Variation of discharge coefficient with head for an ogee spillway crest such as shown in Fig. 9-1c.

Figure 6 : Lecture du coefficient Cw [1]

Nous allons prévoir une zone de protection, qui sera en gabion ou autre matériau pouvant supporter le débit de sortie, à l'aval du déversoir. Le schéma de profil suivant peut résumer toutes nos explications:



On peut estimer le débit suivant la hauteur du barrage et celle de l'eau au dessus du déversoir [****] :

$$Q = C_w * l * (h + V_0^2/2*g)^{3/2}$$

l est la longueur de la crête;

C_w est un coefficient qui varie avec le type de structure et la hauteur de l'eau au dessus de l'ouvrage : h , réellement observée; h' est la hauteur prévue par le design.

La figure 6 suivante (photocopie du livre Water resources and engineering) donne C_w en fonction du rapport h/h' . Nous prenons ce rapport égal à 1, et prenons $h'/Hd \approx 0$; on lit $C_w =$ wier coefficient= coefficient de forme ≈ 4.03 . Nous allons évaluer V_0 en prenant une section rectangulaire, et en maintenant la largeur de 10.72 m précédemment obtenue pour la grande base de la section trapézoïdale. Nous maintenons aussi la profondeur de 3m. Ainsi la surface de la section devient : $A=10.72*3=32.16 \approx 33m^2$; et la vitesse correspondante sera : $V=Q/A = 22/33=0.67m/s$.

Le débit maximal à la sortie du déversoir sera donc

$$Q = 4.03 * l * [h + 0.67^2 / (2 * 9.81)]^{3/2}$$

$l = 11\text{m}$, largeur de design la section ;

En faisant varier h , on obtient les valeurs de Q correspondantes résumées dans le tableau suivant :

$h(\text{m})$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$
0	0.15
0.15	3.19
0.25	6.32
0.3	8.13
0.5	16.8

Même lorsque nous nous limitons au plus improbable des cas, $h = 0.5\text{m}$, nous retrouvons avec un débit d'écoulement assez réduit: $16.8\text{m}^3/\text{s}$; ainsi , pour une vitesse de $V = 1.8$, la section correspondante sera : $A = Q/V = 16.8/1.8 = 9.33\text{ m}^2$. Ainsi , on peut réduire la section à l'aval du déversoir à une section rectangulaire, de profondeur 1.5m , et de largeur 6.22 m .

La longueur du canal entre les section (8) et (12) est : $L_{8-12} = 255 - 138 = 117\text{ m}$. Entre l'exutoire et la section (8) , la longueur du canal est $L = 138\text{m}$. Nous pouvons ainsi calculer le volume de l'excavation à faire :

$$V = 117 * (33 - 6.1) + 138 * (9.33 - 6.1) = 3147.3 + 445.74 = 3593\text{m}^3 .$$

Nous obtenons un volume d'excavation diminué par rapport au premier cas de la première solution, dans un rapport de 82.6% . Ce qui est intéressant, bien que ne compensant pas le coût de la mise sur pied du déversoir.

Notre objectif ici étant de proposer des aménagements, nous allons nous en tenir à ce point pour finalement observer que le dimensionnement du déversoir et sa réalisation constitueront le coût supplémentaire à ajouter au coût de l'excavation.

5-2-2- Analyse et commentaire

Cette dernière solution est la plus viable, car elle permet de réaliser d'un même élan plusieurs objectifs. Le premier est de réduire la vitesse de ruissellement , et on y est parvenu. Le second n'est pas prioritaire, et pourtant il est salutaire. En effet, nous arrivons à constituer une réserve d'eau; celle-ci permettra de recharger la nappe phréatique, ce qui favorisera l'exploitation du forage dont la réalisation se poursuit. Ce forage sera opérationnel en principe avant la fin de cette année 1992.

Le volume d'eau qui sera ainsi constitué est $V=117*33=3861m^3$.

Ce volume d'eau est très faible, mais il pourra servir dans l'irrigation des cultures maraîchères pour un temps. La superficie exploitable pour les cultures (maraîchage, jardinage, vergers, etc) peut être estimée à 40% de la superficie totale du domaine, soit $1.2\text{ ha}=12000m^2$.

Si ce volume d'eau n'était pas exploité, et si nous supposons que l'évaporation agit de manière égale avec l'infiltration dans

les pertes d'eau, étant donné que la vitesse de l'infiltration pour la nature du sol est au minimum 0.075m/j , ce donne une vitesse de perte d'eau de 0.15m/j , nous pouvons déterminer la durée d'une réserve pleine non exploitée. Elle sera donnée par :

$$D=3/0.15 =20\text{jours.}$$

Il sera donc souhaitable d'imperméabiliser la réserve pour réduire les pertes d'eau par infiltration.

Si on suppose que les problèmes d'infiltration et 'évaporation sont minimisée, et si l'on s'appuie sur les données expliquant qu'en moyenne, pour la ville de Thiès, les besoins en eau pour le maraîchage sont estimés entre 4 et $5\text{m}^3/\text{j}$, pour 100 m^2 , on peut en déduire pour les 12000 m^2 , les besoins journaliers pour l'irrigation s'élèveront à 60m^3 d'eau. Avec une réserve de 3861 m^3 , 65 jours suffiront pour atteindre l'épuisement; ce qui est assez faible, mais utile.

5-2-3- Impacts de cette solution

Ce qu'on doit redouter le plus est l'aspect sanitaire des inconvénients. La présence d'eau stagnante en grande quantité aura pour conséquence immédiate de développer des parasites multiformes (schistosomiase, etc), de développer des larves, etc. Le pullulement des moustiques est un grave danger à combattre pour protéger la santé des internes et de la population environnante. On devra donc prévoir des mesures palliatives contre tous ces inconvénients.

VI°)- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les études que nous venons d'exposer montrent avec éloquence l'utilité et la nécessité d'une intervention rapide au séminaire de Thiès. Il urge donc de l'aménager profondément. Nos études n'ont touché que l'aspect ruissellement et l'érosion au niveau du canal. On peut se demander pourquoi il n'a pas été proposé d'aménagement pour le bassin versant. La raison en est simple. Le ruissellement du bassin versant est de $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est assez faible pour éroder un sol encore protégé par la présence de quelques arbres. Le vrai problème provient du ruissellement apporté par le réseau d'égout pluvial de la ville de Thiès: $22 \text{ m}^3/\text{s}$; soit en pourcentage, 6567% de la contribution du bassin versant intérieur.

Pour ainsi combattre le tord, nous avons cherché à maîtriser le mal , et le transformer en bien, s'il le faut. C'est la deuxième solution qui est opportune pour un tel objectif. Cette solution propose un déversoir à la section (8) du canal, et permet de constituer une réserve d'eau de 3861 m^3 , exploitable.

Nous estimons qu'on peut trouver mieux et chercher suivant les moyens disponibles une augmentation du volume de la réserve, et pourquoi pas la porter 11000 m^3 , ce qui permettra de couvrir la moitié de l'année.

Nous pensons également que l'entretien et la prévention de tout danger passera par la vigilance des internes qui ne ménagent souvent pas leurs efforts pour assurer l'entretien de leur environnement.

Pour le dimensionnement du déversoir, nous avons opté pour le matériau béton, car il pourra assurer une étanchéité assez valable. Quant aux dimensions de celui-ci, nous connaissons déjà la longueur de la crête et la hauteur de l'ouvrage. Seul reste l'épaisseur qui peut être facilement déterminer. L'expérience conseille néanmoins de garder une épaisseur comprise entre 0.25 et 0.5 m .

Enfin, nous conseillons aux responsables du séminaire de se rapprocher des autorités municipales, et de se prémunir d'une autorisation avant de construire un tel aménagement.

BIBLIOGRAPHIE

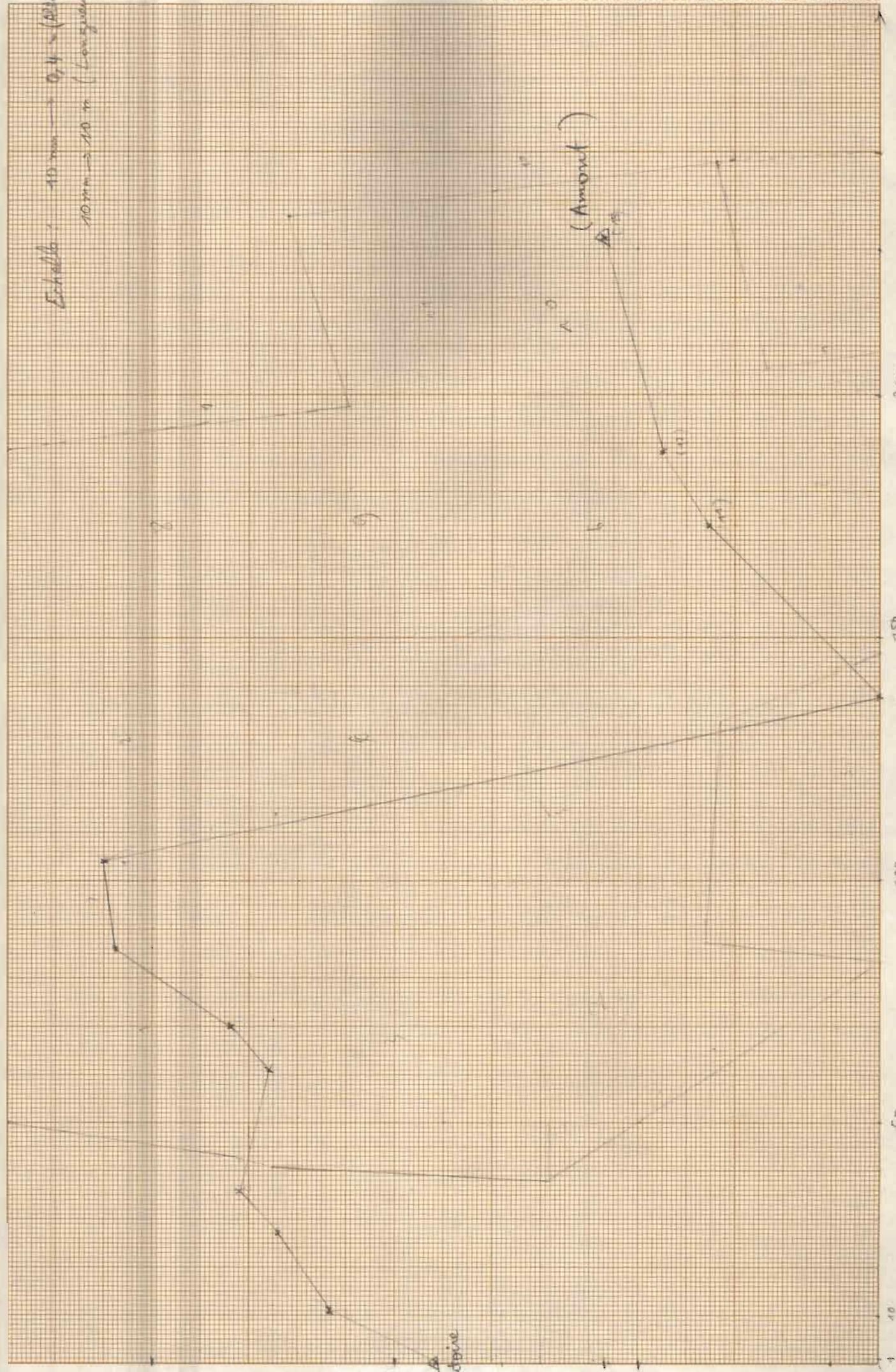
- 1 : "Expansion des ressources en eau dans les zones arides :
Techniques prometteuses et possibilités de recherches"
National academy of sciences
- 2 : Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur de conception à l'EPT.
Titre : "Conception et dimensionnement d'un micro-barrage de
retenue d'eau de ruissellement à Keur Seib Ndoye"
Auteurs: Amadou ba
Mactar Fall
Aly Ngouille Ndiaye
Année: Juin 1988
- 3: Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur de conception à l'EPT.
Titre : "Contribution à l'assainissement de la ville de Thiès"
Auteurs: Bernard Djagoun
Valérie Mévo
Année: Juillet 1991
- 4: "Water ressources and engineering"
Third edition
Auteurs: Rays K. Linsley
Joseph B. Franzini
- 5: "Technique des barrages en aménagement rural"
- 6: "Etablissement du canevas planimétrique par méthode
conventionnelle"
Auteur: Gouvernement du Québec
Ministère de l'énergie et des ressources
Service de la géodésie
Edition 1985
- 7: "Topographie générale, tome 2"
Edition Eyrolle, 1972

ANNEXE 1

Altitude (m)

Profil Longitudinal du Canal traversant les communes de Tignes

Echelle: 10 mm → 0,4 m (Altitude)
10 mm → 10 m (Longueur)



681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

681

Longueur du Canal (m)

250

200

150

100

50

0

0

0

0

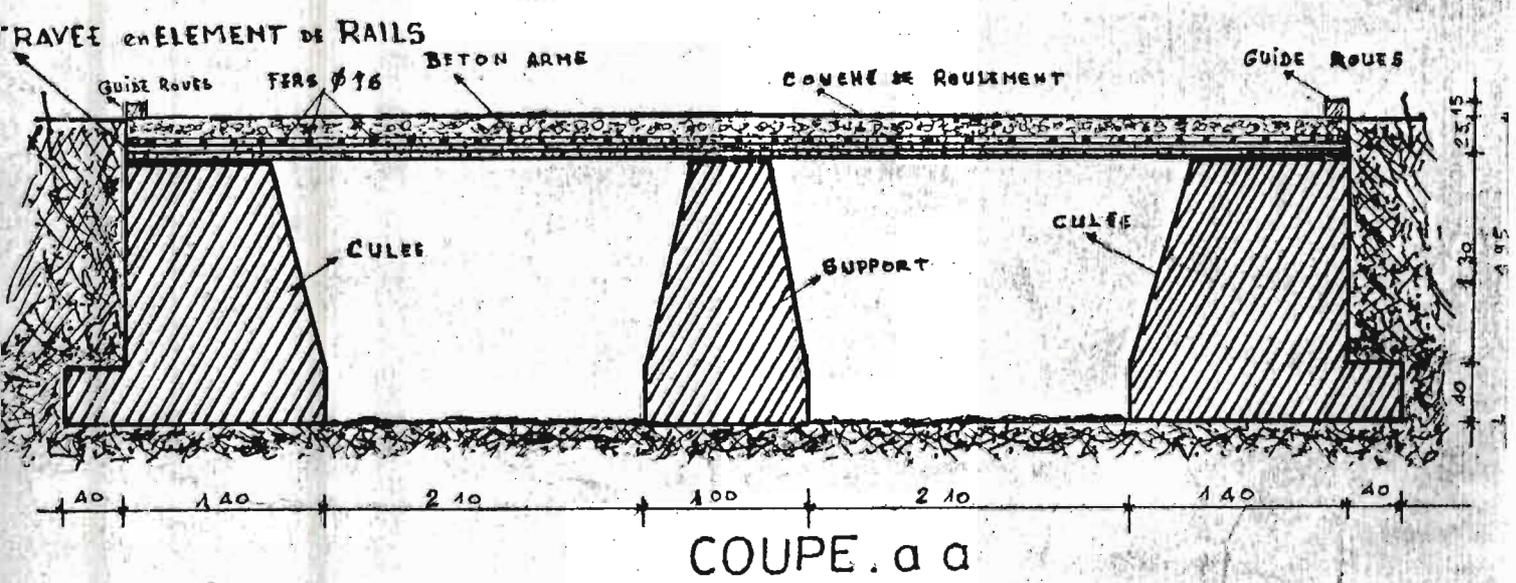
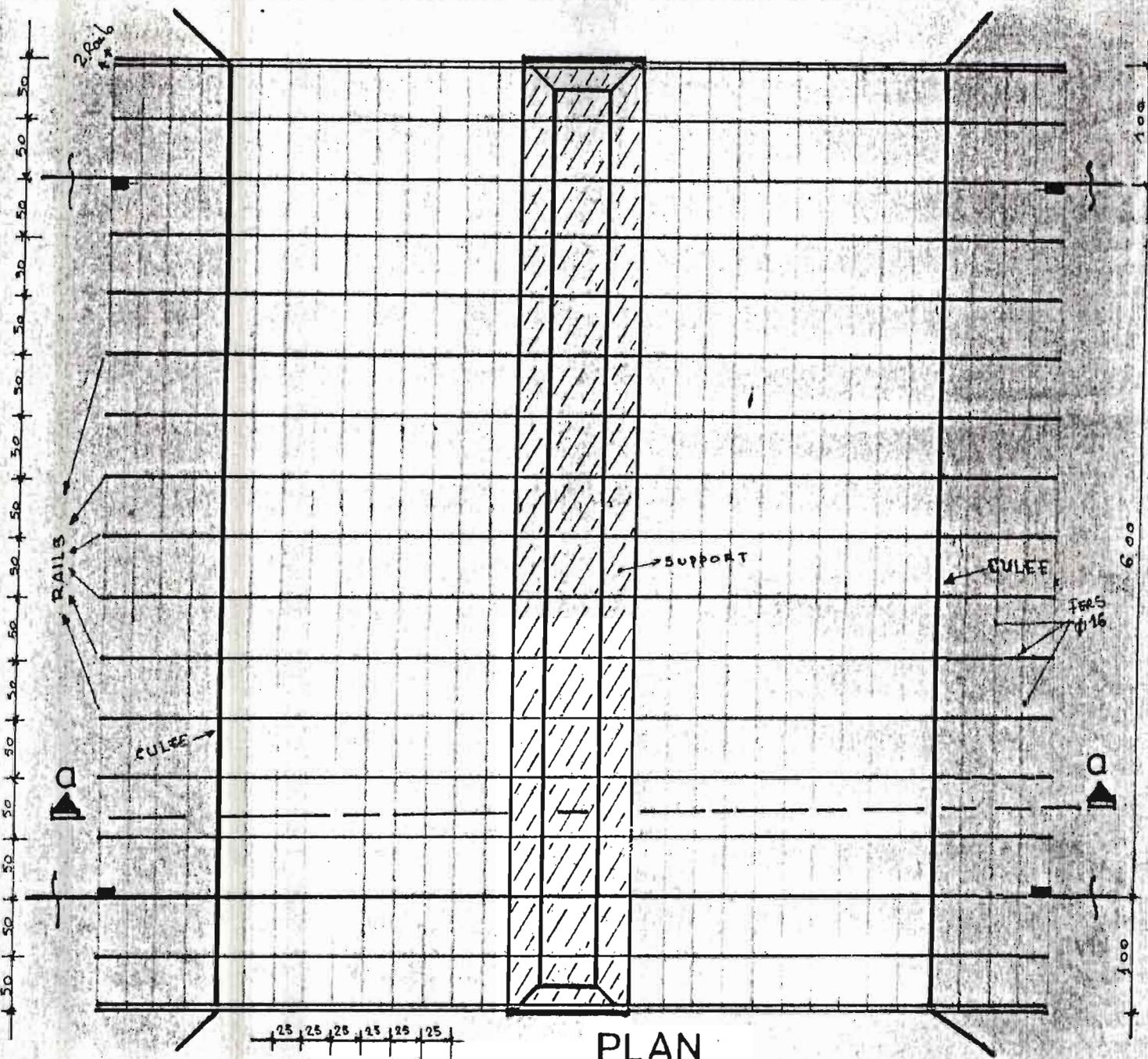
0

0

0

0

0



E - 1/50

(see also)

ANNEXE 2

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

TRAVAUX DE LEVE TOPOGRAPHIQUE

Cadre: Projet de fin d'étude

Titre du projet: Amenagement du Séminaire de Thiès contre effets d'érosion du sol et de destruction par les ruissellements des grandes crues.

Levé du canevas de détails

Date

Station	Visés	Angle horizontal(g)			Angle Vertical	Lecture sur mire			Distance(m) Horizontale
		A.CG	A.CD	Angle		A1	A0	A2	
12	11	0	0	0	99.9	0.762	1	1.233	47.1
	P1	157.748	357.75	157.749					
P1	12	0	0	0	99.9	0.63	1	1.371	74.1
	P2	149.298	149.3	149.299					
P2	P1	0	0	0	99.9	0.929	1.7	2.47	154.1
	P3	207.561	407.563	207.562					
P3	P2	0	0	0	99.66	1.206	1.7	2.198	99.2
	P4	65.379	265.379	65.379					
P4	P3	0	0	0	99.66	1.206	1.7	2.198	99.2
	P5	148.514	348.514	148.514					
P5	P4	0	0	0	99.66	1.206	1.7	2.198	99.2
	P6	172.009	372.11	172.01					
P6	P5	0	0	0	99.66	1.206	1.7	2.198	99.2
	11	288.471	488.469	288.47					
11	P6	0	0	0	99.66	1.206	1.7	2.198	99.2
	12	11.03	211.03	11.03					

Somme des angles horizontaux mesurés = 1200.013 grade

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

somme théorique des angles horizontaux= 1200 grade
 La fermeture angulaire est donc $f_a = 0.013g = 13 \text{ cg} < T_a$; ce qui convient

Compensation angulaire(Répartition égale de l'écart observé)

Station	Visés	Angle(g) Horiz	Gisement	Correc- tion(-)	Gisement corrigé
12	11	0	292.628		
	P1	157.749	50.377	-0.0016	50.37537
P1	12	0	250.377		
	P2	149.299	399.676	-0.0032	399.6727
P2	P1	0	199.676		
	P3	207.562	7.238	-0.0048	7.233125
P3	P2	0	207.238		
	P4	65.379	272.617	-0.0065	272.6105
P4	P3	0	72.617		
	P5	148.514	221.131	-0.0081	221.1228
P5	P4	0	21.131		
	P6	172.01	193.141	-0.0097	193.1312
P6	P5	0	393.141		
	11	288.47	281.611	-0.0113	281.5996
11	P6	0	81.611		
	12	11.03	92.641	-0.013	92.628

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

TRAVAUX DE LEVE TOPOGRAPHIQUE

Cadre: Projet de fin d'étude

Titre du projet: Aménagement du Séminaire de Thiès contre effets d'érosion du sol et de destruction par les ruissellements des grandes crues

Compensation des coordonnées (Répartition proportionnelle à la longueur cumulée)

Station	Visés	Gisement (grade)	Distance (m)	delta(x) (m)	delta(y) (m)	correction d(delta x)	correction d(delta y)	Dist cumule	coordonnées	
									x	y
12	11	292.628		-209.18	-24.33				110045.97	57642.46
	P1	50.375	47.1	33.5003	33.10797	0.01861277	-0.0214530	47.1	110079.48	57675.54
P1	12									
	P2	399.673	177.3	-0.9106	177.2976	0.08867744	-0.1022093	224.4	110078.64	57852.76
P2	P1									
	P3	7.233	74.1	8.40082	73.62225	0.11795996	-0.1359603	298.5	110087.07	57926.35
P3	P2									
	P4	272.611	167.8	-152.50	-69.9852	0.18427046	-0.2123896	466.3	109934.63	57856.29
P4	P3									
	P5	221.123	59.8	-19.479	-56.5383	0.20790197	-0.2396272	526.1	109915.18	57799.72
P5	P4									
	P6	193.131	154.1	16.5948	-153.203	0.26879856	-0.3098165	680.2	109931.83	57646.45
P6	P5									
	11	281.599	99.2	-95.084	-28.2754	0.308	-0.354	779.4	109836.79	57618.13
12	11	92.628			-23.9750					

On a:

$$d(\delta x) = -0.308 \text{ m} < \delta x$$

$$d(\delta y) = 0.354 \text{ m} < \delta y$$

$$f_l = 0.47 \text{ m} < 0.5$$

On peut donc faire la compensation

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

ALTIMETRIE PAR LA METHODE DIRECTE AU TACHEOMETRE

Points visés	L.arrière	l.avant	hauteur de l'instrument
P3	1.85		1.39
A1		1.336	
A1	1.45		1.33
P4		0.755	
P4	3.795		1.345
P5		1.08	
P5	1.7		1.395
P6		1.04	
P6	1.35		1.395
RN1		0.57	

$\Delta z = L.\text{avant} - L.\text{arrière}$

ALTITUDE DES POINTS DE LA POLYGONALE DE NIVELLEMENT

Points visés	L.arrière	l.avant	delta Z	Altitude (m)
P3	1.85			70.201
A1		1.336	-0.514	689.687
A1	1.45			69.687
P4		0.755	-0.695	68.992
P4	3.795			68.992
P5		1.08	-2.715	66.277
P5	1.7			66.277
P6		1.04	-0.66	65.617
P6	1.35			65.617
RN1		0.57	-0.78	64.837

RN1 est l'immatriculation du point altimétrique connu dans la zone. Ce point se situe sur le bâtiment de l'Eglise St Anne, Le macadam.

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

LEVE TACHEOMETRIQUE (RESULTATS ET CALCULS)

CANAL

STATION	VISES	Angle horiz	Angle vertical	lecture sur mire			distance	hauteur instrument
				A1	A0	A2		
P3	P2	0						1.46
	P'3	149.245	99.313	1.869	2.1	2.335	46.597286	
P'3	P3	0						1.51
	P''3	36.89	99.875	0.87	1.2	1.53	65.999872	
	P'''3	174.695	95.51	3.34	3.5	3.6	25.935360	
P'3	P3	0						1.46
	C.S.1	286.16	101.135	1.17	1.35	1.53	35.994278	
	C.S.2	283.728	101.09	0.89	1.1	1.31	41.993843	
	C.M.1	281.783	102.215	1.325	1.5	1.678	35.278635	
	C.M2	279.038	101.3	2.148	2.35	2.552	40.391577	
	C.N.1	277.038	100.62	1.424	1.6	1.782	35.798302	
	C.N.2	275.428	100.3	1.95	2.15	2.35	39.999555	
	C.S.3	282.948	100.66	1.3	1.4	1.5	19.998925	
	C.N.3	273.958	100.69	1.252	1.4	1.54	28.798308	
	C.M.3	257.128	101.47	2.15	2.25	2.35	19.994668	
	C.S.4	260.368	101	1.388	1.45	1.517	12.898408	
	C.N.4	256.558	98.1	2.36	2.45	2.54	17.991984	
	C.M.4	257.128	102.48	1.82	1.9	1.98	15.987861	
	C.S.5	238.913	103.06	0.865	0.9	0.935	6.9919152	
	C.M.5	225.628	102.95	1.95	1.9	2.05	9.9892656	
	C.N.5	202.618	100.72	1.6	1.65	1.7	9.9993604	
	C.N.6	137.428	100.58	1.3	1.35	1.4	9.9995849	
	C.M.6	87.648	103.54	1.52	1.6	1.678	15.775579	
	C.S.7	76.548	103.27	0.52	0.6	0.68	15.978897	
	C.M.7	84.998	103.82	0.673	0.8	0.928	25.454107	
C.N.7	91.458	99.34	1.06	1.2	1.34	27.998495		
C.N.8	87.538	99.34	1.4	1.6	1.8	39.997850		
C.M.8	80.808	99.34	0.72	0.9	1.09	36.998011		
C.S.8	74.398	99.34	1.61	1.8	1.99	37.997957		

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

P'3	P'3	0							
	C.S.9	344.53	100.59	1.517	1.7	1.88	36.298441		
	C.M.9	344.79	100.56	1.765	1.95	2.14	37.498549		
	C.N.9	343.1	100.54	1.5	1.7	1.9	39.998561		
	C.S.10	324	100.54	1.372	1.55	1.724	35.198733	1.45	
	C.M.10	324.585	100.59	1.72	1.9	2.08	35.998453		
	C.N.10	323.325	100.57	1.356	1.55	1.744	38.798444		
	C.N.11	317.26	101.11	0.9	1.1	1.3	39.993919		
P4	P3	0							
	C.S.11	288.51	101.26	1.29	1.4	1.51	21.995691		
	C.N.12	0.57	100.5	0.58	1	1.42	83.997409		
	C.M.11	292.37	100.9	1.82	1.95	2.08	25.997401		
	C.N.13	0.24	100.92	0.84	1.2	1.56	71.992481		
	C.N.14	300.29	100.92	1.3	1.45	1.6	29.996867		
	C.S.12	7.36	100.92	0.56	0.9	1.24	67.992899		
	C.S.13	358.48	100.88	1.42	1.5	1.68	25.997516		
	C.S.14	7.16	100.85	0.85	1.15	1.45	59.994651	1.39	
	C.M.12	384.125	101.8	0.85	1.55	1.67	81.967225		
	C.M.13	399.645	102.01	1.47	1.7	1.93	45.977074		
	C.N.15	379.6	102	1.21	1.35	1.49	27.986183		
	C.M.14	395.49	101.97	1.845	2	2.155	30.985158		
	C.N.16	389.13	101.97	0.93	1.1	1.27	33.983722		
	C.S.15	2.995	101.96	0.6	0.7	0.9	29.985782		

ETABLISSEMENT DES COORDONNES DANS L'ESPACE DES POINTS DU RAVIN

STATION	VISES	Angle horiz	gisement	dist	H.inst	A0	X	Y	Angle vertical	Z:altitude
P3	P2	0	207.233			(P3->	110087.07	57926.35		70.201
	P'3	149.245	356.478	46.59	1.46	2.1	110057.63	57962.47	99.313	70.06383
P'3	P3	0	156.478				110057.63	57962.47		
	P''3	36.89	193.368	65.99	1.51	1.2	110064.49	57896.82	99.875	70.50342
	P'''3	174.695	131.173	25.93		3.5	110080.51	57950.27	95.51	69.90151

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

P'3	P3	0	156.478	0	1.46		110057.63	57962.47		
	C.S.1	286.16	42.638	35.99		1.35	110079.97	57990.68	101.135	69.53213
	C.S.2	283.728	40.206	41.99		1.1	110082.42	57996.36	101.09	69.70485
	C.M.1	281.783	38.261	35.27		1.5	110077.57	57991.56	102.215	68.79662
	C.M2	279.038	35.516	40.39		2.35	110079.01	57996.73	101.3	68.34907
	C.N.1	277.038	33.516	35.79		1.6	110075.61	57993.42	100.62	69.57519
	C.N.2	275.428	31.906	39.99		2.15	110076.84	57997.55	100.3	69.18533
	C.S.3	282.948	39.426	19.99		1.4	110069.23	57978.75	100.66	69.91649
	C.N.3	273.958	30.436	28.79		1.4	110070.87	57988.03	100.69	69.81170
	C.M.3	257.128	13.606	19.99		2.25	110061.87	57982.00	101.47	68.81218
	C.S.4	260.368	16.846	12.89		1.45	110061.00	57974.91	101	69.87123
	C.N.4	256.558	13.036	17.99		2.45	110061.28	57980.08	98.1	69.61072
	C.M.4	257.128	13.606	15.98		1.9	110061.02	57978.09	102.48	69.00116
	C.S.5	238.913	395.391	6.991		0.9	110057.12	57969.44	103.06	70.28788
	C.M.5	225.628	382.106	9.989		1.9	110054.85	57972.06	102.95	69.16110
	C.N.5	202.618	359.096	9.999		1.65	110051.63	57970.47	100.72	69.76074
	C.N.6	137.428	293.906	9.999		1.35	110047.67	57961.51	100.58	70.08272
	C.M.6	87.648	244.126	15.77		1.6	110047.55	57950.33	103.54	69.04706
	C.S.7	76.548	233.026	15.97		0.6	110049.70	57948.59	103.27	70.10343
	C.M.7	84.998	241.476	25.45		0.8	110042.19	57942.22	103.82	69.19738
C.N.7	91.458	247.936	27.99	1.2	110038.48	57942.04	99.34	70.61409		
C.N.8	87.538	244.016	39.99	1.6	110032.12	57931.65	99.34	70.33849		
C.M.8	80.808	237.286	36.99	0.9	110037.17	57931.63	99.34	71.00739		
C.S.8	74.398	230.876	37.99	1.8	110039.91	57928.85	99.34	70.11775		
P'3	P'3	0	393.368	0	1.45					
	C.S.9	344.53	337.898	36.29		1.7	110034.43	57917.17	100.59	69.91660
	C.M.9	344.79	338.158	37.49		1.95	110033.52	57917.97	100.56	69.67314
	C.N.9	343.1	336.468	39.99		1.7	110030.87	57918.49	100.54	69.91372
	C.S.10	324	317.368	35.19		1.55	110030.59	57906.30	100.54	70.10443
	C.M.10	324.585	317.953	35.99		1.9	110029.91	57906.83	100.59	69.71938
	C.N.10	323.325	316.693	38.79		1.55	110027.01	57906.87	100.57	70.05562
	C.N11	317.26	310.628	39.99		1.1	110025.05	57903.46	101.11	70.15570
P4	P3	0	72.611	0					68.992	
	C.S.11	288.51	361.121	21.99	1.4	109922.01	57874.30	101.26	68.54668	

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

C.N.12	0.57	73.181	83.99		1	110011.28	57890.63	100.5	68.72229
C.M.11	292.37	364.981	25.99		1.95	109921.03	57878.45	100.9	68.06448
C.N.13	0.24	72.851	71.99		1.2	110000.17	57886.06	100.92	68.14164
C.N.14	300.29	372.901	29.99		1.45	109922.24	57883.61	100.92	68.49852
C.S.12	7.36	79.971	67.99		0.9	109999.28	57877.33	100.92	68.49944
C.S.13	358.48	31.091	25.99	1.39	1.5	109946.82	57879.24	100.88	68.52264
C.S.14	7.16	79.771	59.99		1.15	109991.62	57875.03	100.85	68.43098
C.M.12	384.125	56.736	81.96		1.55	109998.38	57907.80	101.8	66.51474
C.M.13	399.645	72.256	45.97		1.7	109976.30	57875.69	102.01	67.23060
C.N.15	379.6	52.211	27.98		1.35	109955.09	57875.38	102	68.15293
C.M.14	395.49	68.101	30.98		2	109961.80	57871.17	101.97	67.42332
C.N.16	389.13	61.741	33.98		1.1	109962.65	57875.50	101.97	68.23055
C.S.15	2.995	75.606	29.98		0.7	109962.44	57867.50	101.96	68.75895

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

LEVES TACHEOMETRIQUES

BATIMENTS & INTERIEUR

STATION	VISES	Angle horiz	Angle vertical	lecture sur mire			distance	hauteur instrument
				A1	A0	A2		
P3	P2	0						1.46
	P'3	149.245	99.313	1.869	2.1	2.335	46.597286	
P'3	P3	0						1.51
	P''3	36.89	99.875	0.87	1.2	1.53	65.999872	
	P'''3	174.695	95.51	3.34	3.5	3.6	25.935360	
P'3	P3	0						1.46
	D1	296.009	101.5	1.255	1.45	1.645	38.989174	
	D2	291.907	101.5	1.44	1.65	1.86	41.988342	
	D3	308.738	100.31	1.39	1.5	1.615	22.499733	
	D4	261.788	100.15	1.64	1.8	1.96	31.999911	
	D5	353.158	101.96	0.7	0.8	0.9	19.990521	
	D6	378.973	101.29	1.01	1.1	1.19	17.996304	
	D'6	13.038	101.38	1.14	1.2	1.26	11.997180	
	D7	240.648	100	0.97	1.1	1.23	26	
	D8	32.368	103.865	0.269	0.3	0.438	16.868864	
	BAT2.1	138.238	99.89	1.04	1.2	1.36	31.999952	
	D9	100.248	99.1	0.35	0.4	0.57	21.997801	
	BAT2.2	170.998	101.84	0.245	0.4	0.56	31.486843	
	D10	197.528	102	1.5	1.75	1.955	45.477548	
	D11	125.438	99.2	0.89	1.1	1.31	41.996683	
	D12	113.718	99.2	0.74	1	1.27	52.995815	
	D13	60.253	99.2	1.87	2.05	2.23	35.997157	
	D14	122.648	99.2	0.24	0.55	0.864	62.395073	
	D15	56.608	96.7	2.92	3.1	3.28	35.951644	
	D16	124.878	96.82	1.855	2.2	2.57	71.410817	
D17	47.788	99.91	0.89	1.1	1.31	41.999958		
P'3	0							

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

P''3	bat1.1	283.355	100.28	0.96	1	1.14	17.999825	1.451
	D18	397.946	103.38	0.84	0.9	0.96	11.983090	
	D19	312.768	106.115	0.184	0.25	0.317	13.238691	
	D20	228.18	98.75	0.43	0.55	0.67	23.995373	
	D21	181.408	98.69	0.633	0.7	0.764	13.097226	
	BAT2.3	176.923	96.03	1.8	1.95	2.1	29.941686	
	BAT1.2	208.916	96.14	2.23	2.45	2.67	43.919145	
	D22	195.298	96.22	1.92	2.1	2.28		
	D23	197.168	96.61	1.07	1.4	1.73	65.906448	
	D24	193.628	96.17	1.5	1.85	2.2	69.873358	
	D25	205.588	96.15	2.08	2.4	2.73	64.881173	
	D26							
P'3	P'3	0						1.39
	D27	180.86	97.4	1.425	1.5	1.58	15.487075	
	D28	270.36	100.1	0.2	0.5	0.8	59.999925	
	D29	325.32	100.56	0.52	0.8	1.08	55.997833	
	D30	323.67	98.43	1.52	1.9	2.28	75.976889	
P4	P3	0						
	D31	294.95	100.35	0.77	1.1	1.43	65.999002	
	D32	361.02	100.21	0.634	0.75	0.867	23.299873	
	D33	75.01	100.285	0.88	1.15	1.42	53.999458	
	D34	186.66	98.55	0.8	0.9	1	19.994812	

LEVE DE LA CLOTURE

STATION	VISES	Angle horiz	Angle vertical	lecture sur mire			distance	hauteur instrument
				A1	A0	A2		
P3	P2							1.46
	porte.1	32.105	114.062	0.734	0.75	0.764	2.9271115	
	porte.2	172.315	117.109	0.48	0.5	0.52	3.8564168	
	P'3	149.245	99.313	1.869	2.1	2.335	46.597286	

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

P'3	P3 M1	0 296.983	100.63	0.82	1.05	1.28	45.997747	1.51
P''3	P'3 M2 M3 M4 M5	0 298.128 198.518 203.498 181.968	101.78 96.49 96.4 96.23	0.78 1.37 1.64 1.53	0.85 1.75 2.01 1.85	1.12 2.15 2.38 2.18	33.986710 77.881475 73.881714 64.886059	1.451
P'3	P'3 M6 M7	0 190.96 259.34	95.23 98.94	2.73 0.72	3 1.1	3.26 1.49	52.851297 76.989326	1.45
P4	P3 M8	0 59.02	98.67	1.17	1.6	2.03	85.981232	1.39

ETABLISSEMENT DES COORDONNEES SPATIALES DES POINTS INTERIEURS

STATION	VICES	Angle horiz	gisement	dist	H.inst	A0	X	Y	Angle vertical	Z:altitude
P3	P2	0	207.233		1.46		110087.07	57926.35		70.201
	porte.1	32.105	239.338	2.927		0.75			114.062	70.26968
	porte.2	172.315	379.548	3.856		0.5			117.109	70.13702
	P'3	149.245	356.478	46.59		2.1			99.313	70.06383
P'3	P3	0	156.478		1.51		110064.49	57933.21		70.50342
	P''3	36.89	193.368	65.99		1.2			99.875	70.50342
	P'''3	174.695	331.173	25.93		3.5			95.51	69.90150
P'3	P3	0	156.478	0	1.46		110086.25	57954.97		69.15525
	D1	296.009	52.487	38.98		1.45			101.5	69.15525
	D2	291.907	48.385	41.98		1.65			101.5	68.88459
	D3	308.738	65.216	22.49		1.5			100.31	69.91426
	D4	261.788	18.266	31.99		1.8			100.15	69.64843

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

	D5	353.158	109.636	19.99		0.8	110077.39	57946.11	101.96	70.10846
	D6	378.973	135.451	17.99		1.1	110072.90	57941.62	101.29	70.05919
	D'6	13.038	169.516	11.99		1.2	110063.15	57931.87	101.38	70.06378
	D7	240.648	397.126	26		1.1	110056.45	57925.17	100	70.42383
	D8	32.368	188.846	16.86		0.3	110060.57	57929.29	103.865	70.20032
	BAT2.1	138.238	294.716	31.99		1.2	110025.74	57894.46	99.89	70.37912
	D9	100.248	256.726	21.99		0.4	110040.52	57909.24	99.1	71.43480
	BAT2.2	170.998	327.476	31.48		0.4	110029.03	57897.75	101.84	70.21390
	D10	197.528	354.006	45.47		1.75	110027.55	57896.27	102	68.34534
	D11	125.438	281.916	41.99		1.1	110017.31	57886.03	99.2	70.95156
	D12	113.718	270.196	52.99		1	110010.33	57879.05	99.2	71.18977
	D13	60.253	216.731	35.99		2.05	110048.27	57916.99	99.2	69.92617
	D14	122.648	279.126	62.39		0.55	109998.55	57867.27	99.2	71.75788
	D15	56.608	213.086	35.95		3.1	110050.29	57919.01	96.7	70.28659
	D16	124.878	281.356	71.41		2.2	109989.25	57857.97	96.82	72.88941
	D17	47.788	204.266	41.99		1.1	110054.81	57923.53	99.91	70.48320
	M1	296.983	53.461	45.99		1.05	110091.87	57960.59	100.63	70.01864
P'''3	P'3		131.173	0						
	bat1.1	283.355	14.528	17.99		1	110084.58	57954.34	100.28	70.27183
	D18	397.946	129.119	11.98		0.9	110091.26	57961.02	103.38	69.81508
	D19	312.768	43.941	13.23		0.25	110088.93	57958.69	106.115	69.83132
	D20	228.18	359.353	23.99	1.45	0.55	110066.20	57935.96	98.75	71.27211
	D21	181.408	312.581	13.09		0.7	110067.66	57937.42	98.69	70.92048
	BAT2.3	176.923	308.096	29.94		1.95	110050.81	57920.57	96.03	71.26697
	BAT1.2	208.916	340.089	43.91		2.45	110045.01	57914.77	96.14	71.56230
	D22	195.298	326.471	35.93		2.1	110047.63	57917.39	96.22	71.38351
	D23	197.168	328.341	65.90		1.4	110021.02	57890.78	96.61	73.45885
	D24	193.628	324.801	69.87		1.85	110015.87	57885.63	96.17	73.70215
	D25	205.588	336.761	64.88		2.4	110026.14	57895.90	96.15	72.87234
	D26			0						
	M2	298.128	29.301	33.98		0.85	110095.60	57965.36	101.78	69.55084
	M3	198.518	329.691	77.88		1.75	110010.94	57880.70	96.49	73.89281
	M4	203.498	334.671	73.88		2.01	110017.31	57887.07	96.4	73.51668
	M5	181.968	313.141	64.88		1.85	110017.00	57886.76	96.23	73.34124

TRAITEMENT DES DONNEES DE LA CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

P"3	P'3	0	393.368		1.451					
	D27	180.86	174.228	15.48		1.5	110070.58	57902.91	97.4	71.08632
	D28	270.36	263.728	59.99		0.5	110013.96	57846.29	100.1	71.35975
	D29	325.32	318.688	55.99		0.8	110010.88	57843.21	100.56	70.66142
	D30	323.67	317.038	75.97		1.9	109991.21	57823.54	98.43	71.92751
	M6	190.96	184.328	52.85		3	110077.36	57909.69	95.23	72.91028
	M7	259.34	252.708	76.98		1.1	110007.78	57840.11	98.94	72.13584
P4	P3	0	72.611	0						68.992
	D31	294.95	367.561	65.99		1.1	109902.43	57824.09	100.35	68.91915
	D32	361.02	33.631	23.29	1.39	0.75	109946.37	57868.03	100.21	69.55514
	D33	75.01	147.621	53.99		1.15	109974.21	57895.87	100.285	68.99025
	D34	186.66	259.271	19.99		0.9	109918.58	57840.24	98.55	69.93737
	M8	59.02	131.631	85.98		1.6	110010.21	57931.87	98.67	70.57815

ANNEXE 3

[Modify Smooth] Spline Matrix

Smooth grid using a cubic spline

```
|
| Input grid file [.GRD]: Y.GRD |
|   First row of input grid: 1 |
|   Last row of input grid: 32767 |
| First column of input grid: 1 |
| Last column of input grid: 32767 |
| |
| Output grid file [.GRD]: OUT.GRD |
| Output format (Binary or ASCII): Binary |
| |
| X expansion factor: 2 |
| Y expansion factor: 2 |
|
```

F1=Help F3=Main F4=Store F5=Directory Esc=Backup Arrow keys=Move pointer

[TOPO] Input Level Scale ConLine Title Border XYLine Grid Post Output Equip
Plot original data points on map

```

| Post data points: Yes |
| Posting file [.DAT]: A:ARNAUD.DAT |
| X,Y,Label, and Symbol columns (0 if none): 1,2,3,0 |
| Include points outside grid: No |
| |
| Symbol code if not in file: 41 |
| Centered symbol set [.SYM]: DEFAULT.SYM |
|   Centered symbol height: 0.01 |
|   Centered symbol angle: 0 |
|   Centered symbol color: 1 |
| |
| Label format (Char,Fix,Exp,Gen): Character |
|   Number of decimal digits: 2 |
|   Label symbol set [.SYM]: DEFAULT.SYM |
|     Label height: 0.02 |
|     Label angle: 0 |
|     Label color: 1 |
| Relative position (Auto or X,Y): Automatic |

```

F1=Help F2=View F3=Main F4=Store F5=Directory Esc=Backup Arrows=Move pointer

[TOPO] Input Level Scale ConLine Title Border XYLine Grid Post Output Equip
Create a plot file and optionally send to hard copy device

Input grid file: A:ARNAUD.GRD

Input grid size: 25 x 21

	GRID MINIMUM	GRID MAXIMUM
X	824.6797	1283.6563
Y	561.4609	1112.8984
Z	67.2928	73.2037

Minimum contour: 67.600001

Maximum contour: 73.2000011

Contour interval: 0.5

F1=Help F2=View F3=Main F4=Store F5=Directory Esc=Backup Arrows=Move pointer

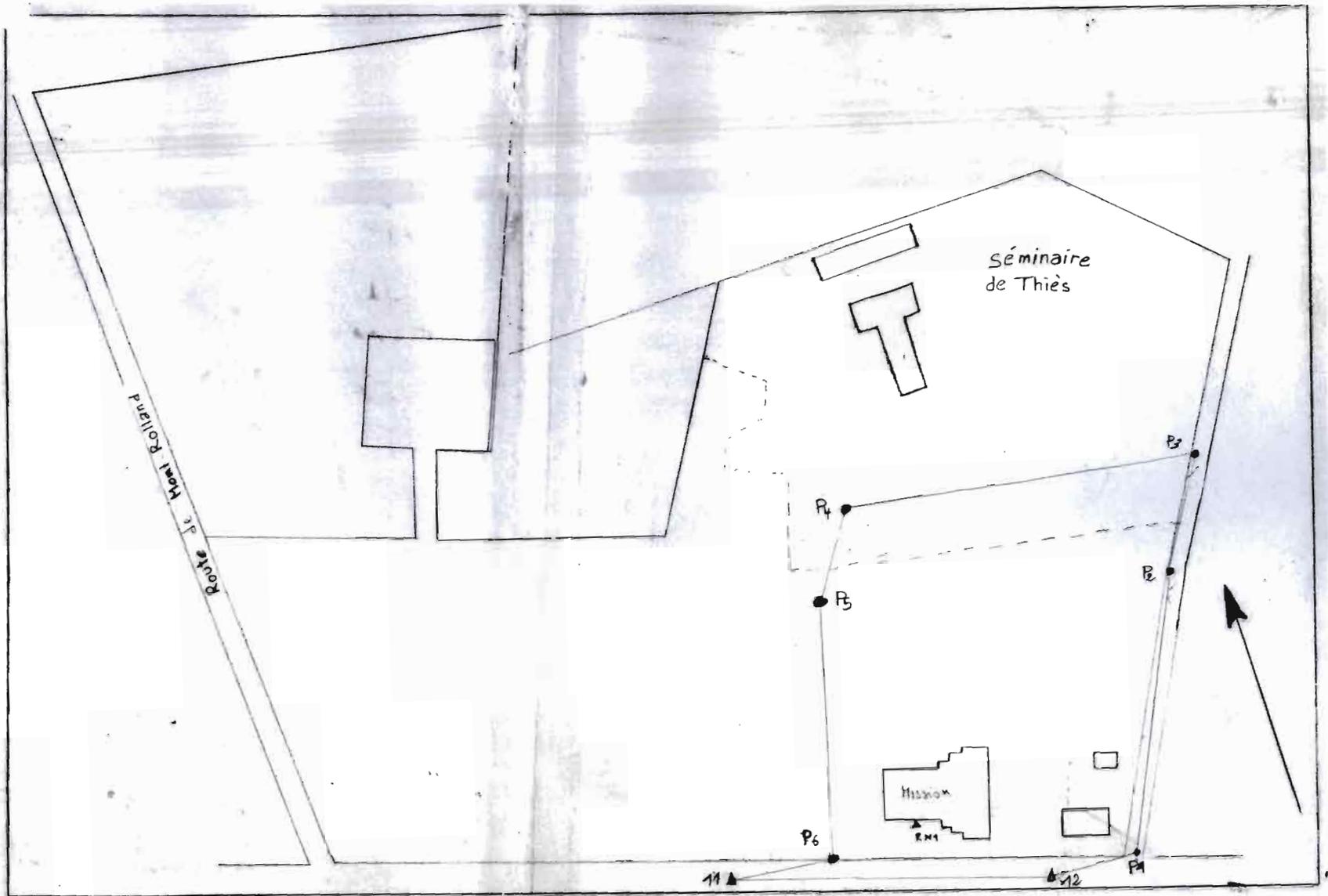
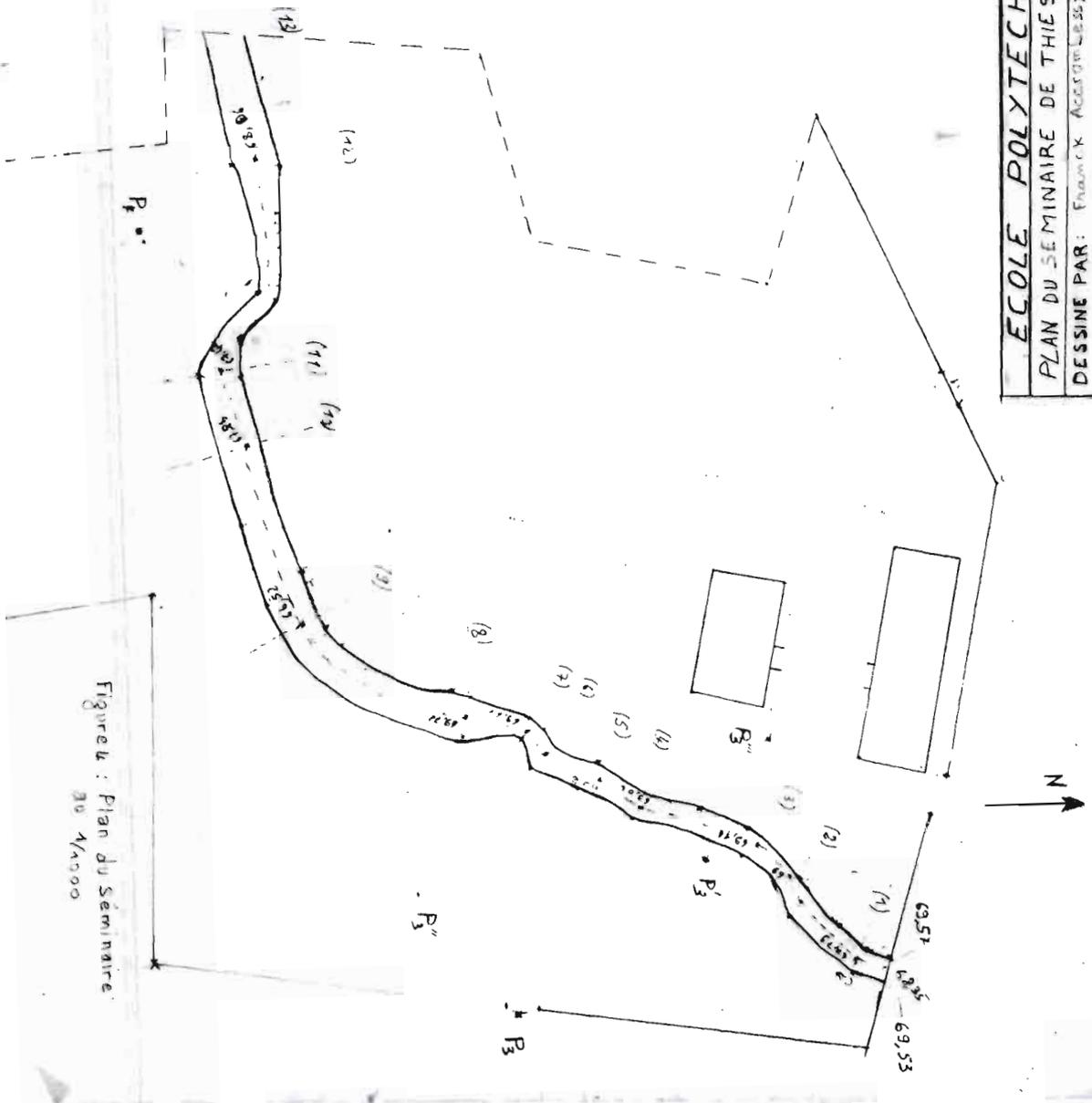


Figure 3 : Définition du polygone d'appu.

Légende : ▲ : Repère de planimétrie
 ● : sommets de polygonale

21-a



Figurek : Plan du Séminaire au 1/4000

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES	
PLAN DU SEMINAIRE DE THIES	ECHELLE: 1:4000
DESINE PAR: FRANK ACOFFOLISSY	DATE:
VERIFIE PAR:	