

M. 300 MDR

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

SOCIETE DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET INDUSTRIEL

S O D A G R I

A M E N A G E M E N T D U B A S S I N D E L ' A N A M B E

ETUDES SECTORIELLES ET DE CONCEPTION

9. BARRAGES

M I N U T E

M. 300 MDR

1.139

ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS, S.A.

ZURICH - DAKAR

26. 11. 1979



## TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	9 - 1
2. DONNEES DE BASE	9 - 3
2.1. Topographie	9 - 3
2.2. Hydrologie	9 - 3
2.3. Géologie	9 - 4
2.3.1. Généralités	9 - 4
2.3.2. Conditions géologiques au site de Niandouba	9 - 7
2.3.2.1. Géologie locale	9 - 7
2.3.2.2. Travaux de reconnaissance sur le site du barrage	9 - 8
2.3.2.3. Géologie des fondations	9 - 9
2.3.2.4. Etanchéité de la retenue	9 - 11
2.3.2.5. Stabilité des rives	9 - 12
2.3.3. Caractéristiques géotechniques des matériaux de construction	9 - 13
2.3.3.1. Zones d'emprunt	9 - 13
2.3.3.2. Réserves de matériaux	9 - 14
2.3.3.3. Résultats géotechniques préliminaires	9 - 15
2.3.4. Prospections et études complémentaires	9 - 16
3. PRINCIPES ET CONTRAINTES DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES	9 - 19
3.1. Contraintes topographiques et hydrauliques	9 - 19
3.1.1. Barrage de Niandouba	9 - 19
3.1.2. Barrage de garde et du confluent	9 - 21
3.2. Contraintes économiques - prix d'ordre	9 - 22
4. BARRAGE DE NIANDOUBA	9 - 26
4.1. Retenue	9 - 26
4.2. Choix du type de barrage	9 - 26

## TABLE DES MATIERES

	Page
4.3. Choix de l'implantation du barrage	9 - 29
4.4. Type et disposition de l'évacuateur de crues	9 - 31
4.5. Dimensionnement du barrage et de l'évacuateur	9 - 34
4.6. Prise d'eau et vidange de fond	9 - 37
4.7. Phases de construction et programme des travaux	9 - 42
4.8. Coût de construction	9 - 43
4.9. Usine hydro-électrique au pied du barrage	9 - 45
4.9.1. Généralités	9 - 45
4.9.2. Usine pour le stade final d'aménagement	9 - 46
4.9.3. Usine pour la 2ème phase d'aménagement	9 - 50
5. BARRAGE DU CONFLUENT	9 - 51
5.1. Généralités	9 - 51
5.2. Choix du site et du type d'ouvrage	9 - 52
5.3. Ouvrages annexes	9 - 53
5.3.1. Evacuateur de crues	9 - 53
5.3.2. Organe de vidange	9 - 55
5.4. Coûts de construction et programme des travaux	9 - 56
5.4.1. Coûts de construction	9 - 56
5.4.2. Programme des travaux	9 - 57
6. BARRAGE DE GARDE	9 - 59
6.1. Généralités	9 - 59
6.2. Choix du site et du type d'ouvrage	9 - 59
6.3. Ouvrages annexes	9 - 61
6.4. Coûts de construction et programme des travaux	9 - 62
7. REMARQUES FINALES ET RECOMMANDATIONS	9 - 64

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 9 - 1	BARRAGE DE NIANDOUBA - DETAIL ESTIMATIF COURONNEMENT	38
Tableau 9 - 2	BARRAGE DE NIANDOUBA - DETAIL ESTIMATIF COURONNEMENT	40
Tableau 9 - 3	BARRAGE DE NIANDOUBA - DETAIL ESTIMATIF COURONNEMENT	42
Tableau 9 - 4	BARRAGE DE NIANDOUBA - COUTS DE CONSTRUCTION	
Tableau 9 - 5	BARRAGE DU CONFLUENT - COUTS DE CONSTRUCTION	
Tableau 9 - 6	BARRAGE DE NIANDOUBA - FICHE TECHNIQUE	
Tableau 9 - 7	BARRAGE DU CONFLUENT - FICHE TECHNIQUE	
Tableau 9 - 8	BARRAGE DE GARDE SUR L'ANAMBE - FICHE TECHNIQUE	

## LISTE DES FIGURES

Figure 9 - 1	BARRAGE DE NIANDOUBA - CARTE GEOLOGIQUE
Figure 9 - 2	- PROFIL GEOLOGIQUE C
Figure 9 - 3	- PROFIL GEOLOGIQUE D
Figure 9 - 4	- SITUATION DE LA RETENUE
Figure 9 - 5	- VOLUME ET SURFACE DE LA RETENUE
Figure 9 - 6	- SITES ETUDIES
Figure 9 - 7	- EVACUATEURS DE CRUES ETUDIES
Figure 9 - 8	- SITUATION DES OUVRAGES
Figure 9 - 9	- PROFIL TYPE
Figure 9 - 10	- EVACUATEUR DE CRUES
Figure 9 - 11	- PRISE D'EAU/VIDANGE DE FOND
Figure 9 - 12	- PROGRAMME DES TRAVAUX
Figure 9 - 13	- USINE HYDRO-ELECTRIQUE SOLUTION 1
Figure 9 - 14	- USINE HYDRO-ELECTRIQUE SOLUTION 2
Figure 9 - 15	BARRAGE DU CONFLUENT - SITUATION
Figure 9 - 16	- PROFIL TYPE
Figure 9 - 17	- VIDANGE DE FOND/EVACUATEUR DE CRUES
Figure 9 - 18	BARRAGE DE GARDE - SITUATION
Figure 9 - 19	- PROFIL TYPE

## 1. INTRODUCTION

---

Le mandat d'étude confié à Electrowatt Ingénieurs-Conseil S.A. par la Société de Développement Agricole et Industriel (Sodagri) concerne l'élaboration du projet d'exécution de l'aménagement hydro-agricole du bassin de l'Anambé, en Haute Casamance. Il comporte plusieurs phases successives dont la première est consacrée aux études sectorielles et de conception. Un volet de cette première phase comprend l'étude des ouvrages hydrauliques destinés à assurer la maîtrise et la régularisation du potentiel hydraulique régional. Celui-ci est fourni presque exclusivement par le bassin versant de la Kayanga dont l'apport annuel en année moyenne est de l'ordre de  $275 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . L'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation du périmètre agricole exige la réalisation d'un organe de stockage et de régularisation, c'est-à-dire d'un barrage permettant la création d'un bassin d'accumulation important et qui constituera la pièce maîtresse du dispositif de maîtrise des eaux.

La partie basse du bassin de l'Anambé est actuellement le siège d'inondations fréquentes dues au refoulement de la Kayanga en crue. L'aménagement du bassin de l'Anambé exige ainsi la réalisation d'un ouvrage de protection contre les inondations qui sera constitué par un barrage de garde sur l'Anambé, à l'extrémité sud de la zone aménagée dans le bassin.

Compte tenu des conditions topographiques locales et de l'implantation du barrage de retenue à proximité du village de Niandouba, le mode d'acheminement au périmètre le plus économique des débits d'irrigation consiste à utiliser le lit naturel de la Kayanga comme canal tête morte. Pour ce faire il est cependant nécessaire de réaliser un organe de contrôle du plan d'eau de la Kayanga, constitué par un barrage-déversoir réalisé sur ce cours d'eau peu en aval de sa confluence avec l'Anambé.

Les grands ouvrages hydrauliques qui font l'objet de la présente phase de l'étude et qui sont décrits ci-après sont ainsi les suivants :

Barrage de Niandouba

destiné à créer une accumulation permettant la régularisation et l'utilisation des débits de la Kayanga.

Barrage de garde

destiné à protéger la partie basse de la cuvette de l'Anambé contre les inondations dues au refoulement de la Kayanga et accessoirement à permettre l'utilisation partielle des apports de l'Anambé pour l'irrigation du périmètre.

Barrage du confluent

destiné à contrôler le plan d'eau de la Kayanga en aval du barrage de Niandouba et à permettre l'utilisation de ce tronçon du cours d'eau comme canal tête morte.

## 2. DONNEES DE BASE

---

### 2.1. Topographie

La seule base topographique officielle existante est la carte IGN 1 : 200 000 avec équidistance de 40 m, dont l'exactitude est toutefois insuffisante pour les besoins de l'étude. C'est la raison pour laquelle une campagne de prises de vue aériennes et de stéréopréparation au sol a été réalisée au début de 1979 dans le cadre de la présente étude pour l'établissement des documents topographiques suivants :

- Plans 1 : 25 000 de la zone de la future retenue avec des courbes de 2 m d'équidistance et des courbes de 1 m interpolées, limités en extension par la cote 45 IGN, l'exactitude de l'altimétrie étant de 60 cm.
- Plans 1 : 10 000 avec courbes de niveau équidistantes de 1 m et courbes de 0,5 m interpolées, limités en extension par la cote 45 IGN, et couvrant la vallée de la Kayanga entre Niandouba et la confluence de l'Anambé. L'exactitude de l'altimétrie exigée est de 35 cm.

En raison de la morphologie peu accentuée de la zone de la retenue et de la vallée de la Kayanga, ces données topographiques sont suffisantes pour la phase actuelle de l'étude. 2 profils en travers levés dans la zone du barrage de Niandouba ont permis de vérifier l'exactitude des levés photogrammétriques. Ce n'est qu'au voisinage immédiat du lit de la Kayanga que des différences supérieures à la tolérance ont été constatées dans la zone où la végétation dense (forêt-galerie) ne permet pas de définir avec précision sur les photos aériennes, le tracé des courbes de niveau.

### 2.2. Hydrologie

L'étude hydrologique, qui fait l'objet du rapport n° 2, a été basée sur les mesures de débits réalisées par l'ORSTOM sur la Kayanga aux stations des ponts de Niapo et de Wassadou. Les périodes d'observation étant trop brèves,

les séquences ont été étendues par corrélations avec les débits de la Falémé à Kidira. Il a été possible de reconstituer une série d'apports mensuels couvrant la période 1903 - 1978.

L'étude des crues a été basée à la fois sur l'analyse des crues observées et des précipitations maximum annuelles enregistrées aux postes pluviométriques situés au voisinage du bassin versant de la Kayanga.

Bien que la précision des mesures disponibles soit incertaine et que leur durée soit très brève, une évaluation des apports annuels de l'Anambé a été tentée.

Les principales caractéristiques hydrologiques nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques sont les suivantes :

<u>Bassins versants</u>	Kayanga à Niandouba	1 685 km <sup>2</sup>
	Anambé au barrage de garde	1 000 km <sup>2</sup>
	Kayanga au confluent	2 855 km <sup>2</sup>
<u>Apport annuel moyen</u>	Kayanga	274 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 8,7 m <sup>3</sup> /s
	Anambé	55 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ou 1,75 m <sup>3</sup> /s

<u>Crues de la Kayanga à Niandouba</u>	centenale	décamillénale
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	220	400
Temps de montée (j)	27	30
Durée (j)	118	132
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	545	1 040

## 2.3. Géologie

### 2.3.1 Généralités

Les données existantes concernant la géologie de la région intéressée par le projet sont fournies essentiellement par les cartes géologiques. Actuellement, le territoire de la République du Sénégal n'est entièrement couvert que par des cartes géologiques au 1 : 500 000 établies en 1962 par le BRGM ainsi que par des cartes géotechniques également au 1 : 500 000. Ces cartes sont accompagnées d'une notice explicative.

En outre, on dispose des cartes géologiques à l'échelle 1/200 000 à l'est du méridien 14° ouest (feuilles Tambacounda et Youkounkoun) et d'une couverture photo aérienne à l'échelle 1/25 000 de la vallée de la Kayanga en aval de Niandouba et à l'échelle 1/40 000 du bassin d'accumulation de Niandouba.

Il n'existe aucune étude géologique détaillée de la région du barrage.

La géologie régionale peut être caractérisée de la manière suivante :

- La majeure partie du Sénégal et de la région de Vélingara est recouverte par les formations du Continental Terminal (CT), attribuées au miopliocène et représentées par un ensemble de sables argileux hétérogènes de couleurs variées.

Au sud d'une ligne d'orientation NE - SW, passant par Vélingara-Pakane et Wassadou, apparaissent les formations du socle ancien sous moins de 30 m de couverture du Continental Terminal.

Ces formations sont attribuées au cambrien moyen et inférieur et sont représentées, d'après la carte géologique, par le complexe effusif acide de Niokolo (tufs, brèches, rhyolites, microgranite) et par un ensemble formé de fillites, calcaires, pélites et jaspes au sud de Vélingara Pakane.

Plus près du site du barrage, dans le bassin de l'Anambé, le forage de Soutouré a recoupé les formations suivantes : (coord. 594 500/1432 400, alt : 30 m).

- 0 - 13 m : argile sableuse
- 13 - 32 m : rhyolite alcaline microcristalline, épimétamorphique plus ou moins altérées.
- 32 - 48 m : formation altérée ou détritique, argileuse et sableuse, avec fraction sableuse de quartz, d'albite et de micas plus ou moins importante.
- 48 - 64 m : rhyolite plus ou moins altérée

Le forage de Vélingara sud 2, situé 8,2 km au sud de Vélingara, près de l'ancienne route Vélingara - Kounkané (coord. 598 500/1444 880, alt: 27 m) a, lui, recoupé des formations récentes plus épaisses :

- 0 - 18 m : alluvions sablo-limoneuses indurées, quaternaire (?)
- 18 - 51 m : argiles grises à intercalations limoneuses et niveau sableux, Continental Terminal (?)
- 51 - 75 m : argiles marneuses et sables cimentés faillés entre 57 et 75 m, Eocène (?)
- 75 - 114 m : argiles sablo-limoneuses consolidées à dominante gris-vert, niveau sableux vers la base, paliocène-Eocène (?)
- 114 - 125 m : roche cristalline verte (rhyolite), socle paléozoïque

Les coupes de ces deux forages montrent bien les variations d'épaisseurs des fonctions tertiaires et quaternaires recouvrant le socle.

La Kayanga s'écoule au centre d'une vaste dépression à dénivellation très peu marquée, dans laquelle se ramifient nombre de marigots plus ou moins longs, d'orientations principales NE-SW, NW-SE et E-W.

La rivière a creusé son lit dans les dépôts tertiaires et quaternaires, entaillant ainsi les plateaux de latérite qui coiffent souvent les sables du continental terminal. Les niveaux durs de ces latérites se marquent dans la topographie par de petites ruptures de pentes.

Les conditions tectoniques sont les suivantes :

L'épaisse couverture de dépôts quaternaires et tertiaires (CT) masque tout accident tectonique en surface. Cependant, l'étude géophysique et les forages effectués dans le bassin de l'Anambé à l'ouest du site du barrage, semblent indiquer la présence d'accidents tectoniques affectant le socle.

Il n'est, par conséquent, pas exclu que certaines directions privilégiées de marigots ou de rivières puissent correspondre à des failles sans pour autant que ces dernières soient décelables en surface.

Les sondages électriques effectués sur le site du barrage de Niandouba semblent indiquer une surface du socle plane et tranquille. Si des accidents tectoniques existent, ils n'affectent certainement pas les 50 à 100 premiers mètres de terrain constitués par les dépôts récents.

Les conditions hydrogéologiques ont pu être précisées par la réalisation de 3 forages, exécutés parallèlement à une étude géophysique du sous-sol par sondages électriques dans le bassin de l'Anambé qui ont montré la présence d'un dôme de rhyolites appartenant au socle cristallin ancien. Ce dôme se situe à faible profondeur dans la partie centrale du bassin puisque le forage de Soutouré (coord. 594 500/1432400) a rencontré des rhyolites alcalines microcristallines à 13 m de profondeur déjà. Les cuvettes sédimentaires qui entourent ce dôme de rhyolites sont essentiellement remplies de formations argileuses peu favorables à l'exploitation des eaux souterraines.

Il est connu que la côte ouest de l'Afrique est l'une des régions les plus stables du globe au point de vue sismicité. Cependant quelques séismes ont été recensés dont les épicentres se situent soit dans la presqu'île du Cap-Vert (Dakar 1832, 1836, 1862) soit sur le grand accident nord-sud coupant le Sénégal de Podor à Kolda (Linguère 1937, Podor 1942). Un séisme a aussi été ressenti vers Tambacounda (29.3.1954). Ces secousses étaient toutes d'intensité faible (1 ou 2, sans dégâts).

### 2.3.2 Conditions géologiques au site de Niandouba

#### 2.3.2.1 Géologie locale

La région du site du barrage et la majeure partie du bassin de retenue sont recouvertes par les formations du continental terminal (CT), ensemble azoïque, n'ayant pas débuté partout à la même époque, mais attribué le plus souvent au miopliocène.

Les facies les plus répandus sont des sables argileux hétérogènes et hétérométriques, de couleurs variées, à grains gris, beiges, beiges-ocres, roses, ou bruns, traversés par des veinules rose-violacées ou brunâtres. Souvent aussi, ces sables sont imprégnés de taches d'oxydes de fer.

La majeure partie des plateaux ou des collines surmontant le CT est coiffée par une formation ferrugineuse brune, la latérite, d'une épaisseur de plusieurs mètres ; la latérite est un dépôt azoïque, également

très hétérogène. Sur le terrain elle affleure soit sous la forme de blocs dispersés, de diamètre compris entre 10 et 60 cm, soit en couche plus ou moins indurée de 50 cm à 2 ou 3 mètres d'épaisseur, soit encore sous la forme d'un mélange de sables argileux et de graviers. Les couches dures se marquent dans la topographie par des ruptures de pentes de plusieurs mètres de dénivellation, mais n'affleurent que rarement sur une surface supérieure à 100 m<sup>2</sup>.

De nombreuses carrières le long des pistes montrent bien que les cuirasses latéritiques varient non seulement en profondeur mais aussi latéralement : une couche peut passer, sur quelques mètres, d'une roche dure, compacte, siliceuse, brun-violacé à une roche friable ressemblant davantage à un conglomérat à matrice argileuse ou à un sable graveleux qu'à une roche. Dans ce cas, elle est facile à exploiter et peut fournir un gravier dont le diamètre des grains est en moyenne de 1 à 3 cm.

En Haute Casamance (région de Vélingara), la carte géotechnique mentionne trois niveaux cuirassés : le premier affleure vers la cote + 40m IGN, le second entre + 20 et + 30m IGN, le troisième entre les cotes 0 et + 15m IGN.

Les alluvions : Le fond des rivières et souvent des marigots, est recouvert d'alluvions récentes qui sont, pour l'essentiel, des sables fins blanc à beige clair ou des limons argileux et sableux gris. Dans l'ensemble, ces dépôts ont un bon granoclassement et une limite de liquidité assez basse.

#### 2.3.2.2 Travaux de reconnaissance sur le site du barrage

Les travaux suivants ont été réalisés :

##### Campagne géophysique

Le BRGM a effectué une campagne géoélectrique sur le site du barrage. 20 sondages électriques de longueur AB comprise entre 300 et 1000 m se répartissent sur trois profils traversant perpendiculairement la Kayanga.

L'interprétation des résultats montre la présence d'un substratum résistant compris entre 70 et 120 m de profondeur en moyenne.

Au-dessus, une épaisse série conductrice (4-10  $\Omega\text{m}$ ) pourrait correspondre aux séries du CT sous la surface hydrostatique. En surface, une couche de résistivité variable, peut aussi bien indiquer les cuirasses latéritiques que les dépôts sableux secs au-dessus de la nappe.

#### Reconnaissance géologique des fondations et de la zone d'emprunt

52 puits ont été creusés à la main de part et d'autre de la Kayanga, sur une surface d'environ 6 km<sup>2</sup>. Leur situation est représentée sur la figure 9-1. Ces puits se répartissent de la manière suivante :

- Variante d'implantation aval du barrage	5 puits sur rive gauche, 6 puits sur rive droite
- Variante d'implantation amont du barrage	7 puits sur rive gauche, 6 puits sur rive droite
- Zone d'emprunt : rive droite	12 puits
rive gauche	13 puits
- Evacuateurs de crues	3 puits

L'ensemble des puits représente une profondeur creusée totale de 237 mètres, le nombre d'échantillons de sols prélevés est d'environ 480 (1 éch. chaque 50 cm).

#### 2.3.2.3 Géologie des fondations

##### Profil aval (profil C voir figure 9-2)

Le profil géologique correspond approximativement à la variante d'implantation aval de la digue.

Sur rive gauche, la limite inférieure de la cuirasse latéritique passe entre P G C 8 et P G C 9. tandis qu'elle recouvre toute la colline jusqu'à la cote 42 m. Au-dessous d'une couche de 2 à 4 m d'épaisseur de latérite dure, on trouve des sables limoneux ou argileux beige-brun, très hétérogènes, à grains ocres, gris, roses ou bruns, contenant de nombreux grains foncés de latérite.

A PGC 8 et vers le fond du vallon, où les latérites ont été érodées, on trouve des dépôts sableux plus ou moins limoneux et argileux, hétérogènes, de couleur beige, rose, ocre ou grise, avec des passées de grains de latérite. Le plus souvent ces sables sont légèrement consolidés ; en les effritant, on observe une composition et une granulométrie très hétérogène. Aussi est-il très difficile, sinon impossible de mettre des limites entre les différentes couches, avant d'avoir les analyses granulométriques. On a affaire probablement à une série de dépôts sableux avec des passées plus argileuses ou limoneuses et contenant des grains de latérite provenant de l'érosion des collines latéritiques environnantes.

Sur rive droite, entre P D C 1 et P D C 3, on retrouve des sables limoneux et argileux bariolés avec des grains de latérite jusqu'à 3 - 4 m de profondeur.

Au-dessous, les sables deviennent plus argileux et plus homogènes, de couleur gris-beige ou beige, avec des passées à grains ocres ou bruns tendres. De P D C 4 à P D C 6 on retrouve les latérites plus ou moins dures, à passées sableuses et argileuses plus ou moins foncées.

Aucun des puits de ce profil n'a traversé des sables propres ou des argiles. La cohésion des terrains est bonne, aucun puits ne s'est effondré, même partiellement, après les premières grosses pluies du début de l'hivernage.

Profil amont (profil géologique D voir figure 9-3)

Le profil part du puits P G D 10 pour aboutir au puits P D 14, et correspond à la variante d'implantation amont du barrage.

Dans l'ensemble on rencontre les mêmes terrains que ceux du profil aval.

Sur rive gauche, les latérites constituent l'essentiel du terrain de couverture (plus de 6m d'épaisseur à P G 5) pour arriver presque jusqu'à la Kayanga. Seul le puits P G 8 légèrement en amont de l'axe du profil, sur le bord du talus de la Kayanga, a traversé des sables limoneux et argileux en surface, puis des sables bariolés gris, beiges et ocres. L'ensemble de

cette série sableuse est à nouveau hétérogène et contient de nombreux grains de latérite.

Sur la rive droite, de pente plus douce, on retrouve entre P D 5 et P D 7 un ensemble de couches diverses allant de limons peu argileux et légèrement sableux en surface à des sables fins à moyens plus ou moins limoneux entre 1 et 4 mètres et à des limons légèrement sableux gris clairs à beiges entre 5 et 7 mètres de profondeur. Ces différentes couches contiennent par place des grains de latérite.

A première vue, ce type de matériaux serait adéquat pour la construction de la digue.

Dès P D 12 on passe à des sables rosé à brun-rouge, hétérogènes, composés de grains gris, rosés, beiges ou ocres, à passées de grains de latérite dure ; on entre ensuite dans la latérite qui coiffe tout le reste de la colline.

La perméabilité des terrains de fondation a été déterminée in situ par l'exécution de 65 tests de Porchet effectués à différentes profondeurs dans les puits du site du barrage et de la zone d'emprunt.

Le test de Porchet consiste à déterminer une vitesse de filtration horizontale ou oblique d'une couche de terrain supposée homogène, et donne une bonne idée de la perméabilité des terrains rencontrés.

Ces essais ont donné des perméabilités de l'ordre de  $10^{-3}$  à  $10^{-4}$  cm/sec, rarement de  $10^{-5}$  cm/sec, avec en général, une perméabilité plus grand en surface qu'en profondeur, due à des fissures de dessiccation du sol. La valeur élevée des perméabilités pour des terrains limoneux ou argileux s'explique par la présence d'une macroporosité importante dans les sols.

#### 2.3.2.4 Etanchéité de la retenue

D'après l'étude de cartes au 1 : 200 000, il n'y a à priori pas de danger de capture importante par col, les marigots appartenant au système de la Kayanga étant éloignés de plus de 10 km des marigots appartenant aux systèmes de la

Mayol Diaobe au sud et de la Koulountou à l'est (cote de référence 40 m)

Les zones qui séparent les marigots sont en général à plus de 60 m d'altitude et devraient servir de ligne de partage des écoulements souterrains.

Il existe cependant trois zones plus critiques qui sont :

- Zone n° 1 : marigot qui part de Saré Diaye (Tiouanga) en direction du N-W et qui pourrait transférer de l'eau en direction du marigot qui aboutit plus au N-W, à Saré Digi - Saré Saidou.
- Zone n° 2 : marigot orienté vers le N-N-W passant par Bonkonto, qui pourrait transférer de l'eau en direction de Diandian - Bouroukounda - Koumbadiouma.
- Zone n° 3 : marigots aboutissant à Parumba et Vélia, orientés respectivement NW - SE et N-S, qui pourraient transférer de l'eau dans le système de la Mayol Diaobé, par les marigots de Saré Karéa et Témento.

Deux reconnaissances hydrogéologiques ont été conduites dans les zones 1 et 2. Des mesures de conductivité électrique des eaux de différents puits semblent montrer des eaux nettement différenciées d'un marigot à l'autre. Cette observation exclut en première conclusion, une communication directe du sud vers le nord, du moins à faible profondeur. Il reste cependant possible qu'une communication puisse exister à des niveaux plus profonds. L'étude de la surface piézométrique montre que les marigots de Bouroukounda (zone n° 2) et de Sané Kalilou (zone n° 1), où la nappe est anormalement basse peuvent servir d'exutoires aux eaux souterraines.

#### 2.3.2.5 Stabilité des rives

Le creusement de puits sur le site du barrage et dans la zone d'emprunt a montré une stabilité très grande des matériaux, à l'exception des puits

creusés dans les sables propres. Même après une saison des pluies, la plupart des puits n'ont montré aucun effondrement.

Les rives de la Kayanga étant partout extrêmement douces, il n'y a pas lieu de craindre des glissements de terrain. Seul un remplissage du lit de la Kayanga pourrait se faire par l'effondrement local de ses talus.

### 2.3.3 Caractéristiques géotechniques des matériaux de construction

#### 2.3.3.1 Zones d'emprunt

Un profil géologique orienté NE - SW, entre les puits P P 2 et P P 16, donne une première idée des sols de la zone d'emprunt à l'amont des deux variantes d'implantation. Sur rive gauche, en dehors d'une colline recouverte de latérites se marquant très bien dans la topographie, tous les puits ont traversé des formations sableuses plus ou moins limoneuses et argileuses, hétérogènes à grains gris, beiges, jaunes, ocres et rouges et contenant bien souvent des grains d'oxyde de fer.

Sur rive droite on retrouve le même type de matériaux, peut-être plus hétérogène d'un puits à l'autre, sauf dans P D 8, situé au bord de la Kayanga à l'extrémité d'un long marigot. Ce puits traverse en effet des couches beaucoup plus argileuses, légèrement sableuses, grises à gris beige, alluvions récentes remplissant le lit de la Kayanga.

A l'aval de ce profil, une poche de sables fins a été rencontrée sur rive gauche entre la tranchée T R 1 et le puits P G 1.

La limite inférieure de ces sables n'a pu être définie à cause de l'effondrement des puits, mais son extension semble limitée : au N W, on ne retrouve des sables qu'entre 3 et 4 m de profondeur à P P 7 ; vers l'est, seuls les puits P D 5 et P D C 1 ont recoupé respectivement entre 0 et 4 m et entre 4 et 5 m, des sables fins à moyens beiges légèrement limoneux ou argileux.

### 2.3.3.2 Réserves de matériaux

#### Les latérites

En quantité les réserves de latérite sont énormes. De part et d'autre de la Kayanga la limite d'affleurement des latérites se trouve vers la cote 34 m et recouvre les plateaux sur plusieurs Km<sup>2</sup>.

A l'aval du profil C, sur rive gauche, on peut les suivre sur près de 2 km. Il en est de même sur la rive droite où les puits P D C 6, P D C 5, P D 14, P D 13, P D 11, P D 18, P D 15 ont chacun traversé la latérite sur plusieurs mètres d'épaisseur. On retrouve ces latérites sur la piste d'accès au barrage, entre Niandouba et Saré Madia, sur près de 3 km. Sur la piste qui conduit à Parumba, on peut estimer que la latérite affleure sur près de 10 km. Des couches plus dures ou de gros blocs en surface, se marquent par de subites ruptures de pentes.

En qualité, cette latérite est très changeante et le manque d'affleurements continus ne permet pas de faire une estimation du volume pour le rip-rap, sans travaux complémentaires tels que tranchées ou forages.

#### Alluvions fines

En utilisant les matériaux rencontrés dans les puits PD 5 à PD 7, ainsi que dans les puits de la zone d'emprunt (PP 1, PP 2, PP 7, PP 8, PP 5, PP 6) sur rive gauche et (PD 8, PD 9, PD 10, PD 16, PD 1, PD 2, PD 3, PD 4) sur rive droite, pour la construction de la digue, les réserves dépassent plusieurs millions de m<sup>3</sup> ; les sables limoneux et les limons sableux pourront partout être exploités sur plusieurs mètres d'épaisseur.

#### Graviers et blocs

Au cas où l'exploitation des latérites serait impossible à cause de la mauvaise qualité des matériaux, une autre possibilité s'offre pour les graviers et les blocs. Il s'agit des carrières de "Rhyolites" exploitées pour la construction des routes à l'entrée du parc de Niokolo Koba,

quelques kilomètres après avoir traversé le village de Mansa Dala.

La roche est massive et s'exploite à l'explosif ; deux stations de concassage sur place permettent d'obtenir également des graviers plus ou moins grossiers. Les réserves sont importantes et dépassent en volume les besoins pour la digue.

### 2.3.3.3 Résultats géotechniques préliminaires

Les premiers résultats d'analyses granulométriques et des limites d'Atterberg sont résumés ci-après . Les échantillons ont été prélevés dans plusieurs puits situés dans la zone d'emprunt et sur l'axe du barrage.

Pour les puits de la zone d'emprunt, on remarque que l'indice de plasticité (IP) varie entre 5 et 16 % et la limite de liquidité (WL) entre 18 et 33 %. Dans l'ensemble il s'agit d'une alternance de sables limoneux et de limons sableux contenant toujours une proportion plus ou moins élevée d'argiles (4 à 32 %) Le pourcentage de graviers, en général nul ou faible, provient des grains de latérites contenus dans les sols.

Pour les puits situés sur l'axe du barrage, l'indice de plasticité varie entre 2 et 13 %, et la limite de liquidité entre 15 et 32 %. Là aussi, il s'agit d'une alternance de sables limoneux et de limons sableux pouvant contenir jusqu'à 30 % d'argiles.

Les premiers résultats confirment les observations géologiques, à savoir :

Il n'existe pas de limites de couches bien distinctes. Les granulométries varient non seulement en profondeur à l'intérieur d'un même puits, mais également d'un puits à l'autre.

Ainsi le puits P D 5, situé sur l'axe du barrage, près de la Kayanga sur rive droite, contient, à 3 m de profondeur, 92 % de sables, 6 % de limons et 2 % d'argiles, alors qu'à 6 m de profondeur, les proportions changent

pour atteindre 16 % de sables, 54 % de limons et 30 % d'argiles. Dans P D 6, situé à 200 m de P D 5 sur l'axe du barrage, rive droite, on a 81 % de sables.

Des essais de compactage du type Proctor ont été réalisés sur des échantillons représentatifs des zones d'emprunt potentielles. Ils ont montré que les échantillons présentent une relative constance dans la valeur du poids spécifique apparent sec qui varie entre 1,85 et 1,87 t/m<sup>3</sup> pour une teneur en eau comprise entre 12,5 et 15,0 %.

Des essais de perméabilité réalisés sur des échantillons non remaniés provenant des zones de fondation ont été exécutés. Le coefficient de perméabilité défini pour les limons argileux varie entre 10<sup>-6</sup> et 10<sup>-8</sup> cm/s.

7 essais de cisaillement direct ont été réalisés sur des échantillons non remaniés de la zone de fondation et les zones d'emprunt. L'angle de frottement interne varie entre 24 et 28° et la cohésion entre 0,16 et 0,42 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 2.3.4 Prospections et études complémentaires

##### Barrage de Niandouba

En complément des sondages électriques effectués près du site du barrage et des puits creusés sur le site et dans la zone d'emprunt, il est prévu de faire les études suivantes :

- Campagne géophysique par train électrique sur une surface d'environ 1 km<sup>2</sup> recouvrant le site de la digue et la zone amont.

L'établissement de trois cartes de résistivités pour trois profondeurs différentes devrait permettre de délimiter des zones où les propriétés telles que porosité et perméabilité restent constantes.

- Des forages en nombre limité devront permettre alors de préciser ces propriétés. Leur emplacement sera choisi en fonction des cartes de résistivités. Les forages pourront débuter en même temps que la campagne géophysique ou la suivre de près. On commencera

par 1 ou 2 forages dans les latérites pour en connaître l'épaisseur, les variations en profondeur et la nature des terrains sous-jacents.

Le matériel de forage devra être léger, transportable sur jeep, de façon à pouvoir accéder facilement sur les deux rives de la Kayanga et à pouvoir changer rapidement d'emplacement. La profondeur de chaque forage ne devrait pas dépasser 15 à 20 m. Toutefois des surprises sont possibles : poche de sable ou d'argiles, socle à très faible profondeur (voir forage Soutouré). Dans ce cas, le forage devra être approfondi de quelques mètres

#### Barrage du confluent et de l'Anambé

Les terrains de surface des sites des barrages du confluent et de l'Anambé ne devraient guère être différents de ceux rencontrés près du barrage de Niandouba.

Pour s'en assurer, il sera nécessaire de faire creuser un certain nombre de puits et de prélever des échantillons pour analyses et tests géotechniques (granulométries, limites d'Atterberg, etc....).

De plus, sur chacun des deux sites, il est prévu d'effectuer quelques profils de traînée électrique pour l'établissement de cartes de résistivités. En fonction des résultats, quelques petits forages seront exécutés pour permettre de préciser les propriétés des terrains de surface.

#### Bassin de retenue

Les études réalisées ont montré que des études complémentaires sur l'étanchéité de la retenue ne se justifient pas.

Cependant, il serait intéressant dans le cadre de la réalisation de la première phase d'aménagement, d'observer l'évolution du niveau phréatique dans la région de Bokonto-Tiniyel lors du remplissage de la retenue par la mise en place du dispositif d'observation suivant :

- Deux piézomètres à Tiniyel distants d'environ 50 m, dont l'un atteindrait l'écoulement peu profond (eaux superficielles), le second l'écoulement profond.
- Deux autres piézomètres à Bonkonto, à côté du puits CER, à plus d'un km de Tiniyel. Là aussi, l'un serait profond, l'autre peu profond.

Une surveillance des niveaux de la nappe avant et après remplissage du bassin de retenue, le contrôle de la qualité des eaux par des analyses chimiques, des mesures de conductivité électriques et des essais P permettraient de s'assurer que la nappe est en surpression.

### 3. PRINCIPES ET CONTRAINTES DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

---

#### 3.1. Contraintes topographiques et hydrauliques

##### 3.1.1. Barrage de Niandouba

L'emplacement du barrage destiné à créer la future retenue est dicté par les conditions topographiques. Le cours de la Kayanga quitte, à la hauteur du village de Niandouba une vallée large et à nombreuses ramifications, pour suivre une vallée relativement bien marquée par 2 rangées de collines orientées nord-sud. C'est sur ce tronçon de 5 km environ entre Niandouba et Missira Mamadou Ibrahima que la vallée est la plus étroite et où un barrage sera le plus économique.

La pente moyenne du cours d'eau est très faible, de l'ordre de 0,30 ‰ en amont de Niandouba et de 0,20 ‰ en aval et la vallée est très large, ce qui permet d'obtenir une accumulation importante pour une faible hauteur de retenue. Le tableau ci-après résume les volume et surface de retenue pour différentes cotes d'accumulation.

Cote IGN	Hauteur (m)	Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Surface ( $\text{km}^2$ )
21	0	0	0
26	5	7,3	3,3
30	9	60,9	23,5
34	13	212,3	52,2
36	15	350,0	75,0
38	17	524,1	103,7

Compte tenu de l'apport annuel moyen, du taux annuel d'évaporation d'une surface libre de l'ordre de 2,0 m et de la surface et du volume de la retenue à la cote 38 IGN, il est probable que cette dernière cote représentera le maximum à envisager comme niveau de retenue normale, si l'on veut maintenir les pertes par évaporation dans des limites raisonnables. La définition

du niveau de retenue normale doit cependant faire l'objet d'un calcul d'optimisation faisant intervenir l'extension du périmètre irrigué, le coût du barrage en fonction de sa taille et basé sur l'exploitation fictive du réservoir par ordinateur, tenant compte des apports naturels disponibles. (voir rapport 8).

L'objectif de la présente phase de l'étude est de fournir les éléments permettant d'optimiser la taille du barrage. Il est donc nécessaire de définir le coût de construction de ce dernier pour différentes cotes de retenue normale, ou, ce qui revient au même, pour différentes cotes de couronnement.

La définition de la cote du couronnement d'un barrage dépend de 3 éléments, à savoir le niveau de retenue normale, l'élévation de ce dernier lors du passage de la crue de dimensionnement de l'évacuateur et de la revanche calculée à partir de l'amplitude des vagues. On retient en règle générale pour le dimensionnement de l'organe d'évacuation des crues d'un barrage un événement de fréquence d'occurrence très faible, millénaire pour un barrage en béton susceptible d'être submergé sans destruction et décennal pour un ouvrage non submersible tel qu'une digue en terre. Ce dernier type d'ouvrage s'impose pour le barrage sur la Kayanga et la crue décennal définie par l'étude hydrologique sera retenue comme crue de dimensionnement. Le niveau maximum qui s'établira dans la retenue lors de son passage correspondra donc au niveau des plus hautes eaux possibles.

Le calcul de la revanche fait intervenir l'amplitude des vagues susceptibles de se produire sous l'effet d'un vent de vitesse donnée. Les formules empiriques suivantes sont utilisées pour calculer l'amplitude des vagues (H) en fonction de la vitesse maximum du vent (V) et du fetch (L = longueur rectiligne maximum mesurée sur la retenue à partir du barrage). Dans le cas de la retenue sur la Kayanga, le fetch est égal à 3 km et la vitesse maximum du vent a été admise égale à 100 km/h :

Stevenson	$H = 0,75 + 0,34 \cdot L^{0,5} - 0,26 \cdot L^{0,25}$	= 1,00 m
Molitor	$H = 0,75 + 0,032 (V \cdot L)^{0,5} - 0,27 \cdot L^{0,25}$	= 0,95 m
Creager-Justin	$H = 0,054 \cdot V^{0,48} \cdot L^{0,37}$	= 0,74 m
Kalal	$H = 0,008 \cdot V^{5/6} (L^{0,5} + L^{0,25})$	= 1,13 m

La hauteur de déferlement dépend de la pente du talus et de sa nature et s'exprime selon Westergaard par la formule suivante :

$$h_v = 3,2 \cdot H \cdot K \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

où  $\operatorname{tg} \alpha$  est la pente du talus, admise égale à  $1/3$  et  $K = 0,72$  pour un talus recouvert d'un rip-rap de protection.

En retenant la valeur la plus forte calculée pour l'amplitude des vagues on obtient pour la hauteur de déferlement :

$$h_v = 0,87 \text{ m}$$

Il est proposé de retenir une revanche totale de 1,0 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux, atteint lors du passage de la crue décennale.

### 3.1.2 Barrages de garde et du confluent

L'emplacement du barrage de garde est dicté par le schéma d'aménagement hydro-agricole retenu et en particulier par la limite sud du périmètre irrigué et l'emplacement choisi pour l'implantation des stations de pompage nécessaires pour le refoulement des eaux d'irrigation.

L'implantation du barrage du confluent dont le rôle essentiel est de créer un plan d'eau dans le lit de la Kayanga en aval du barrage de Niandouba est dictée par les conditions topographiques et la recherche de la solution optimale sur le plan de l'économie.

Le niveau du plan d'eau au repos à créer dans le lit de la Kayanga a été défini dans le cadre de l'étude des schémas d'irrigation et a été fixé à la cote 23,0 IGN, qui correspond ainsi au niveau de retenue normale. Le niveau du couronnement du barrage de garde et de celui du confluent est déterminé par celui des plus hautes eaux dans la vallée de la Kayanga. Il est donc dicté par les caractéristiques de l'évacuateur de crues du barrage du confluent et la revanche à prendre en considération pour tenir compte du déferlement dû aux vagues et qui sera prise égale à 1,0 m comme pour le barrage de Niandouba.

### 3.2 Contraintes économiques - prix d'ordre

L'objectif de la présente étude consiste d'une part à définir pour chaque ouvrage le type de construction conduisant à l'investissement minimum à conditions égales de sécurité et de coûts d'entretien. Il consiste d'autre part à préciser le coût du type d'ouvrage le plus économique pour différentes tailles afin que cette relation puisse être introduite dans le calcul d'optimisation global, faisant intervenir les autres paramètres économiques et qui permettra de définir le schéma d'aménagement et la surface du périmètre irrigué conduisant à la rentabilité la plus élevée.

L'évaluation des coûts de construction des ouvrages hydrauliques exige l'établissement de prix d'ordre concernant les principales catégories de travaux de génie civil. Ces prix d'ordre ne doivent pas être considérés comme des prix unitaires de bordereau car ils sont destinés à permettre l'établissement d'un devis réaliste en utilisant un nombre limité de postes principaux tels que : terrassement, remblais, béton, etc..... Les prix d'ordre comprennent donc en plus des dépenses directes de main-d'oeuvre, matériel et fournitures majorées des frais généraux et bénéfiques :

- les frais d'installation de chantier et leur repliement, y compris les dépenses engagées pour le logement de la main d'oeuvre
- les dépenses pour les ouvrages provisoires tels que plateformes, pistes de chantier, etc....
- les prix secondaires de bordereau.

De tels prix d'ordre sont établis à partir des coûts de construction d'ouvrages réalisés et tiennent compte ainsi des quantités effectivement mises en place . Les coûts de construction calculés sur la base de ceux-ci doivent donc être majorés pour tenir compte des travaux divers et imprévus.

L'évaluation des prix de fourniture et montage des équipements hydro-mécaniques est basée sur les prix pratiqués en Europe majorés des frais de transports Europe-Dakar et au Sénégal. Les coûts des fournitures importées sont définis hors-taxes.

Aucun ouvrage hydraulique de l'importance de ceux qui sont prévus dans le cadre du projet n'a été réalisé récemment au Sénégal. Les travaux de construction du barrage de Diama ne sont pas encore adjugés et les prix unitaires de l'entreprise qui sera retenue ne sont pas encore connus. Les prix d'ordre utilisés ont donc été basés sur des travaux réalisés dans d'autres pays d'Afrique, au Maroc en particulier, en tenant compte des différences locales relatives aux prix de main d'oeuvre et des fournitures. Des prix unitaires de travaux ont été définis pour l'évaluation des coûts des réseaux d'irrigation et des ouvrages d'alimentation de ceux-ci. Ces prix ne peuvent cependant pas être utilisés tels quels pour l'évaluation des coûts des gros ouvrages géographiquement concentrés et permettant une meilleure rentabilisation des installations de chantier donc une réduction des coûts unitaires.

Les prix d'ordre retenus pour la présente étude sont définis et explicités ci-après :

- Excavation en terrain meuble de toute nature, y compris défrichage, chargement sur camion et transport à la décharge ou au lieu de réutilisation dans un rayon de 1,0 km ..... 1 100 FCFA/m<sup>3</sup>  
Ce prix tient compte d'un supplément pour terrain plus dur (grésifié ou latéritique) sur 30 % du volume total excavé et d'un prix de transport sur pistes de chantier de FCFA 200 /m<sup>3</sup>.km. Il est basé sur les prix d'ordre utilisés pour les canaux.
  
- Remblais tout venant, y compris décapage des zones d'emprunt, extraction, transport sur 1,5 km, et compactage par 4 passes de rouleau ..... 1 300 FCFA/m<sup>3</sup>  
Ce prix est basé sur les prix unitaires retenus pour l'évaluation des coûts des canaux à savoir : décapage, extraction, transport et mise en place

- Couches de transition, y compris extraction, préparation, transport sur 50 km sur route, mise en place et compactage ... 4 000 FCFA/m<sup>3</sup>

Ce prix tient compte d'un prix de sable à la fabrication de FCFA 1000-/m<sup>3</sup>, d'un supplément de FCFA 300 /m<sup>3</sup> pour le triage, d'un transport routier de 50 km et d'un coût de mise en place et compactage de FCFA 750-/m<sup>3</sup>.

- Rip rap, y compris extraction, chargement sur camion, mise en place et réglage ..... 10 000 FCFA/m<sup>3</sup>

Ce prix est également basé sur ceux utilisés pour l'évaluation des coûts des ouvrages pour l'irrigation. Il tient compte cependant que 30 % des matériaux seront extraits des cuirasses latéritiques à proximité du site, au lieu de provenir de la carrière de Niokolo-Koba distante de 200 km.

- Gabions y compris extraction, transport et mise en place des pierres et fourniture et pose des treillis ..... 15 000 FCFA/m<sup>3</sup>

Les gabions sont essentiellement prévus pour la confection d'un muret sur le couronnement des barrages. Ils n'ont aucune fonction portante et ne sont pas soumis à l'érosion hydraulique. Ils seront réalisés à l'aide de matériaux latéritiques extraits des cuirasses dans les environs du site du barrage. Au cas où les gabions devraient être réalisés avec des pierres en provenance de la carrière de Niokolo-Koba, leur prix devrait être majoré du coût du transport soit FCFA 7 000 /m<sup>3</sup>.

- Béton de masse dosé à 300 kg de ciment par m<sup>3</sup> y compris fourniture des agrégats et du ciment, fourniture et mise en place du coffrage et de l'armature et mise en place du béton ..... 44 000 FCFA/m<sup>3</sup>

Ce prix tient compte d'un taux d'armature moyen de 50 kg/m<sup>3</sup> composée presque exclusivement de barres droites non façonnées de diamètre supérieur à 16 mm. Ce qui permet

de réduire de 10 % le prix retenu pour l'évaluation des ouvrages d'irrigation. Le prix de béton a été réduit de 15 % pour tenir compte de la concentration géographique des travaux. En revanche le prix de coffrage n'a pas été modifié (FCFA 4 000 /m<sup>2</sup>)

- Couche de non-tissé (Bidim ou similaire) y compris  
fourniture, transport et mise en place ..... 850 FCFA/m<sup>2</sup>  
Ce prix est basé sur ceux pratiqués à Dakar, majoré du  
coût du transport

#### 4. BARRAGE DE NIANDOUBA

---

##### 4.1. Retenue

Le barrage de Niandouba est la pièce maîtresse du système d'irrigation du bassin de l'Anambé puisqu'il est destiné à créer une vaste retenue pour l'accumulation des apports de la Kayanga et leur régularisation. Compte tenu des caractéristiques morphologiques régionales, la future retenue sera relativement peu profonde mais s'étendra sur une superficie importante. Aux cotes 36 et 38 IGN qui encadrent le niveau de retenue normale, les caractéristiques du bassin d'accumulation sont les suivantes :

Cote m.IGN	Volume total 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Surface km <sup>2</sup>	Longueur max. km
36	350	75,0	28
38	524	103,7	32

La situation de la retenue est donnée dans la figure 9-4 et la courbe volume-surface en fonction de la cote de retenue dans la figure 9-5.

##### 4.2. Choix du type de barrage

Les conditions topographiques et géologiques éliminent d'emblée toute solution d'un barrage en béton. En effet, la vallée présente à son point le plus resserré une largeur de 1 620 m à la cote 40 IGN, et le rocher, nécessaire pour l'appui d'un barrage en béton est recouvert d'une épaisse couche alluvionnaire. En outre en raison de l'absence à proximité du site de sources d'agrégats, le coût du béton est très élevé.

Le type d'ouvrage qui s'impose est donc un barrage en terre et les matériaux de construction disponibles à proximité limitent le choix du type. L'absence d'affleurement rocheux, susceptible d'être exploité et de fournir des enrochements élimine l'emploi d'un tel matériau. Aucun

gisement d'alluvion graveleuse susceptible d'être utilisée comme constituants perméables des corps d'appui d'une digue zonée, n'a été localisé. Les seuls matériaux de remblai disponibles sont d'une part les alluvions récentes ou subrécentes constituées de limons plus ou moins argileux et d'autre part les cuirasses latéritiques quaternaires plus ou moins altérées et comprenant à la fois des zones fortement indurées et des zones argilo-graveleuses. Ces matériaux sont relativement imperméables. Toutefois les alluvions récentes présentent une granulométrie homogène et une limite de liquidité relativement basse, ce qui n'est pas le cas des graves argileuses d'origine latéritique. Comme les terrasses alluvionnaires constituent un gisement très étendu de matériaux convenables à proximité du site, leur utilisation représente la solution la plus intéressante sur le plan économique. Compte tenu des résultats des essais d'identification des matériaux alluvionnaires et en particulier de leur granulométrie et de leur indice de plasticité, il est possible de les comparer à des matériaux du même genre, utilisés pour la construction de barrage en terre et dont les caractéristiques géotechniques ont été analysées en détail au cours des travaux. Les essais oedométriques réalisés en laboratoire sur des échantillons remaniés prélevés dans les terrasses alluvionnaires ont donné des perméabilités inférieures à  $10^{-6}$  cm/s. Un tel matériau est ainsi suffisamment étanche pour ne pas exiger de noyau plus étanche encore d'autant plus que la taille de la digue n'excèdera pas 20 m.

Toutefois, afin d'éviter la saturation progressive de la tranche inférieure de la partie aval du corps de la digue et l'apparition éventuelle de percolation dans le parement aval, il est nécessaire de placer dans le corps de la digue un drain central vertical, relié à un tapis drainant sous le corps d'appui aval de la digue. Ce dernier est ainsi complètement à l'écart de toute influence de la retenue.

Des digues de ce genre ont été réalisées fréquemment et leurs caractéristiques géométriques sont relativement semblables, la pente du parement amont est en général comprise entre 1 : 2,75 et 1 : 3,50 et celle du parement aval entre 1 : 2,0 et 1 : 3,0. Compte tenu du faible

degré de séismicité de cette région de l'Afrique occidentale, il est raisonnable de retenir pour les pentes des talus d'une digue homogène avec drain central, les valeurs suivantes :

parement amont	1 : 3,0
parement aval	1 : 2,0

Ces pentes peuvent être considérées comme prudentes compte tenu de la protection du parement amont par une couche d'enrochement grossier et de celle du parement aval par des enrochements plus fins. L'enrochement placé sur le parement amont est destiné à protéger ce dernier contre l'action des vagues. Du fait de sa granulométrie grossière il sera séparé du corps de la digue par une couche de transition plus fine et par une membrane de fibres de polyester non-tissées jouant le rôle de filtre fin. Ces membranes sont fabriquées à partir de fibres synthétiques continues, non tissées, grâce à une technique particulière par thermosondage ou autre. Elles sont utilisées depuis plus d'une dizaine d'années pour les constructions routières, les travaux de drainage et de récupération des terres et la lutte contre l'érosion partout où se révèle la nécessité de combiner les fonctions de séparation, filtrage et renforcement. Ces membranes seront également utilisées pour séparer le drain vertical des corps de la digue et isoler le tapis drainant horizontal de la fondation d'une part et du remblai susjacent d'autre part. La protection du parement aval de la digue est nécessaire pour éviter les dégradations consécutives aux précipitations. Comme cette protection n'est pas soumise à une action mécanique, elle peut être constituée par un matériau moins résistant que celle du parement amont et il est prévu d'utiliser des graviers latéritiques provenant de l'exploitation des cuirasses de latérite dure reconnues dans les environs du site.

La largeur au couronnement a été fixée à 5 m. Il comprendra une piste de 4,0 m de large. Un parapet, réalisé sous la forme d'une rangée de gabions placée au sommet du parement amont, jouera le rôle de pare-vagues supplémentaire. Ces gabions seront constitués de blocs de

latérite provenant de l'exploitation des cuirasses.

La fondation de la digue est constitué de matériaux alluvionnaires présentant des caractéristiques semblables à celles du remblai de la digue. Ces matériaux sont suffisamment imperméables pour garantir la stabilité de l'ouvrage. Toutefois, afin d'augmenter la longueur des éventuels chemins de percolation dans la couche supérieure, une tranchée de 3 m de profondeur et de 3 m de largeur au fond sera réalisée sous le corps d'appui amont. Cette tranchée sera remblayée avec les matériaux constitutifs de la digue.

Le profil type de la digue homogène avec drain central retenu dans le cadre de la présente étude est donné dans la figure 9-9. Compte tenu des caractéristiques des matériaux de construction disponibles, il ne fait aucun doute qu'une telle solution représente l'optimum économique. Les caractéristiques géométriques, et en particulier, la pente des talus devront être précisées dans la prochaine phase de l'étude par des calculs de stabilité, qui confirmeront ou permettront de raidir les pentes retenues dans le cadre de la présente phase de l'étude.

#### 4.3 Choix de l'implantation du barrage

Le choix de l'implantation du barrage doit non seulement permettre de définir l'emplacement conduisant au volume minimum de l'ouvrage pour une taille donnée mais encore de déterminer, compte tenu du coût des ouvrages annexes, tels que l'évacuateur de crues, l'emplacement permettant de réaliser le barrage le moins cher. Il est donc possible que l'ouvrage le plus économique ne soit pas celui dont le volume est le plus faible.

La vallée de la Kayanga présente juste en aval de Saré Diaye un rétrécissement légèrement plus marqué, formé par un mamelon en rive droite et par deux têtes successives à pente plus marquée en rive gauche. La distance séparant le mamelon rive droite des 2 têtes rive gauche est de 1 620 m (profil C aval) et 1 720 m (profil D amont) entre les courbes de niveau 40 IGN. 3 km à l'aval, peu après Missira Mamadou Ibrahima on

rencontre une succession de resserrement, moins marqués. Cependant, la distance séparant les courbes de niveau 40 IGN n'étant pas inférieure à 2 500 m, les sites sont en outre caractérisés par une terrasse alluvionnaire relativement large, de l'ordre de 500 - 600 m à la cote 25 IGN, le lit de la Kayanga étant à la cote 18 IGN environ.

Au site amont en revanche, le lit de la Kayanga est à la cote 21 IGN environ, la vallée est mieux marquée dans sa partie inférieure puisque sa largeur à la cote 25 IGN est inférieure à 300 m. Il est donc évident qu'à niveau de couronnement égal, le volume du barrage et donc son coût sera plus important aux sites de Missira Mamadou qu'à l'un des sites de Niandouba.

L'implantation du barrage au site de Niandouba peut se faire de deux manières, en reliant le mamelon rive droite à la tête rive gauche amont (profil D) ou à la tête aval (profil C), comme le montre la figure 9-6. Pour la comparaison des deux sites on a calculé le volume de digue pour 3 cotes de couronnement différentes en considérant un profil de digue trapézoïdal (5m de largeur en crête, talus amont de 1 : 3, talus aval de 1 : 2) avec un décapage de 0,5 m sur l'emprise de l'ouvrage. Les longueurs d'ouvrage et leurs volumes respectifs sont les suivants :

Cote couronnement	36 IGN	40 IGN	43 IGN
<u>Profil amont "D"</u>			
longueur en crête (m)	1 390	1 720	2 390
volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	295,2	605,3	939,1
<u>Profil aval "C"</u>			
longueur en crête (m)	1 330	1 620	2 160
volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	350,5	672,5	1 014,4

Bien que la longueur en crête soit plus faible au site aval, le volume de remblai nécessaire est plus important et conduit ainsi à son élimination, d'autant plus qu'il ne présente pas d'avantages pour la disposition des ouvrages.

#### 4.4 Type et disposition de l'évacuateur de crues

Le coût de l'évacuateur de crues est souvent, dans le cas d'un barrage en terre, un élément important du coût total de l'ouvrage. En outre, ses caractéristiques influencent le calage de la crête du barrage.

Au point de vue fonctionnement on distingue deux catégories d'évacuateur de crues. La première comprend les ouvrages munis de vannes dont l'ouverture est commandée par l'élévation du niveau du plan d'eau au-dessus de la cote de retenue normale. Des ouvrages de ce type permettent de limiter l'élévation du plan d'eau lors du passage des crues et par conséquent la hauteur du barrage. Ils sont en revanche plus délicats, leur entretien doit être fait régulièrement si l'on veut garantir leur bon fonctionnement qui seul permet d'éviter la submersion de la digue et sa destruction. La seconde catégorie comprend les organes à seuil fixe, qui fonctionnent dans tous les cas dès que le niveau de la retenue dépasse celui du seuil.

Dans le cas de la Kayanga, les crues sont importantes en volume mais leur débit de pointe est relativement faible. L'étude hydrologique a défini les caractéristiques de la crue décennale. Sa pointe est de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  seulement mais sa durée est de 132 jours et son volume de  $545 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . En raison de la forme aplatie de l'hydrogramme, le débit de la crue restera voisin de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant plusieurs jours, et ainsi il ne faut compter que sur un effet d'écrêtement très limité, en dépit de la grande capacité de rétention de la retenue. Il est donc justifié de dimensionner l'évacuateur de crues pour un débit maximum égal au débit de pointe de la crue, c'est à dire  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Compte tenu du débit relativement faible, la solution d'un évacuateur de crues à seuil fixe s'impose, car elle ne présente pas une longueur de crête déversante exagérée pour une élévation acceptable du plan d'eau dans la retenue. En effet les longueurs suivantes de déversoir sont nécessaires pour l'évacuation de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Charge hydraulique	(m)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Longueur déversoir	(m)	186	101	66	47	36

Divers types d'ouvrages déversants peuvent être envisagés. Les conditions topographiques permettent cependant d'envisager une solution simple et bien adaptée aux conditions de fondation. La rive gauche est formée d'une tête de cuirasse latéritique et se prête parfaitement à l'implantation d'un déversoir et d'un chenal d'évacuation ramenant dans le lit de la Kayanga les débits passant par l'évacuateur.

L'évacuateur de crue à seuil fixe peut permettre dans certains cas la limitation du débit évacué pour des crues plus faibles que celles d'une fréquence donnée. On peut ainsi, en tenant compte de la capacité de rétention de la retenue et en prenant en compte une surélévation de la taille du barrage, limiter le débit évacué, en créant un créneau dans le seuil déversant, le radier du créneau étant à la cote de retenue normale. La largeur du créneau définit le débit lâché et sa hauteur définit l'importance de la tranche d'écrêtement dont le volume doit correspondre à la partie supérieure de l'hydrogramme de la crue que l'on désire écrêter. Une telle solution n'est pas envisageable dans le cas de la Kayanga où les hydrogrammes de crue sont très aplatis mais de longue durée. On devrait disposer d'une tranche d'écrêtement très importante pour une réduction modeste du débit évacué. Ainsi si on voulait limiter à  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  le débit de la crue cinquantennale dont la pointe atteint  $190 \text{ m}^3/\text{s}$ , il faudrait disposer d'une tranche d'écrêtement de  $42 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  correspondant à une élévation du plan d'eau au-dessus de la cote 36 IGN de 0,6 m. Une limitation à  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  nécessiterait une tranche d'écrêtement de  $163 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  correspondant à une élévation de plan d'eau de 1,80 m. Il est donc peu probable qu'une limitation du débit des crues au prix d'une surélévation du barrage soit justifiable du point de vue économique.

Trois différents types d'évacuateur de crue à crête fixe ont été comparés afin de rechercher la solution la plus économique à savoir :

- Déversoir frontal
- Déversoir latéral
- Déversoir en "bec de canard"

La comparaison a été faite pour une longueur de crête déversante uniforme

de 100 m et pour un niveau de retenue normale à la cote 36 IGN , une modification uniforme de la longueur du déversoir ou de la cote de retenue normale n'influençant pas les conclusions.

L'implantation de l'évacuateur a été recherchée de manière à minimiser la longueur du chenal de restitution à la Kayanga. Ceci a nécessité une modification de l'axe de la digue et l'introduction d'une courbure dans celui-ci au voisinage du fond de la vallée. Cette disposition permet de restituer les débits de l'évacuateur dans l'axe de la rivière grâce à l'existence d'un méandre.

La disposition de principe des 3 solutions envisagées est donnée dans la figure 9-7. Les quantités de travaux et les coûts correspondants sont récapitulés ci-après :

Type d'évacuateur		Frontal	Latéral	Bec de canard
Débit évacué	(m <sup>3</sup> /s)	400	400	400
Surélévation plan d'eau	(m)	1,5	1,5	1,5
Longueur crête déversante	(m)	100	100	100
Volume d'excavation	(m <sup>3</sup> )	85 200	61 000	45 100
Volume de béton	(m <sup>3</sup> )	22 500	16 400	13 600
Volume d'enrochement	(m <sup>3</sup> )	7 200	7 200	7 200
Volume de remblai	(m <sup>3</sup> )	21 800	21 800	21 800
Coût	(10 <sup>6</sup> FCFA)	1 184	889	748
		158 %	119 %	100 %

On peut constater que l'évacuateur de crue en "bec de canard" représente très nettement la solution la plus économique, les déversoirs latéral et frontal étant respectivement 19 % et 58 % plus coûteux. La différence de coût est trop marquée pour qu'une modification des prix unitaires ou de la longueur de la crête déversante puisse modifier le classement des différentes solutions. Dans ces conditions la solution d'un évacuateur de crue "en bec de canard" est retenue pour le barrage de Niandouba.

#### 4.5 Dimensionnement du barrage et de l'évacuateur

L'étude de la disposition optimale de l'évacuateur de crue a montré qu'il convenait de modifier l'implantation du barrage en incurvant son aile rive gauche vers l'amont pour raccourcir le tracé du chenal de restitution. L'étude comparative des différents types d'évacuateur a en outre montré que la solution en "bec de canard" était la plus économique. Le coût de l'évacuateur croît cependant avec la longueur de la crête déversante alors qu'à débit évacué égal, la hauteur de la lame déversante diminue, ce qui entraîne une réduction de la hauteur et du coût du barrage lui-même.

Il s'agit donc de déterminer la longueur du déversoir conduisant au coût minimum de l'ensemble barrage-évacuateur de crues. Le coût de construction du barrage a été calculé pour 3 hauteurs de couronnement à savoir 38,0 40,0 et 42,0 m IGN sur la base des caractéristiques du profil-type définies au paragraphe 3-2. Les avant métrés et les détails estimatifs correspondants sont donnés dans les tableaux 9-1 à 9-3. Les volumes et les coûts pour les différentes cotes considérées sont les suivants :

Cote couronnement m IGN	Volume m <sup>3</sup>	Coût 10 <sup>6</sup> F.CFA
38,0	464 040	1 523
40,0	635 760	1 983
42,0	835 060	2 492

Le coût de l'évacuateur de crue a été déterminé au paragraphe qui précède pour une capacité de 400 m<sup>3</sup>/s sous une charge hydraulique de 1,5 m. Il a été calculé pour la même capacité mais en considérant des charges hydrauliques de 1,0 m et de 2,0 m correspondant à des longueurs de crêtes déversantes de respectivement 186 et 66 m. Les quantités de travaux et les coûts de construction correspondants aux 3 cas étudiés sont les suivants :

Charge hydraulique (m)	1,0	1,5	2,0
Longueur crête fictive (m)	186	100	66
Quantité de travaux :			
- Excavation (m <sup>3</sup> )	50 800	45 100	43 200
- Béton (m <sup>3</sup> )	16 400	13 600	12 700
- Enrochement (m <sup>3</sup> )	7 200	7 200	7 200
- Remblai (m <sup>3</sup> )	21 800	21 800	21 800
Coût de l'ouvrage (10 <sup>6</sup> FCFA)	878	748	706

Les quantités et coûts de construction ont été calculés pour une cote de retenue normale de 36,0 IGN qui correspond à la cote de la crête déversante. Un changement de la cote de retenue normale n'entraîne qu'une modification de la longueur et de la pente du chenal d'évacuation qui sera cependant identique pour les 3 solutions étudiées.

Compte tenu des critères de dimensionnement de la revanche au-dessus du niveau maximum atteint lors du passage de la crue décenniale définis au paragraphe 3.1.1 et de l'interpolation des coûts de la digue entre les valeurs calculées, on obtient pour les 3 dimensions considérées pour l'évacuateur les coûts de construction totaux suivants dans l'hypothèse d'un niveau de retenue normale à la cote 36,0 IGN :

Charge hydraulique sur la crête de l'évacuateur	(m)	1,0	1,5	2,0
Cote du couronnement de la digue pour RN 36 IGN	(m IGN)	38,0	38,5	39,0
Coût de l'évacuateur	(10 <sup>6</sup> FCFA)	878	748	706
Coût de la digue	(10 <sup>6</sup> FCFA)	1 523	1 634	1 744
Coût total	(10 <sup>6</sup> FCFA)	2 401	2 382	2 450

Il ressort de cette analyse que l'optimum économique est obtenu pour un évacuateur dimensionné pour un débit de 400 m<sup>3</sup>/s sous une charge hydraulique comprise entre 1,4 et 1,5 m. Cette conclusion est valable également pour une cote de retenue normale différente de celle considérée, car la progression du coût de la digue en fonction de sa hauteur est pratiquement linéaire dans la plage de variation possible du niveau de retenue normale entre 36,0 et 38,0 IGN.

Dans le cadre de la présente phase de l'étude, un évacuateur de crue à déversoir en bec de canard d'une longueur en crête fictive de 100 m sera retenu comme étant la solution la plus économique.

La disposition de l'évacuateur est donnée dans les figures 9-8 et 9-10. Ce dernier comporte un ouvrage d'entrée en forme de bec de canard, d'une longueur de 50 m et de section trapézoïdale avec une largeur au fond variant entre 10 m à l'amont et 20 m à l'aval. La longueur développée de la crête déversante est de 120 m ce qui, compte tenu de la contraction de la lame déversante à l'extrémité du bec correspond à une longueur de déversoir rectiligne de 100 m. Le fond de l'auge de réception a une pente longitudinale de 2 % permettant la mise en vitesse de l'eau. L'évacuation des débits déversés se fait par un canal trapézoïdal de 20 m de largeur au fond. La pente de ce canal est de 0,1 % sur 50 m jusqu'à 20 m en aval de l'axe du barrage. Elle passe à 17,4 % sur 60 m pour rejoindre le fond du lit de la Kayanga à la cote 21,0 IGN. Un bassin amortisseur de 40 m de long dont le fond est à la cote 20,0 IGN permet d'assurer dès son extrémité aval un écoulement tranquille dans le lit de la Kayanga. Le niveau maximum s'établissant en aval du bassin amortisseur lors du passage de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  a été estimé à la cote 27,0 IGN environ. Il devra être défini plus exactement dans le cadre de l'établissement de l'avant projet détaillé. Un pont franchissant le chenal d'évacuation est prévu dans le prolongement de la piste aménagée sur le couronnement du barrage.

Compte tenu du choix de l'évacuateur de crues et des critères de définition de la revanche, la cote du couronnement du barrage est calée 2,5 m au-dessus du niveau de retenue normale. Les quantités de travaux ont été définies pour 3 cotes de couronnement et peuvent être interpolées pour des cotes intermédiaires. Le tableau ci-après récapitule les caractéristiques des barrages pour 3 cotes de retenue normale :

Cote de retenue normale (IGN)	36,0	37,0	38,0
Volume brut à la cote RN ( $10^6 \text{ m}^3$ )	350	430	524
Cote du couronnement (IGN)	38,50	39,50	40,50
Longueur du couronnement (m)	1 600	1 705	1 820
Quantité de travaux :			
- Excavation ( $\text{m}^3$ )	64 000	70 100	76 800
- Remblai alluvionnaire ( $\text{m}^3$ )	344 000	408 000	482 000

- Drain, transition et protection aval	(m <sup>3</sup> )	102 800	115 700	129 300
- Rip-rap	(m <sup>3</sup> )	56 800	63 700	70 900
- Membrane non tissée	(m <sup>2</sup> )	120 000	134 500	149 600
- Gabions	(m <sup>3</sup> )	1 605	1 710	1 825
Volume total	(m <sup>3</sup> )	503 600	587 400	682 200
Rendement (m <sup>3</sup> accumulé par m <sup>3</sup> de barrage)		695	732	768

#### 4.6 Prise d'eau et vidange de fond

La fonction de l'ouvrage de prise d'eau et de vidange de fond est double, il doit d'une part assurer la fourniture des débits nécessaires à l'irrigation et d'autre part permettre en cas de besoin la vidange partielle ou totale de la retenue. L'organe de dotation des débits d'irrigation doit être équipé d'un dispositif permettant un réglage précis du débit. En revanche la vanne de vidange de fond ne doit pas nécessairement devoir fonctionner en ouverture partielle.

La demande en eau d'irrigation à fournir à niveau d'exploitation minimum de la retenue, a été fixée à 20 m<sup>3</sup>/s. Le débit équipé de la vidange de fond dépend des contraintes auxquelles on veut s'asservir concernant la rapidité d'abaissement du niveau de la retenue. En règle générale la vitesse d'abaissement est fonction de la hauteur du barrage, elle est d'autant plus grande que l'ouvrage est important.

On admet en règle générale que la vidange d'une retenue créée par un barrage de 60 - 100 m de hauteur doit pouvoir être réalisée en 4 - 5 semaines en année hydrologique moyenne. L'apport moyen de la Kayanga pendant le mois avec la plus forte hydraulité est de l'ordre de 35 m<sup>3</sup>/s. En voulant respecter la condition ci-dessus, la vidange de fond devrait avoir une capacité de l'ordre de 140 - 200 m<sup>3</sup>/s selon le niveau de retenue normale, ce qui nécessiterait une section d'évacuation de l'ordre de 15 - 20 m<sup>2</sup> dont les organes de contrôle seraient d'un coût élevé.

La hauteur maximum du barrage de Niandouba n'excède pas 20,0 m et sa hauteur moyenne est de l'ordre de 11,0 m. Il est donc justifié de choisir un critère de dimensionnement moins sévère que pour un ouvrage d'une taille 3 - 5 fois plus importante, et de n'exiger qu'une vidange partielle en un laps de temps donné. Il est raisonnable de dimensionner la vidange de fond pour permettre d'évacuer le tiers du volume de la retenue pendant le mois d'octobre d'une année moyenne. Dans le cas d'une retenue à la cote 38,0 IGN, le volume à évacuer pendant un mois d'octobre moyen s'élève à  $175 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , ce qui nécessite une capacité d'évacuation de la vidange de fond de l'ordre de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  compte tenu d'un apport continu de  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La recherche d'une solution économique conduit à grouper les organes de dotation et de vidange dans un même ouvrage. En outre, il est justifié de considérer la capacité totale des deux organes pour la fonction de vidange, ce qui permet d'envisager la réalisation de 2 organes identiques pouvant chacun jouer le rôle d'organe de dotation. Une telle solution simplifie la construction de l'ouvrage et réduit le coût de la vannellerie.

Les conditions d'exploitation de l'organe de vidange-dotation sont donc les suivantes :

- les deux organes doivent pouvoir débiter ensemble  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  entre le niveau de retenue normale et celui correspondant aux 2/3 de la capacité de la retenue.
- la capacité d'un organe seul doit être de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  au moins au niveau minimum d'exploitation.

Ces conditions sont remplies lorsqu'on dispose de 2 pertuis de 2,10/1,90 m dont le radier est arasé à la cote 23,40 IGN. Ils permettent d'évacuer les débits suivants :

Niveau amont (IGN) :	38,0	36,0	34,0	30,0	29,0	28,0
Débit 2 pertuis ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) :	115	108	98			
Débit 1 pertuis ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) :				35	32	27,5

Il faut remarquer qu'à pleine ouverture il se produit un vortex indésirable devant la prise d'eau lorsque le niveau amont est inférieur à la cote 31,0 IGN. Il est cependant possible d'éviter la formation de ce vortex en réduisant le débit évacué à  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui permet d'abaisser le niveau amont jusqu'à la cote 29,0 IGN sans formation de vortex.

La conduite de dotation-vidange doit être placée sous le barrage et elle doit déboucher dans le lit de la Kayanga. Son tracé qui doit être perpendiculaire à l'axe du barrage est ainsi dicté par celui du cours d'eau. L'ouvrage de prise a été implanté dans un coude de la rivière et dans le prolongement d'un tronçon rectiligne, ce qui favorise les écoulements à retenue pratiquement vide. La restitution dans la Kayanga n'exige le creusement que d'un tronçon de canal de 200 m de long.

Il est possible de poser une conduite en charge sous un barrage en terre et de placer la vanne de commande à l'extrémité aval de la conduite pour autant que tout risque de pertes d'eau, par rupture ou fissuration puisse être écarté. Des pertes d'eau dans le corps du barrage pourraient en effet entraîner sa destruction. C'est pourquoi une conduite en charge sous un barrage en terre doit d'une part être fondée sur le rocher et donc ne pas devoir subir des tassements et d'autre part être blindée. Dans le cas du barrage de Niandouba, il est impossible d'éviter les tassements du sous-sol lors du remblayage et ensuite lors de la mise en eau de la retenue. Il est donc exclu de réaliser une conduite en charge avec organe de commande à l'aval.

La disposition retenue comprend donc une tour de prise d'eau placée en partie dans le corps amont de la digue et abritant les vannes et une conduite à écoulement libre traversant le barrage. L'ouvrage est représenté dans les figures 9-8 et 9-11. La tour de prise est un ouvrage symétrique par rapport à un plan vertical perpendiculaire à l'axe du barrage. Il comprend un chenal d'approche limité par 2 murs d'ailes retenant le remblai de la digue, puis 2 trompettes d'entrée de 4,50 m de haut sur 5,00 m de large munies de grilles grossières sur lesquelles pourront s'appuyer les batardeaux de mise hors d'eau des trompettes. Les dimensions

des conduits d'amenée aux vannes sont réduites progressivement à 2,20/1,90 m au droit de la vanne plane de révision et à 2,10/1,90 au droit de la vanne secteur de réglage. Les organes de manoeuvre des vannes sont placés côte à côte dans une chambre, accessible par un puits. Le sommet de la tour est au niveau du couronnement du barrage et est relié à ce dernier par une passerelle métallique de 18,0 m de longueur.

La manoeuvre des vannes sera réalisée hydrauliquement. En raison de l'absence de source d'énergie il est nécessaire de prévoir un dispositif d'entraînement des pompes à même d'assurer en permanence la manoeuvre de la vanne de dotation. Celle-ci sera en effet commandée par les variations du niveau de la Kayanga en aval du barrage. Toute modification de la demande d'eau d'irrigation entraînera une variation du plan d'eau de la Kayanga dans le secteur du cours d'eau limité par le barrage de Niandouba, le barrage de garde et celui du confluent, qui commandera à son tour l'ouverture de la vanne de dotation en cas d'abaissement, ou sa fermeture dans le cas contraire. Il est donc nécessaire de disposer sur place d'une source permanente d'énergie pour mesurer le niveau aval et transmettre les informations à l'organe de manoeuvre de la vanne.

Il ne serait pas raisonnable ni économique de laisser tourner en permanence un groupe électrogène pour fournir l'énergie nécessaire. Il est prévu d'installer des batteries pour la mesure et la transmission du niveau aval, et des accumulateurs à huile pour la manoeuvre de la vanne. Ces accumulateurs sont constitués par des réserves d'huile hydraulique dans lesquelles sont immergés des sacs étanches remplis de gaz qui sont comprimés lors de la mise en pression de l'huile qu'ils peuvent ensuite restituer sous pression selon les besoins pour la manoeuvre de la vanne. Ces accumulateurs à huile doivent être régulièrement rechargés (1 ou 2 fois par semaine par exemple) par une petite pompe entraînée par un moteur à essence de 4 - 5 CV. Ce moteur entraînera également un petit groupe électrogène qui permettra la recharge des batteries.

En aval des deux vannes-segment, les 2 pertuis blindés débouchent dans un conduit commun de 3,5 m de large et de 3,0 m de hauteur, réalisé en béton armé et placé sous le barrage. La longueur de ce conduit dépend de la cote

du couronnement du barrage, elle passe de 54,0 à 65,0 pour un couronnement passant de 38,50 à 40,50 IGN. Le conduit débouche à l'air libre, son radier étant à la cote 23,00 IGN, dans un bassin amortisseur de 40,0 m de long et de 7,0 m de large dont le radier est à la cote 20,00 IGN. Le niveau du contre seuil du bassin amortisseur est à la cote 21,50 IGN. Un tronçon de canal trapézoïdal de 200 m de long et de 7 m de largeur au fond rejoint le lit de la Kayança.

Les quantités de travaux nécessaires pour la réalisation de l'ouvrage de dotation-vidange sont récapitulées ci-après dans le cas d'un barrage culminant à la cote 38,50 IGN.

Excavation :	tour de prise	2 900 m <sup>3</sup>
	conduit et bassin amortisseur	5 500 m <sup>3</sup>
	chenal de restitution	27 000 m <sup>3</sup>
	Total excavation	<u>35 400 m<sup>3</sup></u>
Béton :	tour de prise	2 030 m <sup>3</sup>
	conduit sous le barrage	580 m <sup>3</sup>
	bassin amortisseur	2 150 m <sup>3</sup>
	Total béton	<u>4 760 m<sup>3</sup></u>
Rip - rap :		3 800 m <sup>3</sup>

L'équipement hydro mécanique comprend les matériels suivants :

- 2 vannes segment de réglage 2,1 x 1,9 m
- 2 vannes planes de révision 2,2 x 1,9 m
- 2 grilles grossières 4,5 x 5,0 m
- 1 batardeau 5,0 x 5,5 m
- Blindage 160 m<sup>2</sup>
- Dispositif de manoeuvre, y compris accumulateur à huile
- Mesure de niveau y compris batteries
- Passerelle d'accès à la tour de prise L = 18 m

#### 4.7 Phases de construction et programme des travaux

Le climat de la Haute Casamance comprend deux saisons bien marquées, la saison des pluies - l'hivernage - de juin à octobre et la saison sèche de décembre à avril, les mois de mai et novembre étant des périodes de transition. En raison de leurs caractéristiques, les matériaux de remblai du barrage peuvent difficilement être mis en place pendant les pluies, et les zones d'emprunt peuvent être submergées dans la deuxième moitié de l'hivernage. Il est donc nécessaire de concentrer les travaux durant la saison sèche.

Les débits d'étiage de la Kayanga sont faibles. D'autre part, le volume de remblai de la digue est relativement modeste comparé à la longueur de l'ouvrage. Il est donc possible de décomposer l'exécution des travaux de construction selon les phases suivantes en admettant que ceux-ci puissent démarrer à la fin d'un hivernage.

- 1ère phase : Celle-ci correspond à la première saison sèche. La Kayanga coule dans son lit actuel, rectifié en amont de l'axe du barrage par un chenal de 250 m de long coupant un coude du cours d'eau. Les travaux suivants seront exécutés :
- décapage et fouilles du barrage rive droite, remblayage du barrage à partir de l'appui rive droite jusqu'au droit de l'ouvrage de dotation/vidange. Décapage et fouilles du barrage en rive gauche, remblayage du barrage jusqu'à la rive gauche de la Kayanga.
  - fouilles et début des bétonnages de l'évacuateur de crue et de l'ouvrage de dotation-vidange.
- 2ème phase : Elle correspond à la saison des pluies pendant laquelle seuls les travaux de bétonnage pourront être poursuivis au ralenti. La Kayanga suit toujours son cours actuel, le chantier de l'ouvrage de dotation-vidange est protégé contre les inondations par un batardeau permettant l'achèvement de la partie inférieure de la tour, du conduit sous le barrage et du bassin amortisseur.

3ème phase : Celle-ci correspond à la deuxième saison sèche. Les eaux de la Kayanga seront déviées par l'ouvrage de dotation-vidange ce qui permettra de réaliser les fouilles et le remblayage du barrage dans le tronçon d'ouvrage restant. Les travaux de bétonnage de l'évacuateur de crue se termineront ainsi que ceux de la tour de prise d'eau. Le montage des vannes sera réalisé en dérivant la Kayanga dans l'un puis dans l'autre pertuis de l'ouvrage de prise.

La construction du barrage de Niandouba pourra ainsi être réalisée en 2 saisons sèches pour autant que les travaux puissent démarrer au début d'un mois de décembre. Cela signifie que la route d'accès au site devra être exécutée antérieurement, c'est-à-dire durant la saison sèche précédente.

Le programme des travaux est donné sous forme graphique dans la figure 9-12. Le laps de temps prévu pour le remblayage du barrage est de 8 mois, ce qui correspond à une cadence mensuelle de mise en place de 63 000 m<sup>3</sup> à 86 000 m<sup>3</sup> selon la taille du barrage (couronnement à la cote 38,50 IGN ou 40,50 IGN). Les cadences journalières moyennes de mise en place sont respectivement de 3 200 et 4 300 m<sup>3</sup>/j, ce qui, compte tenu de la grande longueur du barrage peut être réalisé sans problème. La période de bétonnage couvre 8 mois de saison sèche et 5 mois d'hivernage. Compte tenu du volume de béton à mettre en place (de l'ordre de 18 500 m<sup>3</sup>) la cadence moyenne de mise en place en admettant 10 jours de bétonnage par mois serait de l'ordre de 200 m<sup>3</sup>/jour.

#### 4.8 Coût de construction

Les coûts de construction du barrage pour les 3 cotes de retenue normale considérées ont été calculés à partir des prix d'ordre et des avant-métrés qui ont été donnés dans les paragraphes qui précèdent. Ils sont donnés dans le tableau 9-4 dont les postes principaux sont récapitulés ci-après :

Niveau de couronnement (IGN)	38,5	39,5	40,50
------------------------------	------	------	-------

Coûts de construction ( $10^6$  FCFA)

1. Barrage	1 620	1 845	2 090
2. Evacuateur de crues	748	752	758
3. Dotation/vidange-génie civil	265	270	275
4. Dérivation provisoire	57	57	57
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total génie civil	2 690	2 924	3 180
5. Equipement hydro-mécanique	160	160	160
6. Divers et imprévus 10 %	285	308	334
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Coût de construction	3 135	3 392	3 674

Coût du $m^3$ de barrage (FCFA/ $m^3$ )	6 210	5 741	5 356
Coût du $m^3$ accumulé (FCFA/ $m^3$ )	9,0	7,9	7,0

Au coût de construction de l'ouvrage proprement dit s'ajoutent ceux de la route d'accès au barrage d'une longueur de 15 km et qui peuvent être estimés à  $300 \cdot 10^6$  FCFA. La retenue submergera une superficie de l'ordre de  $75 \text{ km}^2$  de savane légèrement boisée sauf le long du cours de la Kayanga où existe une forêt-galerie assez dense. Si pour la sécurité du fonctionnement des organes de vidange du barrage, l'enlèvement des arbres dans la retenue n'est pas nécessaire, un déboisement s'avèrera peut être indispensable si l'on veut permettre le développement de la pêche dans la future retenue. En effet, la présence d'arbres morts, pourrissant lentement, est une entrave d'une part au développement des poissons et d'autre part à la pêche au filet. L'évaluation du coût du déboisement est difficile car dépendant des possibilités d'utilisation locale du bois abattu. Il ne devrait cependant pas dépasser 40 000 FCFA/ha, correspondant ainsi à  $300 \cdot 10^6$  FCFA environ pour l'ensemble de la retenue.

## 4.9 Usine hydro-électrique au pied du barrage

### 4.9.1 Généralités

La réalisation d'un barrage sur un cours d'eau crée une différence brusque de niveau dans son lit qu'il est possible d'utiliser pour la production d'énergie électrique. Il semble ainsi peu raisonnable de réaliser à la sortie du pertuis de dotation d'eau d'irrigation un bassin amortisseur destiné à dissiper l'énergie qui pourrait être utilisée pour l'entraînement d'une turbine et d'un alternateur.

En raison de sa taille modeste, le barrage de Niandouba ne permet cependant que la production d'une quantité relativement faible d'énergie électrique. En effet, en admettant un niveau de retenue normale à la cote 37.00 IGN, un niveau minimum d'exploitation à la cote 30.00 IGN et un niveau de restitution aval à la cote 23.00 IGN, la chute brute utilisable varie entre 14.0 et 7.0 m. Le centre de gravité de la tranche utilisable dans la retenue est à la cote 34,50 IGN. Compte tenu d'un apport annuel moyen utilisable de l'ordre de  $220 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (déduction faite des pertes par évaporation), des pertes de charges et d'un coefficient de rendement global de 85 %, la production possible en année moyenne est d'environ  $6,0 \cdot 10^6 \text{ kwh}$ .

En raison des ressources hydrauliques limitées, l'eau est réservée en priorité aux irrigations. En outre, le schéma de distribution de l'eau d'irrigation exige le maintien d'un niveau constant au pied aval du barrage, une variation de ce niveau entraînant la manoeuvre de la vanne de dotation jusqu'au rétablissement du niveau. Une usine hydro-électrique serait donc asservie également au niveau aval et son programme de production serait totalement assujéti à celui de la fourniture de l'eau d'irrigation.

Dans le stade final d'aménagement, une usine hydro-électrique ne pourra donc jouer que le rôle de complément à une autre source d'énergie électrique. Il serait alors possible d'injecter dans le réseau local, la production de l'usine de Niandouba pour autant toutefois que la demande du réseau soit toujours supérieure à la puissance fournie par l'usine hydro-électrique. Ceci sera nécessairement le cas dans la région du projet où toute l'eau d'irrigation doit être pompée sur une dénivellation supérieure à la chute

utilisable par l'usine. Il y aura donc toujours concordance entre production et demande.

On peut cependant envisager qu'au cours de la période d'aménagement du périmètre, au cours de laquelle les surfaces irriguées et les besoins en eau augmenteront progressivement, il soit économiquement justifié d'utiliser le potentiel hydro-électrique disponible pour couvrir les besoins en énergie de pompage jusqu'au moment où celui-ci sera insuffisant et qu'il soit nécessaire de trouver une autre source d'énergie.

Les caractéristiques de l'usine seront fondamentalement différentes pour chacun des cas sus-mentionnés. Dans le premier cas, l'usine hydro-électrique n'étant qu'une source secondaire d'énergie, l'usine sera dimensionnée en fonction du débit maximum à fournir pour l'irrigation du périmètre dans son stade final d'aménagement. En revanche, dans le 2<sup>e</sup> cas, l'usine sera dimensionnée de manière à fournir la puissance nécessaire pour le pompage de l'eau d'irrigation d'un périmètre réduit, dont la superficie sera limitée, les besoins en énergie de pompage devant être couverts par la production de l'usine.

Les deux solutions sont brièvement décrites ci-après :

#### 4.9.2 Usine pour le stade final d'aménagement

L'usine étant destinée à être une source complémentaire d'énergie, sa réalisation devra donc être différée jusqu'au jour où les autres sources d'énergie électrique seront disponibles, c'est-à-dire vraisemblablement 10 ou 15 ans après la construction du barrage de Niandouba. Elle doit être donc conçue de façon à pouvoir être construite plus tard, sans hypothéquer la fourniture d'eau d'irrigation à partir du barrage.

Il est donc nécessaire de prévoir lors de la construction du barrage les aménagements permettant la construction ultérieure de l'usine. Le principe retenu pour la conception des ouvrages d'amenée d'eau à l'usine consiste à doubler le conduit traversant le barrage. Le premier conduit sera commandé par une vanne secteur et sera utilisé avant la construction de l'usine

comme conduit de dotation pour l'irrigation puis dans le stade final comme pertuis de vidange de fond. Le deuxième conduit sera commandé par une vanne plane et pourra fonctionner comme vidange de fond jusqu'au moment de la construction de l'usine à partir duquel il abritera la conduite forcée alimentant cette dernière.

La recherche d'une solution aussi économique que possible a orienté l'étude sur une usine équipée d'un seul groupe, susceptible d'utiliser au mieux les débits lâchés pour l'irrigation. Compte tenu d'une part de la grande variabilité de la demande d'eau d'irrigation durant l'année et d'autre part de la variation importante de la chute disponible, un groupe du type "bulbe" a été choisi afin de minimiser les dimensions de l'usine, et le débit équipé a été fixé à  $13,0 \text{ m}^3/\text{s}$  dans le cadre de cette phase de l'étude. Il sera évidemment nécessaire de procéder ultérieurement à un calcul d'optimisation en vue de définir les caractéristiques de l'usine lorsque seront précisées l'étendue finale du périmètre agricole et la capacité définitive de la retenue de Niandouba.

En admettant un niveau de retenue normale à la cote 36,0 IGN, un niveau d'exploitation minimum à la cote 29,0 IGN et un niveau de restitution à la cote 23,0 IGN, les caractéristiques du groupe bulbe sont les suivantes :

Chute brute	Hb (m)	13,0	11,0	6,0
Chute nette	Hn (m)	12,2	10,2	5,2
Débit maximum	Q. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	13,0	13,0	13,0
Puissance de la turbine	Pt (KW)	1420	1190	560
Nombre de tour	n	282	282	282
Puissance de l'alternateur	(kW)	1350	1130	530

Le groupe bulbe est placé dans un bâtiment de  $16,0 \times 9,0 \text{ m}$ . L'axe du groupe est à la cote 23,60 IGN, le plancher de la salle de la machine étant à la cote 23,00 IGN. Les services auxiliaires sont disposés à l'étage au-dessus, dont le plancher est à la cote 29,50 IGN.

L'ouvrage de prise d'eau diffère de celui qui est décrit au paragraphe 4-6 par la suppression de la vanne segment du pertuis de droite et par

l'élargissement de ce dernier, consécutif au dédoublement du conduit traversant le barrage. La largeur de l'ouvrage passe ainsi à 15,90 m. Il comporte également une tour qui abritera les organes de commande des vannes ainsi que les accumulateurs à huile et le moteur à essence destiné à leur recharge, et à la manoeuvre locale des vannes. La tour est accessible par une passerelle métallique depuis le couronnement du barrage.

Les deux conduits traversant le barrage sont indépendants et de forme circulaire. Le conduit de gauche a un diamètre intérieur de 3,00 alors que le conduit de droite qui abritera par la suite la conduite forcée de l'usine, a un diamètre intérieur de 3,60 m. Cette dernière aura un diamètre de 2,30 m et sera posée sur des appuis réglables de manière à permettre la compensation d'éventuels tassements après son montage.

Le bassin amortisseur à la sortie du conduit de gauche à la même longueur que celui décrit au paragraphe 4.6. Sa largeur est en revanche portée à 13 m au débouché de l'aspirateur de la turbine. L'usine empiètera ainsi sur l'emprise du bassin amortisseur élargi dont le fonctionnement sera pourtant garanti même avant la réalisation de l'usine pour laquelle seul le cuvelage sera réalisé en première phase.

La disposition de l'ouvrage de prise et de l'usine est donnée dans la figure 9-13 qui indique également quelles parties d'ouvrage seront réalisées en première phase, c'est-à-dire pendant la construction du barrage.

Les quantités de travaux et les coûts qui en résultent sont récapitulés ci-après :

1ère phase :		coût (10 <sup>6</sup> FCFA)
Excavation	- ouvrage de prise	3 200 m <sup>3</sup>
	- conduit et bassin amortisseur	6 400 m <sup>3</sup>
	- chenal aval	27 000 m <sup>3</sup>
		<hr/>
		36 600 m <sup>3</sup> x 600 F *
		22,0

\* prix réduit (sans terrain latéritique, transport réduit).

La comparaison du coût des travaux de première phase avec et sans usine montre que le coût supplémentaire occasionné par l'agrandissement de l'ouvrage en prévision de la réalisation ultérieure de l'usine hydro-électrique est modeste puisqu'il n'atteint que  $80 \cdot 10^6$  FCFA y compris les divers et imprévus.

Le coût de l'usine proprement dite, déduction faite de celui de l'ouvrage de prise d'eau/vidange qui aurait été nécessaire pour l'irrigation seulement est de  $510 \cdot 10^6$  FCFA, ce qui ramené à la puissance installée de 1350 KW correspond à un coût unitaire de 380 000 FCFA/KW installé. En admettant une production annuelle d'énergie possible de  $4.0 \cdot 10^6$  kwh en année moyenne et un taux de charges annuelles de l'ordre de 15 %, le prix de revient de l'énergie est voisin de 20,0 FCFA/kwh, ce qui, compte tenu du prix local du carburant, pourrait éventuellement s'avérer plus économique que de l'énergie d'origine thermique.

## 5. BARRAGE DU CONFLUENT

---

### 5.1 Généralités

Le barrage du confluent est destiné à contrôler le niveau de la Kayanga en aval du barrage de Niandouba en le maintenant pendant les périodes d'irrigation au voisinage de la cote 23,00 IGN. Il créera la bêche de pompage nécessaire pour le refoulement des débits destinés à l'irrigation par les stations de pompage situées aux deux extrémités du barrage de garde sur l'Anambé.

Le barrage du confluent sera en outre le premier ouvrage hydraulique qui sera réalisé pour le développement de la première tranche de 1 000 ha irrigués. Il permettra en effet la constitution dans les vallées de la Kayanga et de l'Anambé, d'une réserve de l'ordre de  $59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  à la cote 22,30 IGN permettant l'irrigation de cette première tranche pendant la saison sèche.

Les contraintes hydrauliques pour le dimensionnement du barrage du confluent ont été définies au paragraphe 3.1.2 pour le stade final d'aménagement qui prescrit l'établissement d'un plan d'eau à la cote 23,00 dans la vallée de la Kayanga. Toutefois, lors de l'aménagement de la première tranche du périmètre qui interviendra avant la construction du barrage de garde sur l'Anambé, il est nécessaire de limiter le niveau de retenue normale dans la Kayanga à la cote 22,30 IGN et d'éviter que ce niveau ne dépasse la cote 23,20 IGN lors du passage d'une crue décennale. Cette contrainte supplémentaire impose une conception de l'évacuateur de crue particulière, ce dernier devant pouvoir être réhaussé une fois achevée la construction du barrage de garde sur l'Anambé.

Dans la première phase de l'aménagement, le barrage du confluent permettra de constituer une réserve d'eau dans les vallées de la Kayanga et de l'Anambé d'un volume total de  $59 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  à la cote 22,30 IGN, ce qui donne un volume utile de  $48 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  si l'on admet le niveau minimum d'exploitation à la cote 20,50 IGN. La construction ultérieure du barrage

de garde réduira très fortement le volume accumulable en amont du barrage du confluent, celui-ci étant réduit à  $11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  à la cote de retenue normale de 23,00 IGN qui s'établira après le réhaussement du seuil de l'évacuateur de crues.

## 5.2 Choix du site et du type d'ouvrage

L'emplacement du barrage est dicté par les conditions morphologiques de la vallée qui se présentent 300 m en aval du confluent de la Kayanga et de l'Anambé. A cet endroit la rivière coule au pied d'une colline relativement raide en rive droite. La rive gauche en revanche est formée d'un plateau quasi horizontal aux environs de la cote 24,00 IGN. La largeur de la vallée à la cote 23,00 IGN n'est que de 190 m et le fond du lit est à la cote 16,00 IGN environ (voir figure 9-15).

Du point de vue géologique, la rive droite semble être constituée par une zone de cuirasse latéritique alors que le plateau de la rive gauche est formé par des dépôts alluvionnaires composés de limon-sableux plus ou moins argileux et faiblement consolidés. La hauteur de barrage n'excèdera pas 10,0 m et pour un tel ouvrage des investigations géologiques n'étaient pas nécessaires dans le cadre de la présente phase de l'étude, d'autant plus que l'observation visuelle des terrains de couverture, a montré que ceux-ci ne diffèrent pas de ceux rencontrés au site de Niandouba. Une campagne de reconnaissance par géophysique, puits et sondage, est cependant prévue dans la 2ème phase de l'étude pour l'établissement de l'avant-projet détaillé.

Compte tenu des conditions géologiques et de la nature des matériaux alluvionnaires disponibles, la solution d'une digue en terre homogène s'impose. Comme la hauteur du barrage ne dépassera pas 10,0 m il n'est pas nécessaire de prévoir un drain central d'autant plus que le niveau aval est susceptible de dépasser la cote 22,00 IGN lors du passage d'une crue exceptionnelle.

Le profil type retenu est composé d'un massif homogène trapézoïdal. L'inclinaison des talus amont et aval a été fixée à 1 : 3,0 comme celle du parement amont du barrage de Niandouba. La largeur au couronnement est de 5,0 m. Les parements amont et aval seront recouverts d'une couche de protection en gravier latéritique de 2,0 m mesurés horizontalement, qui sera séparée du

corps du barrage par une membrane synthétique non tissée destinée à éviter sa contamination par l'entraînement de matériaux fins du corps de la digue lors de l'abaissement du plan d'eau extérieur. Cette protection est renforcée sur la partie inférieure du parement amont en dessous de la cote 24,0 IGN par une couche de 2 m d'enrochements de carrière mesurés horizontalement. Une tranchée de 3,0 m de profondeur sera excavée dans la fondation de la digue et sera remblayée avec les matériaux constituant cette dernière afin d'augmenter le chemin de percolation et jouer le rôle d'un parafouille. Le profil type retenu pour le barrage dont le couronnement est à la cote 26,0 IGN est donné dans la figure 9-16.

Les caractéristiques principales du barrage représenté dans la figure 9-15 ainsi que les volumes de travaux nécessaires sont récapitulés ci-après :

- cote du couronnement	26,0	IGN
- longueur en crête	210,0	m
- largeur au couronnement	5,0	m
- hauteur max. au-dessus fondation	10,5	m
- volume du corps homogène	27 600	m <sup>3</sup>
- volume couches de protection	4 800	m <sup>3</sup>
- volume rip-rap	1 600	m <sup>3</sup>
	<hr/>	
Volume total de la digue	34 000	m <sup>3</sup>
- surface membrane non tissée	7 900	m <sup>2</sup>
- volume des fouilles du barrage	8 000	m <sup>3</sup>

### 5.3 Ouvrages annexes

#### 5.3.1 Evacuateur de crues

Les conditions topographiques et en particulier l'existence du plateau sur rive gauche se prêtent à la réalisation d'un déversoir frontal de grande longueur. Les contraintes de niveau amont et la recherche d'une solution bon marché ont orienté le choix de l'organe d'évacuation des crues vers la solution d'un seuil déversant muni d'un créneau dont le

radier est arasé à la cote de retenue normale. Le créneau sera constitué par un chenal rectangulaire bétonné de 20 m de largeur et de 60 m de long. Ce chenal présente une contre-pente de 1 % sur le tronçon de 10 m en amont de l'axe du barrage et son radier culmine à cet endroit à la cote 22,30 IGN correspondant au niveau de retenue normale imposé pour la première phase du développement agricole. La pente du canal en aval est de 0,5 %. Le canal bétonné est prolongé en amont par un chenal d'approche horizontal en terre calé à la cote 22,10 de forme trapézoïdale et de 30 m de largeur au fond. Il est prolongé en aval par un chenal d'évacuation en terre de mêmes dimensions et de 0,5 % de pente. Après la construction du barrage de garde sur l'Anambé un seuil déversant de 0,7 m de hauteur, calé à la cote 23,00 IGN sera réalisé dans le canal bétonné au droit de l'axe du barrage pour réhausser le niveau de retenue normale. Pour satisfaire à la condition imposée de ne pas dépasser la cote 23,20 IGN lors du passage d'une crue décennale de  $140 \text{ m}^3/\text{s}$  jusqu'à la construction du barrage de garde sur l'Anambé, il est nécessaire de niveler le plateau rive gauche à la cote 22,60 IGN sur une bande de 200 m de large, le long du chenal décrit plus haut. Une double rangée de gabions de  $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ , sera enterrée dans la zone nivelée dans le prolongement de l'axe du barrage pour éviter la formation de rigoles d'érosion dans cette zone lors du passage des crues et y maintenir le terrain à son niveau initial de 22,60 IGN.

Après la construction du barrage de garde, qui permettra le relèvement du plan d'eau amont à la cote 23,00 IGN, il sera nécessaire de prolonger le barrage par un seuil déversant dans la zone nivelée. Ce seuil arasé à la cote 23,60 IGN sera réalisé en gabions avec un massif étanche en amont. Ce massif a une largeur en crête de 2,0 m et un talus amont incliné à 1 : 2. Il est composé des alluvions sablo-limoneuses utilisées pour le corps du barrage et est recouvert d'un tapis de 0,30 m d'épaisseur de tout-venant latéritique similaire à celui utilisé pour le revêtement des pistes. Les gabions sont disposés en escalier sur 3,0 m puis forment un tapis de 5,0 m de large au pied aval du déversoir.

Le débit de la crue décennale considérée pour le dimensionnement du barrage de Niandouba est de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondant à la capacité de

l'évacuateur de crues. Si on admet que le débit de crue d'un cours d'eau croît avec la racine carrée de l'augmentation de la surface du bassin versant, la crue décamillénale au barrage du confluent serait de  $510 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le passage d'un tel débit par l'évacuateur de crue défini ci-dessus entraînera une élévation du plan d'eau de 1,80 m au-dessus du niveau de retenue normale de 23,00 IGN. Le niveau des plus hautes eaux amont est ainsi à la cote 24,80 IGN. Le choix de la cote 26,00 IGN pour le couronnement du barrage satisfait ainsi les critères imposés pour le calcul de la revanche.

Les caractéristiques de l'évacuateur de crues sont données dans les figures 9-15 et 9-17, les volumes de travaux nécessaires étant récapitulés ci-après :

1ère phase (RN 22.3)- terrassements	133 600 m <sup>3</sup>
- béton	420 m <sup>3</sup>
- gabions	425 m <sup>3</sup>
2ème phase (RN 23.0) - béton	20 m <sup>3</sup>
- remblai tout-venant	800 m <sup>3</sup>
- remblai latéritique	250 m <sup>3</sup>
- gabions	1 000 m <sup>3</sup>

### 5.3.2 Organe de vidange

L'organe de vidange est conçu en fonction des conditions de fonctionnement suivantes :

- Permettre en année moyenne, de maintenir le niveau de retenue amont à la cote 21,0 IGN, ce niveau aval étant admis à la cote 18,0 IGN. Ceci veut dire que la capacité de la vidange doit être supérieure ou égale au débit mensuel moyen du mois à la plus forte hydraulité, c'est-à-dire  $35,4 \text{ m}^3/\text{s}$  en octobre.
- Permettre le lâcher d'un débit de dotation de l'ordre de  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ces conditions d'exploitation pourraient être satisfaites par une vanne

segment. Toutefois il est plus économique de prévoir 2 vannes planes, l'une pour la fonction de vidange, l'autre pour celle de dotation.

Les calculs hydrauliques ont montré que la section de la vanne de vidange devait être de  $6,0 \text{ m}^2$  et qu'un by-pass circulaire de 600 mm de diamètre permettait une dotation de  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une charge hydraulique de 3,0 m.

L'ouvrage de vidange est représenté dans la figure 9-17. Il comporte une tour d'entrée fondée à la cote 16,00 IGN sur la rive gauche de la Kayanga, et dont la partie inférieure est dans le remblai amont du barrage. Le pertuis de vidange comporte une trompette d'entrée contrôlée par une grille grossière de 4,5/5,5 m sur laquelle pourra s'appuyer le batardeau qui sera mis en place lors des révisions de la vanne. Celle-ci est rectangulaire (2,0/3,0 m) et à commande manuelle. Une conduite métallique de 600 mm de diamètre et commandée par une vanne plane court-circuite la vanne de vidange et restituera les débits de dotation dans le conduit bétonné de 3,0 x 3,0 qui traverse le barrage. Le radier de la vidange est arasé à la cote 18,00 IGN à l'entrée. Il est à la cote 17,83 IGN à sa sortie dans un bassin amortisseur de 21,0 m de long et de 4,50 m de large, dont le fond est arasé à la cote 16,00 IGN. Un contre-seuil à la cote 17,00 IGN marque le point de restitution dans le lit de la Kayanga.

Les volumes de travaux nécessaires sont les suivants :

- terrassements	500 $\text{m}^3$
- béton	1 900 $\text{m}^3$

#### 5.4 Coûts de construction et programme des travaux

##### 5.4.1 Coûts de construction

Le coût de construction du barrage du confluent a été calculé sur la base des volumes de travaux indiqués aux paragraphes qui précèdent et des prix d'ordre définis pour le barrage de Niandouba, majorés de 15 % en ce qui concerne le génie-civil. Cette majoration a été introduite pour tenir compte

de l'ampleur réduite des travaux et ainsi de la part plus grande, prise dans les coûts par les frais de mobilisation, installation et replis. En revanche les prix unitaires de l'équipement hydro-mécanique n'ont pas été modifiés.

Le détail estimatif est donné dans le tableau 9-5 et ses postes principaux sont récapitulés ci-dessous :

Coûts de construction	10 <sup>6</sup> FCFA
Barrage	99,7
Vidange : génie civil	96,7
équipement	80,0
Evacuateur : 1ère phase	120,8
2ème phase	20,9
	<hr/>
Divers et imprévus 10 %	41,9
	<hr/>
<u>Total 10<sup>6</sup> FCFA</u>	<u>460,0</u>

Au coût de construction du barrage proprement dit s'ajoutent ceux de la route d'accès de 8 km reliant le barrage au pont de Kounkané et qui sont estimés à 160 10<sup>6</sup> FCFA.

En outre, il conviendra de déboiser l'emprise de la future retenue dans la zone située au-dessous de la cote 23,00 IGN ce qui représente une superficie de l'ordre de 500 ha dont la plus grande partie comprend la forêt-galerie. Un prix à l'hectare de 100 000 FCFA pour le déboisement et l'incinération peut être admis, ce qui correspondrait à un coût total de l'ordre de 50 . 10<sup>6</sup> FCFA.

#### 5.4.2 Programme des travaux

Les travaux de construction du barrage peuvent être réalisés en une seule saison sèche pour autant qu'ils puissent démarrer avant un 1er décembre et que la route d'accès ait été construite auparavant. La

conduite de vidange devra être réalisée parallèlement à l'excavation des fouilles du barrage, dont le remblayage pourra commencer dès que les débits d'étiage de la Kayanga pourront être dérivés par le conduit de vidange.

Le chemin critique dans ce programme passe par la date de fourniture des pièces fixes de la vanne de vidange et du conduit de by-pass y compris son organe de commande. Le matériel hydro-mécanique prévu étant de construction simple, sa fourniture dans des délais compatibles avec le programme de l'entreprise de génie-civil ne devrait pas poser de trop gros problèmes.

## 6. BARRAGE DE GARDE

---

### 6.1. Généralités

Le barrage de garde est destiné à contrôler les écoulements dans l'Anambé et doit en particulier remplir les fonctions suivantes :

- Il doit assurer la protection de la cuvette de l'Anambé contre les inondations dues au refoulement de la Kayanga lorsque cette dernière est en crue.
- Il doit permettre l'accumulation dans le fond de la cuvette de l'Anambé d'une partie des apports de ce cours d'eau afin de compléter les réserves en eau d'irrigation en années sèches.

Les conditions d'exploitation ont été définies dans l'étude du schéma d'aménagement et les caractéristiques hydrauliques qui en sont résultées ont été précisées au paragraphe 3.1.2 qui précède. En outre, l'étude préliminaire du barrage du confluent, qui fait l'objet du chapitre 5, a permis de définir le niveau maximum susceptible d'être atteint dans la vallée de la Kayanga au site de ce barrage lors du passage d'une crue de fréquence décennale de  $510 \text{ m}^3/\text{s}$  à savoir la cote 24,80 IGN. Dans ces conditions on peut retenir pour le barrage de garde les niveaux caractéristiques suivants :

Niveau aval normal	23,0	IGN
Niveau aval maximum	25,0	IGN
Niveau aval minimum	18,0	IGN
Niveau amont maximum normal	21,50	IGN
Niveau de couronnement	26,0	IGN

### 6.2 Choix du site et du type d'ouvrage

Le site du barrage de garde a été imposé par les résultats des études pédolo-

giques et agronomiques qui ont fixé les limites du périmètre agricole et l'emplacement des stations de pompage. Le barrage se trouve ainsi à 1 300 m en aval du pont route de Kounkané.

La vallée est large et légèrement asymétrique. Le fond est à la cote 18,00 IGN environ et la distance séparant les cotes 25,00 IGN sur chacune des rives est de 1 700 m.

Les conditions de fondation sont pratiquement identiques à celles rencontrées à Niandouba. Il s'agit de sols alluvionnaires sablo-limoneux à granulométrie homogène qui sont relativement étanches et qui en outre conviennent parfaitement comme matériau de remblai d'une digue en terre homogène. Ce type de barrage est le seul envisageable compte tenu de l'éloignement des carrières susceptibles de fournir des matériaux convenables pour les corps d'appui d'une digue en terre zonée avec noyau central étanche.

En raison de la faible hauteur du barrage, qui ne dépasse pas 8,0 m au-dessus du terrain naturel, il n'est pas nécessaire de prévoir un drain central.

Le profil type retenu comprend ainsi un massif homogène trapézoïdal, l'inclinaison des parements amont et aval étant 1 : 3 et la largeur au couronnement étant de 5,0 m. Les parements sont protégés contre l'érosion par une couche de graves latéritiques de 2,0 m mesurés horizontalement, qui sera séparée du corps de la digue par une membrane synthétique non tissée destinée à éviter la contamination de la couche de protection lors de l'abaissement du plan d'eau extérieur. Cette protection est renforcée sur la partie inférieure du parement aval jusqu'à la cote 24,0 IGN par une couche d'enrochement de carrière de 2,0 m mesurés horizontalement. Une tranchée de 3,0 m de profondeur, remplie par la suite de matériau de remblai de la digue, est prévue dans la fondation à l'aplomb de l'axe du barrage comme parafouille pour augmenter le chemin de percolation possible et réduire ainsi les pertes par infiltrations.

Les caractéristiques principales du barrage ainsi que les volumes de

travaux nécessaires sont récapitulés ci-après :

Cote du couronnement	26,00	IGN
Longueur au couronnement	1 600	m
Largeur au couronnement	5,0	m
Hauteur max. au-dessus fondation	8,0	m

Avant métré :

Volume d'excavation	51 000	m <sup>3</sup>
Corps de la digue	138 000	m <sup>3</sup>
Couches de protection	28 000	m <sup>3</sup>
Rip rap	7 600	m <sup>3</sup>
- volume total de la digue	173 600	m <sup>3</sup>
Membrane non tissée	44 100	m <sup>2</sup>

Le plan de situation du barrage et le profil type de l'ouvrage sont donnés dans les figures 9-18 et 9-19.

### 6.3 Ouvrages annexes

Les organes de transfert d'eau d'un côté à l'autre du barrage de garde font partie de l'équipement des stations de pompage qui seront installées à chacune des extrémités du barrage. Ils sont décrits dans le rapport n° 10 consacré aux stations de pompage et ouvrages annexes.

Le barrage de garde constitue un obstacle pour l'écoulement des crues de l'Anambé dont le débit dépasse la capacité des organes de passage prévus aux 2 extrémités du barrage. Pour éviter la submersion de la digue en cas de crues exceptionnelles, il est prévu d'en réaliser un tronçon de 100 m de longueur à la cote 25,00 IGN jouant le rôle de déversoir de sécurité. Ce tronçon de barrage submersible a une largeur en crête de 11,0 m et le parement côté Kayanga est protégé par un tapis de gabions de 0,30 m d'épaisseur entre les cotes 23,00 et 25,00 IGN (voir figure 9-19). La capacité de cet ouvrage déversant est d'environ 170 m<sup>3</sup>/s, le niveau amont étant à la cote 26,00 IGN. En cas d'évènement encore plus exceptionnel

la crête du barrage ne sera submergée que par une lame d'eau très faible qui ne produira que des dégâts mineurs à l'ouvrage car le niveau aval sera alors dans tous les cas au-dessus de la cote 24,00 IGN.

#### 6.4 Coûts de construction et programme des travaux

Le coût de construction du barrage de garde a été calculé sur la base des volumes de travaux définis au paragraphe 6-2 et des prix d'ordre utilisés pour le barrage de Niandouba. Comme la construction du barrage de garde sera réalisée en même temps que celle du barrage de Niandouba et probablement par la même entreprise, il n'a pas été jugé nécessaire de majorer les prix d'ordre comme pour l'évaluation du coût du barrage du confluent.

Les coûts de construction sont récapitulés ci-après :

Coût de construction		10 <sup>6</sup> FCFA
Excavation	51 000 m <sup>3</sup>	56,1
Remblai :	corps homogène	138 000 m <sup>3</sup>
	couches de protection	28 000 m <sup>3</sup>
	rip rap	7 600 m <sup>3</sup>
	membrane non tissée	44 100 m <sup>2</sup>
	tapis de gabion	225 m <sup>3</sup>
		469,0
Divers et imprévus	10 %	47,0 10 <sup>6</sup> FCFA
<u>Total</u>		516,0 10 <sup>6</sup> FCFA

Les coûts des organes de vidange, routes d'accès, etc... sont inclus dans ceux des stations de pompage.

Compte tenu du volume relativement faible des travaux qui ne présentent en outre aucune difficulté particulière puisqu'il ne s'agit que de travaux

de terrassement, il est parfaitement possible de réaliser la construction du barrage de garde en une seule saison sèche, une fois que les travaux de génie civil des stations de pompage seront achevés.

## 7. REMARQUES FINALES ET RECOMMANDATIONS

---

Les données de base disponibles, topographiques, hydrologiques et géologiques ont permis de définir les caractéristiques des 3 barrages de Niandouba, du confluent et de garde d'une manière suffisamment précise pour que d'une part les options prises quant à leurs types ne soient plus remises en question dans les phases ultérieures de l'étude et que d'autre part, l'évaluation de leurs coûts de construction respectifs présente le même degré de fiabilité que celle des coûts des autres aménagements hydro-agricoles.

Les caractéristiques principales des 3 barrages sont récapitulées dans les tableaux 9-6 à 9-8 sous forme de fiches techniques pour chacun des ouvrages.

Avant d'entreprendre la mise au point des avant-projets détaillés des 3 barrages, qui serviront de base à l'établissement des dossiers d'appel d'offre, il est nécessaire de rassembler encore quelques données complémentaires relatives à la topographie, à la géologie et aux caractéristiques géotechniques des matériaux de fondation et de construction.

En ce qui concerne la topographie, il est nécessaire de lever quelques profils en travers au site de Niandouba pour préciser les levés photogrammétriques dans la zone du lit de la Kayanga et le long des axes retenus pour l'évacuateur de crues et la conduite de dotation/vidange.

Des profils devront être levés également dans l'axe du barrage du confluent et dans celui du chenal d'évacuation des crues de ce barrage. Le levé d'un profil dans l'axe du barrage de garde permettra en outre de vérifier les données obtenues par photogrammétrie.

Le programme et l'extension des prospections géologiques et géotechniques complémentaires ont été précisés dans le chapitre 2 du présent rapport. Il

s'agit de réaliser une série de trainers géo-électriques dans les emprises des 3 barrages et des zones d'emprunt des matériaux de construction afin de préciser les profondeurs des fouilles et des zones exploitables. Les mesures géophysiques seront complétées par des puits et des sondages de 10-15 m de profondeur, qui permettront d'affiner l'étalonnage des mesures électriques et de réaliser des essais de laboratoire sur les matériaux prélevés.

Compte tenu du planning général envisagé pour le développement hydro-agricole du bassin de l'Anambé et qui prévoit la construction du barrage du confluent en première phase, c'est-à-dire durant la saison sèche 1980-81, il est indispensable d'entreprendre la campagne de reconnaissance complémentaire le plus rapidement possible pour que la mise au point du projet du barrage du confluent puisse démarrer en mars 1980 au plus tard.



Tableau 9 - 1 BARRAGE DE NIANDOUBA - COURONNEMENT COTE 38.0 IGN  
DETAIL ESTIMATIF

Désignation	Unité	Quantité	Prix d'ordre F.CFA	Total 10 <sup>6</sup> FCFA
1. Excavation y compris défrichement	m <sup>3</sup>	60 940	1 100	67
2. Corps de la digue en alluvions y compris extraction et mise en place	m <sup>3</sup>	313 960	1 300	408
3. Matériaux pour drain, couches de transition et protection parement aval	m <sup>3</sup>	96 540	4 000	387
4. Rip rap y compris extraction transport et mise en place	m <sup>3</sup>	53 540	10 000	535
5. Membrane synthétique non tissée (fourniture et pose)	m <sup>2</sup>	112 410	850	96
6. Gabions	m <sup>3</sup>	1 550	15 000	23
7. Piste sur couronnement	m'	1 545	4 400	7
TOTAL .....				1 523

Tableau 9 - 2 BARRAGE DE NIANDOUBA - COURONNEMENT COTE 40.0 IGN  
 DETAIL ESTIMATIF

Désignation	Unité	Quantité	Prix d'ordre F.CFA	Total 10 <sup>6</sup> FCFA
1. Excavation y compris défrichage	m <sup>3</sup>	73 410	1 100	82
2. Corps de la digue en alluvions y compris extraction et mise en place	m <sup>3</sup>	446 320	1 300	581
3. Matériaux pour drain, couches de transition et protection parement aval	m <sup>3</sup>	122 290	4 000	491
4. Rip rap y compris extraction transport et mise en place	m <sup>3</sup>	67 150	10 000	672
5. Membrane synthétique non tissée (fourniture et pose)	m <sup>2</sup>	142 200	850	122
6. Gabions	m <sup>3</sup>	1 770	15 000	27
7. Piste sur couronnement	m'	1 765	4 400	8
TOTAL .....				1 983

Tableau 9 - 3 BARRAGE DE NIANDOUBA - COURONNEMENT COTE 42.0 IGN  
DETAIL ESTIMATIF

Désignation	Unité	Quantité	Prix d'ordre F.CFA	Total 10 <sup>6</sup> FCFA
1. Excavation y compris défrichage	m <sup>3</sup>	87 620	1 100	96
2. Corps de la digue en allu- vions y compris extraction et mise en place	m <sup>3</sup>	601 200	1 300	782
3. Matériaux pour drain, cou- ches de transition et pro- tection parement aval	m <sup>3</sup>	151 810	4 000	607
4. Rip rap y compris extrac- tion transport et mise en place	m <sup>3</sup>	82 050	10 000	821
5. Membrane synthétique non tissée (fourniture et pose)	m <sup>2</sup>	173 120	850	147
6. Gabions	m <sup>3</sup>	2 000	15 000	30
7. Piste sur couronnement	m'	1 995	4 400	9
TOTAL .....				2 492



Tableau 9 - 4 BARRAGE DE NIANDOUBA - COÛTS DE CONSTRUCTION

1. Caractéristiques principales

- Niveau de retenue normale	IGN	36,00	37,00	38,00
- Niveau du couronnement	IGN	38,50	39,50	40,50
- Volume du barrage	m <sup>3</sup>	504 800	590 800	685 900
- Volume brut accumulé	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	350	430	524

2. Coûts de construction (10<sup>6</sup> FCFA)

2.1. Barrage

2.1.1	Excavation	70	77	84
2.1.2	Remblai alluvionnaire	445	530	627
2.1.3	Drains, transition, prot. aval	411	463	517
2.1.4	Rip - rap	568	637	709
2.1.5	Membrane non tissée	102	114	127
2.1.6	Gabions	16	17	18
2.1.7	Piste sur couronnement	8	7	8
	<u>Total barrage</u>	<u>1 620</u>	<u>1 845</u>	<u>2 090</u>

2.2. Evacuateur de crues

2.2.1	Excavation	50	50	51
2.2.2	Béton	598	602	607
2.2.3	Enrochement	72	72	72
2.2.4	Remblai	22	28	28
	<u>Total évacuateur</u>	<u>748</u>	<u>752</u>	<u>758</u>

2.3. Dotation/vidange - génie civil

2.3.1	Excavation	18	18	18
2.3.2	Béton	209	214	219
2.3.3	Rip - rap	38	38	38
	<u>Total génie civil</u>	<u>265</u>	<u>270</u>	<u>275</u>

2.4. Dotation/vidange - équipement

2.4.1	Vannes de réglage	48	48	48
2.4.2	Vannes de révision	42	42	42
2.4.3	Grilles et batardeau	33	33	33
2.4.4	Blindage	16	16	16
2.4.5	Mesure de niveau	5	5	5
2.4.6	Passerelle	16	16	16
	<u>Total équipement</u>	<u>160</u>	<u>160</u>	<u>160</u>

2.5. Dérivation provisoire de la Kayanga

	<u>57</u>	<u>57</u>	<u>57</u>
--	-----------	-----------	-----------

2.6. Divers et imprévus 10 %

	<u>285</u>	<u>308</u>	<u>334</u>
--	------------	------------	------------

<u>Coût de construction</u>	<u>3 135</u>	<u>3 392</u>	<u>3 674</u>
-----------------------------	--------------	--------------	--------------

Tableau 9 - 5 BARRAGE DU CONFLUENT - COUT DE CONSTRUCTION

			10 <sup>6</sup> FCFA
<u>1. Barrage</u>			
1.1.	Excavation	8 000 m <sup>3</sup> à 1265	10,1
1.2.	Remblai tout-venant	27 600 m <sup>3</sup> à 1495	41,3
1.3.	Couche protection	4 800 m <sup>3</sup> à 4600	22,1
1.4.	Rip rap	1 600 m <sup>3</sup> à 11500	18,4
1.5.	Membrane non-tissée	7 900 m <sup>2</sup> à 980	7,8
Total digue			99 7
<u>2. Vidange / dotation</u>			
2.1.	Excavation	500 m <sup>3</sup> à 1265	0,6
2.2.	Béton	1 900 m <sup>3</sup> à 50600	96,1
2.3.	Equipement	1 vanne de réglage, blindage grilles, batardeau, conduite et vanne by-pass	80,0
Total vidange			176 7
<u>3. Evacuateur de crues</u>			
3.1. 1ère phase			
3.1.1.	Excavation	133 600 m <sup>3</sup> à 690	92,2
3.1.2.	Béton	420 m <sup>3</sup> à 50600	21,3
3.1.3.	Gabions	425 m <sup>3</sup> à 17250	7,3
Total 1ère phase			120,8
3.2. 2ème phase			
3.2.1.	Béton	20 m <sup>3</sup> à 60000	1,2
3.2.2.	Remblai tout-venant	800 m <sup>3</sup> à 1495	1,2
3.2.3.	Remblai latéritique	250 m <sup>3</sup> à 4600	1,2
3.2.4.	Gabions	1 000 m <sup>3</sup> à 17250	17,3
Total 2ème phase			20,9
Total évacuateur			141,7
4. Divers et imprévus 10 %			41,9
Coût de construction 10 <sup>6</sup> FCFA			460,0

Tableau 9 - 6 BARRAGE DE NIANDOUBA - FICHE TECHNIQUE

1. Généralités

- Surface du bassin versant	(km <sup>2</sup> )	1 685 km <sup>2</sup>
- Module annuel moyen	(m <sup>3</sup> /s)	8,7 m <sup>3</sup> /s
- Pluviométrie annuelle moyenne (Vélingara)	(mm)	1 063 mm
- Crue de dimensionnement (1/10 000)		
débit de pointe	(m <sup>3</sup> /s)	400 m <sup>3</sup> /s
volume	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1 040 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

2. Retenue

- Cote de retenue normale	(IGN)	36,00	38,00
- Niveau des plus hautes eaux	(IGN)	37,50	39,50
- Cote min. d'exploitation	(IGN)	29,00	29,00
- Volume total accumulé	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	350	524
- Volume utile	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	310	484

3. Barrage

- Type : en terre homogène avec drain vertical central			
- Cote du couronnement	(IGN)	38,50	40,50
- Longueur du couronnement	(m)	1600	1820
- Largeur du couronnement	(m)	5,0	5,0
- Hauteur max. sur terrain nat.	(m)	17,50	19,50
- Pente parement amont		1 : 3,0	1 : 3,0
- Pente parement aval		1 : 2,0	1 : 2,0
- Volume du barrage :			
- corps homogène	(m <sup>3</sup> )	344 000	482 000
- drain, transition et protection aval	(m <sup>3</sup> )	102 800	129 300
- rip-rap	(m <sup>3</sup> )	56 800	70 900
- total	(m <sup>3</sup> )	503 600	682 200
- Volume des excavations	(m <sup>3</sup> )	64 000	76 800

4. Evacuateur de crues

- Type : déversoir libre en bec de canard		
- Longueur crête déversante	(m)	100
- Capacité sous charge max. de 1,5 m	(m <sup>3</sup> /s)	400

.../...

Tableau 9 - 6 (suite)

5. Ouvrage de dotation - vidange

- Equipement : vannes segment de réglage	2 x 2,1/1,9 m
vannes planes de révision	2 x 2,2/1,9 m
- Capacité des 2 pertuis sous charge maximum (m <sup>3</sup> /s)	108 - 115
- Capacité d'un pertuis sous charge minimum (29.00 IGN)	20 m <sup>3</sup> /s

6. Coûts de construction (10<sup>6</sup> FCFA)

- Cote du couronnement IGN	38,50	40,50
- Coût : barrage	1 620	2 090
évacuateur	748	758
dotation vidange G.C.	265	275
dérivation provisoire	57	57
	<hr/>	<hr/>
Total génie civil	2 690	3 180
équipement hydro-mécanique	160	160
divers et imprévus	285	334
	<hr/>	<hr/>
Total 10 <sup>6</sup> FCFA	3 135	3 674
	<hr/>	<hr/>
Coût du m <sup>3</sup> accumulé utile FCFA	10,1	7,6

Tableau 5 - 7 BARRAGE DU CONFLUENT - FICHE TECHNIQUE

1. Généralités

- Surface du bassin versant		2 855 km <sup>2</sup>
- Crue de dimensionnement (pointe)		510 m <sup>3</sup> /s

2. Retenue

- Cote de retenue normale 1ère phase	(IGN)	22,30
- Cote min. d'exploitation 1ère phase	(IGN)	20,50
- Volume total accumulé 1ère phase	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	59,0
- Volume utile accumulé 1ère phase	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	48,0
- Cote de retenue normale 2ème phase	(IGN)	23,00
- Cote des plus hautes eaux 2ème phase	(IGN)	24,80
- Volume total accumulé 2ème phase	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	11,0

3. Barrage

- Type : en terre homogène		
- Cote du couronnement	(IGN)	26,00
- Longueur du couronnement	(m)	210,0
- Largeur au couronnement	(m)	5,0
- Hauteur max. sur terrain nat.	(m)	10,5
- Pente parements amont et aval		1 : 3,0
- Volume du barrage		
- corps homogène	(m <sup>3</sup> )	27 600
- couches de protection	(m <sup>3</sup> )	4 800
- rip rap	(m <sup>3</sup> )	1 600
total	(m <sup>3</sup> )	34 000
- Volume des excavations	(m <sup>3</sup> )	8 000

4. Evacuateur de crues

- Type : déversoir frontal avec créneau		
- Cote d'arase du créneau 1ère phase	(IGN)	22,30
- Cote d'arase du créneau 2ème phase	(IGN)	23,00
- Cote d'arase du déversoir 1ère phase	(IGN)	22,60
- Cote d'arase du déversoir 2ème phase	(IGN)	23,60
- Largeur du créneau	(m)	20,0
- Longueur du déversoir	(m)	200,0
- Capacité sous charge max. (2ème phase)	(m <sup>3</sup> /s)	510



Tableau 9 - 7 (suite)

5. Ouvrage de dotation/vidange

- Equipement	: 1 vanne plane	(m)	2,0/3,0
	1 vanne plane	(mm) Ø	600
- Capacité sous 3.0 m de charge		(m <sup>3</sup> /s)	40,0

6. Coûts de construction (10<sup>6</sup> FCFA)

Barrage	99,7
Evacuateur	141,7
Dotation/vidange G.C.	<u>96,7</u>
Total génie civil	338,1
Equipement hydro-mécanique	80,0
Divers et imprévus 10 %	<u>41,9</u>
Total 10 <sup>6</sup> FCFA	<u>460,0</u>

Tableau 9 - 8 BARRAGE DE GARDE SUR L'ANAMBE - FICHE TECHNIQUE

1. Généralités

Surface du bassin versant 1 000 km<sup>2</sup>

2. Barrage

Type	: en terre homogène		
Cote du couronnement	(IGN)	26,00	
Niveau d'eau aval normal	(IGN)	23,00	
Niveau des plus hautes eaux aval	(IGN)	24,80	
Longueur au couronnement	(m)	1 600	
Largeur au couronnement	(m)	5,0	
Hauteur maximum sur terrain nat.	(m)	8,0	
Pente parements amont et aval		1 : 3,0	
Volume du barrage :			
- corps de la digue	(m <sup>3</sup> )	138 000	
- couches de protection	(m <sup>3</sup> )	28 000	
- rip-rap	(m <sup>3</sup> )	7 600	
total	(m <sup>3</sup> )	173 600	
Volume des excavations	(m <sup>3</sup> )	51 000	

3. Evacuateur de crues

Type	: déversoir frontal à crête large		
Cote d'arase	(IGN)	25,00	
Longueur déversante	(m)	100,0	
Capacité sous 1,0 m de charge	(m <sup>3</sup> /s)	170,0	

4. Ouvrages de passage

Ces ouvrages sont décrits avec l'équipement des stations de pompage.

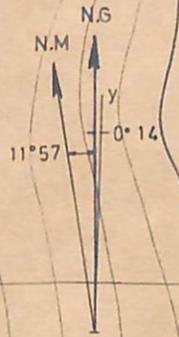
5. Coûts de construction (10<sup>6</sup> FCFA)

Barrage	461
Evacuateur de crues	8
Divers et imprévus 10 %	47
<u>Total</u>	<u>516</u>

Total 10<sup>6</sup> FCFA



Saré Diaye



- LEGENDE**
- ⊕ PUIITS ET SON NUMERO
  - ▨ LATERITES
  - ▭ DEPOTS ALLUVIONAIRES
  - PROFIL GEOLOGIQUE
  - PISTES D'ACCES

		REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI	
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA			
CARTE GEOLOGIQUE ET SITUATION DES PUIITS DE RECONNAISSANCE			
ECHELLE 1:100,000	DATE JUILL. 79	NOMBRE DU PLAN 6158-207585	ANNEE 9-1
DES MOUSSA	CONF. MOUSSA	VISA MOUSSA	ANNEE 9-1

5842

A

B

C

D

# RIVE GAUCHE

6  
5  
4  
3  
2  
1

40.0

30.0

20.0

HORIZON 10.0 I.G.N.

PGC II

PGC IO

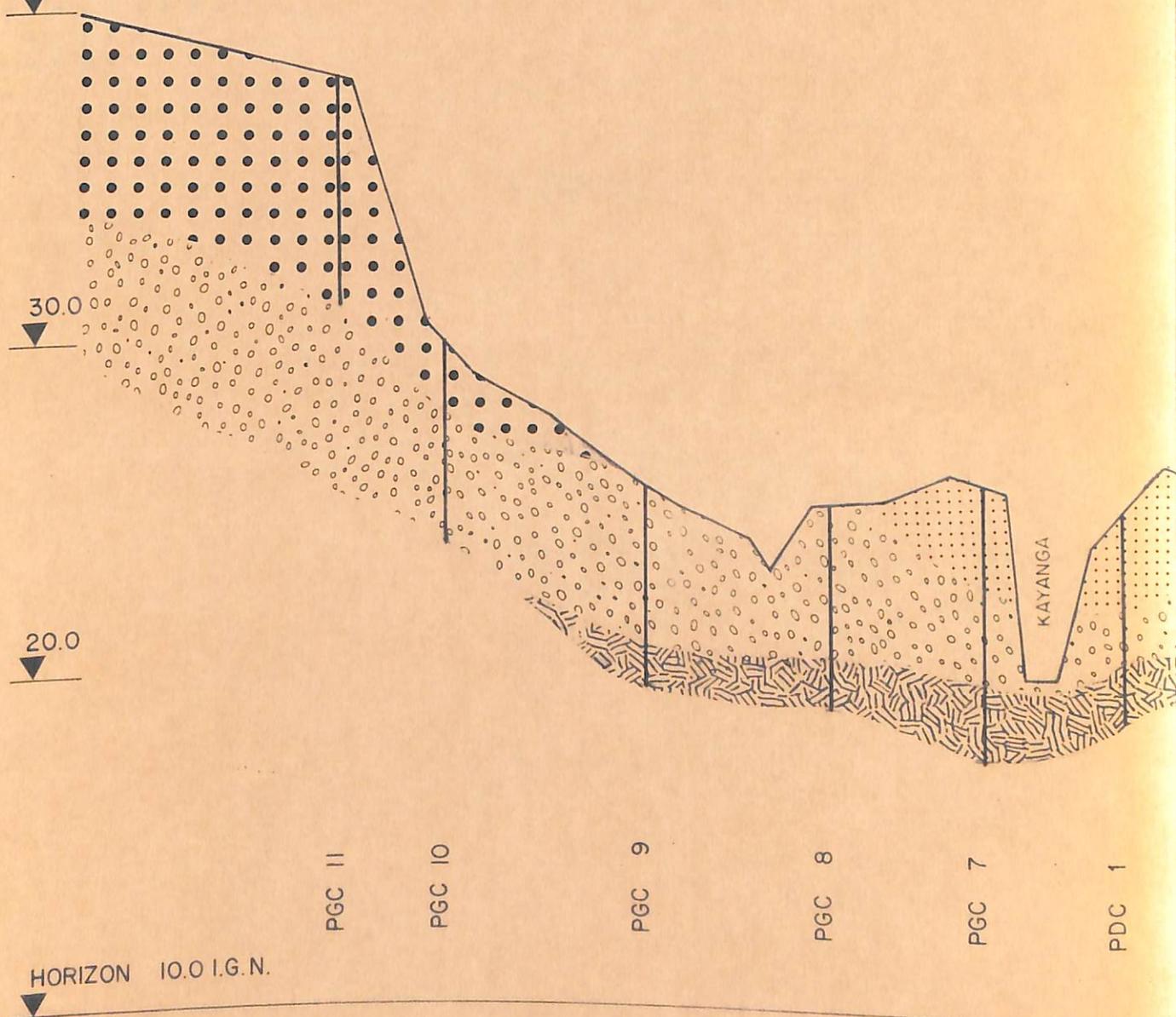
PGC 9

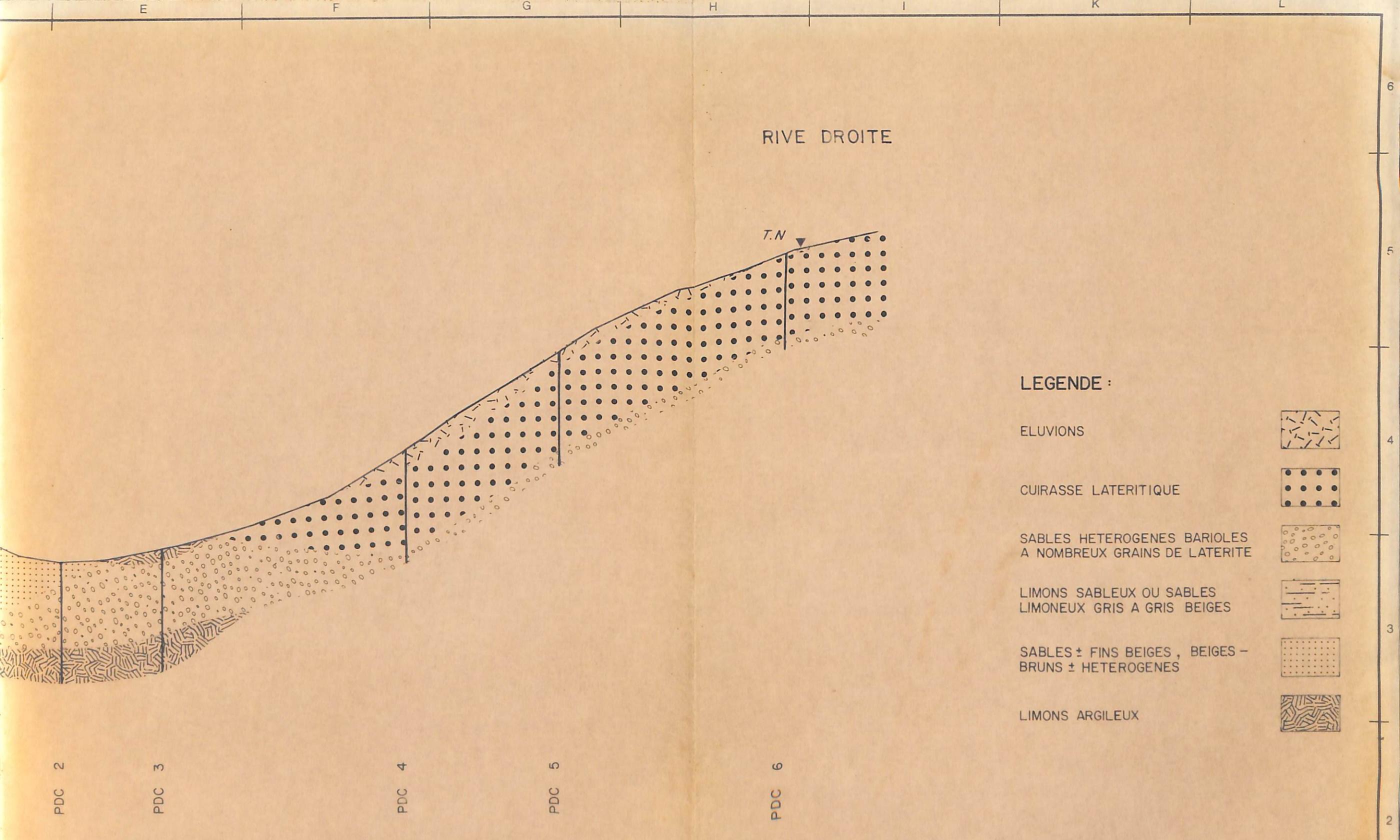
PGC 8

PGC 7

PDC 1

KAYANGA



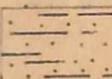
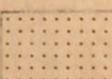


RIVE DROITE

T.N.

PDC 2      PDC 3      PDC 4      PDC 5      PDC 6

LEGENDE :

- ELUVIONS 
- CUIRASSE LATERITIQUE 
- SABLES HETEROGENES BARIOLES A NOMBREUX GRAINS DE LATERITE 
- LIMONS SABLEUX OU SABLES LIMONEUX GRIS A GRIS BEIGES 
- SABLES ± FINS BEIGES, BEIGES - BRUNS ± HETEROGENES 
- LIMONS ARGILEUX 

REPUBLICQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA COUPE GEOLOGIQUE PROFIL C			
	ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR		DESS MC
			CONT. 
ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN	ANNEXE
1:5000/200	OCT. 79	6158 - 207139	9 - 2

RIVE GAUCHE

DIR. 32° DIR. 233°

6  
5  
4  
3  
2  
1

40.0

30.0

20.0

PG5

PG6

PG7

PG8

PD5

PD6

▼ HORIZON. 10.0 I GN

A

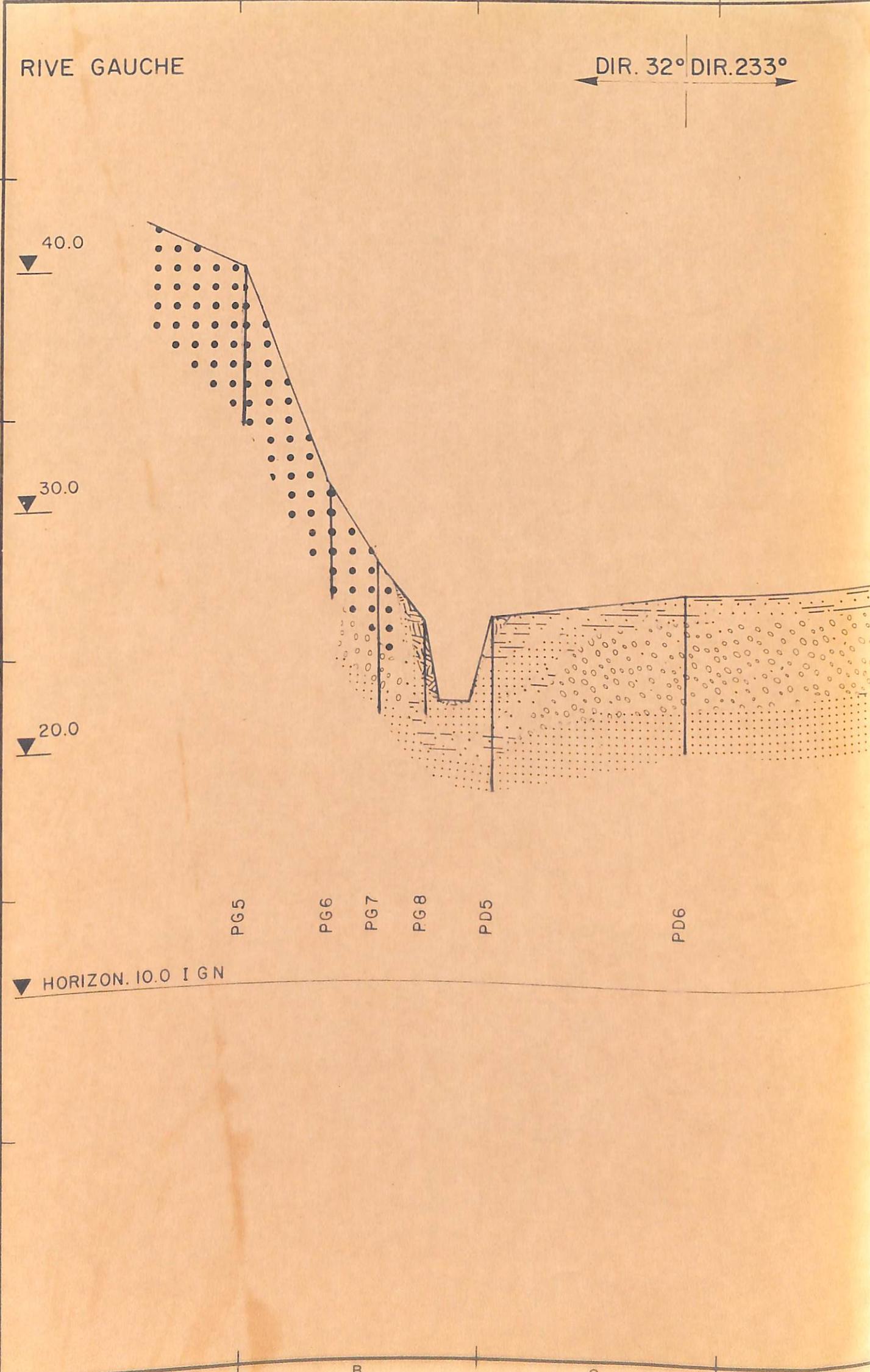
B

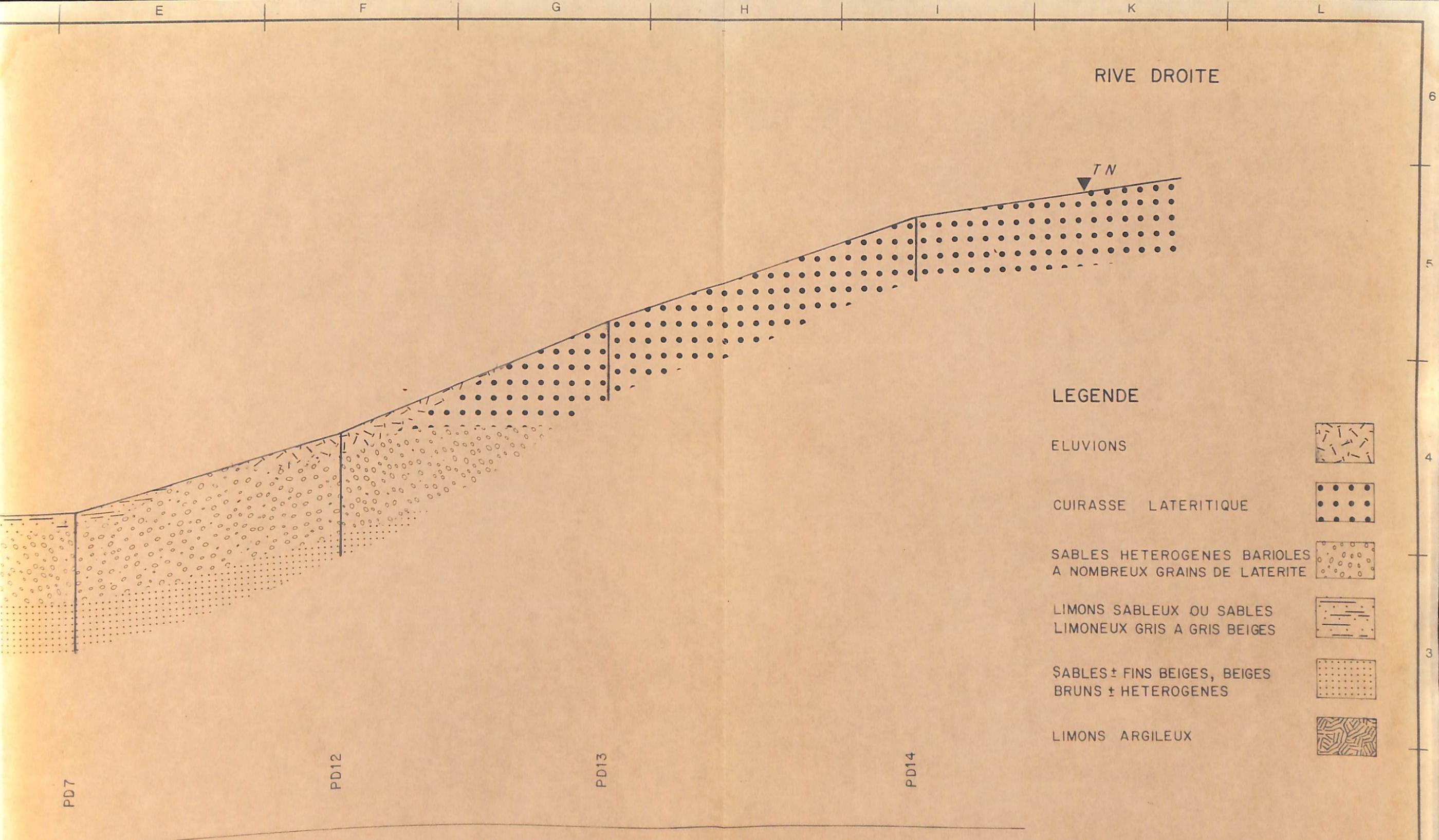
C

D

B

C





RIVE DROITE

TN

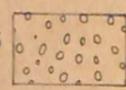
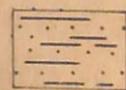
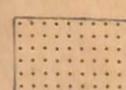
PD7

PD12

PD13

PD14

LEGENDE

- ELUVIONS 
- CUIRASSE LATERITIQUE 
- SABLES HETEROGENES BARIOLES A NOMBREUX GRAINS DE LATERITE 
- LIMONS SABLEUX OU SABLES LIMONEUX GRIS A GRIS BEIGES 
- SABLES ± FINS BEIGES, BEIGES BRUNS ± HETEROGENES 
- LIMONS ARGILEUX 

REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA COUPE GEOLOGIQUE PROFIL D			
		<b>ELECTROWATT</b> <b>INGENIEURS-CONSEILS S.A.</b> <b>ZURICH - DAKAR</b>	
ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN	ANNEXE
1/5000/200	OCT. 79	6158-207140	9-3

6

5

4

3

2

1

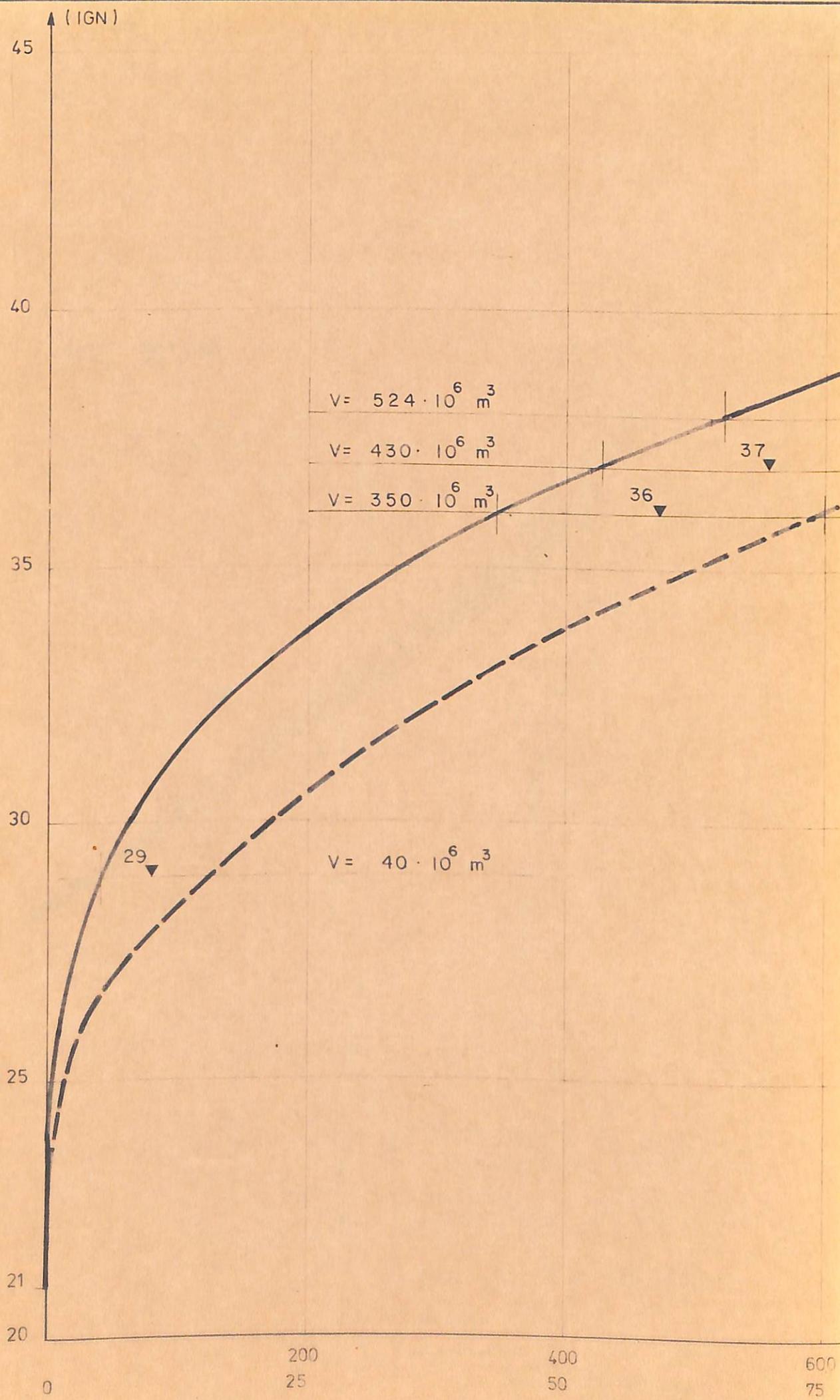
5842

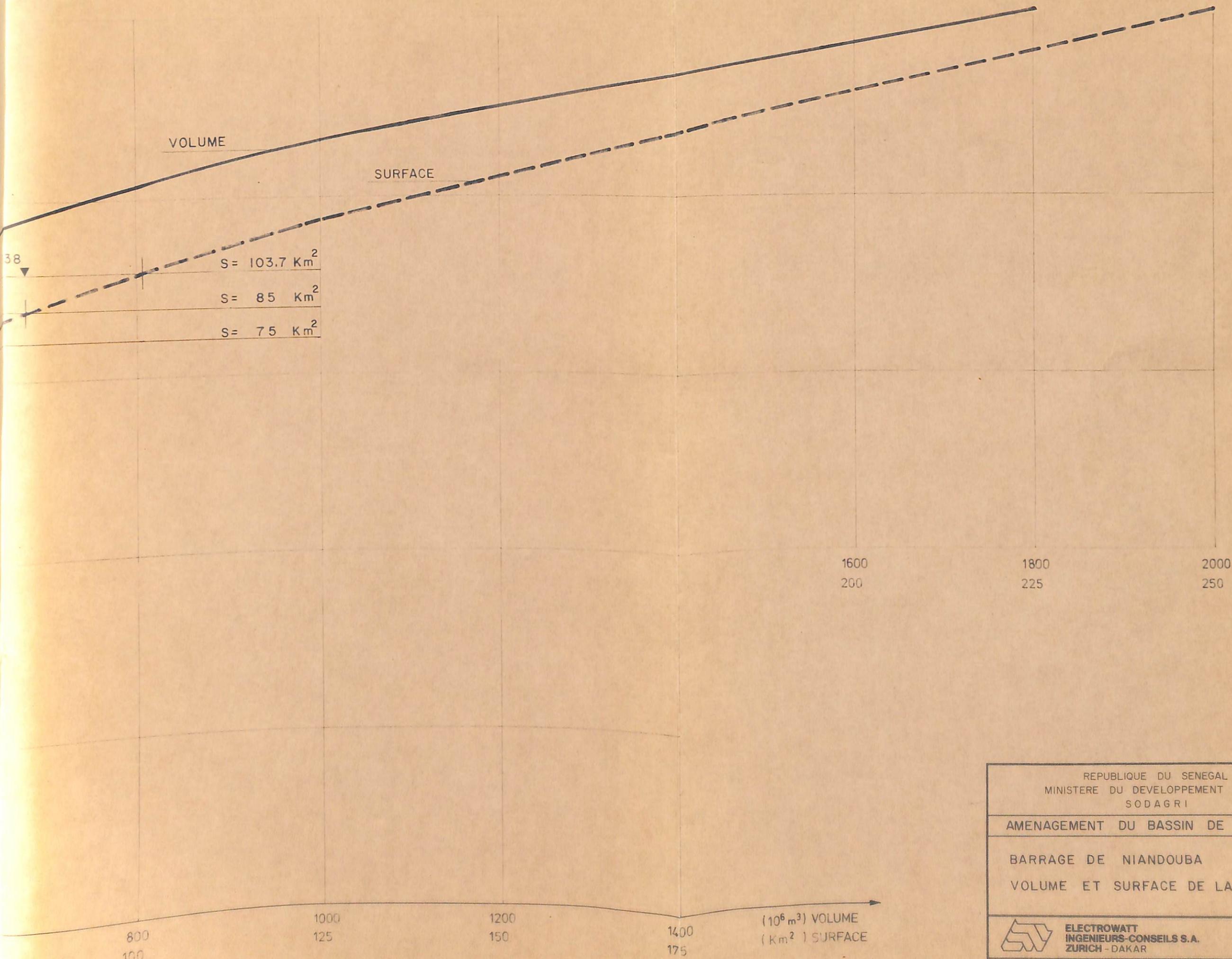
K





REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA SITUATION DE LA RETENUE RN 36.0 IGN			
	<b>ELECTROWATT          INGENIEURS-CONSEILS S.A.          ZURICH - DAKAR</b>		DESS DGMB CONT.  VISA 
	ECHELLE 1 : 100000	DATE SEP. 79	NUMERO DU PLAN 6158 - 207136



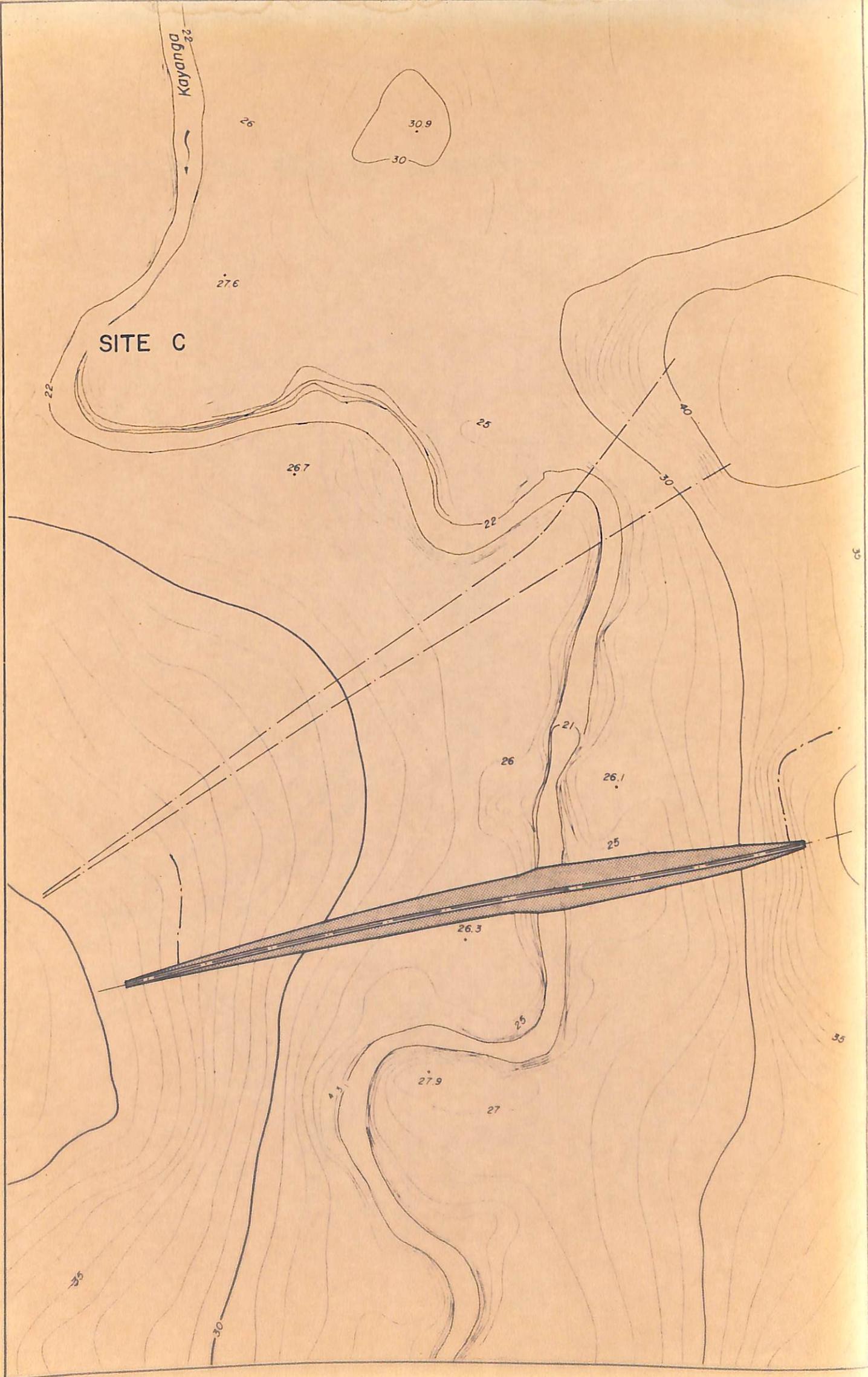


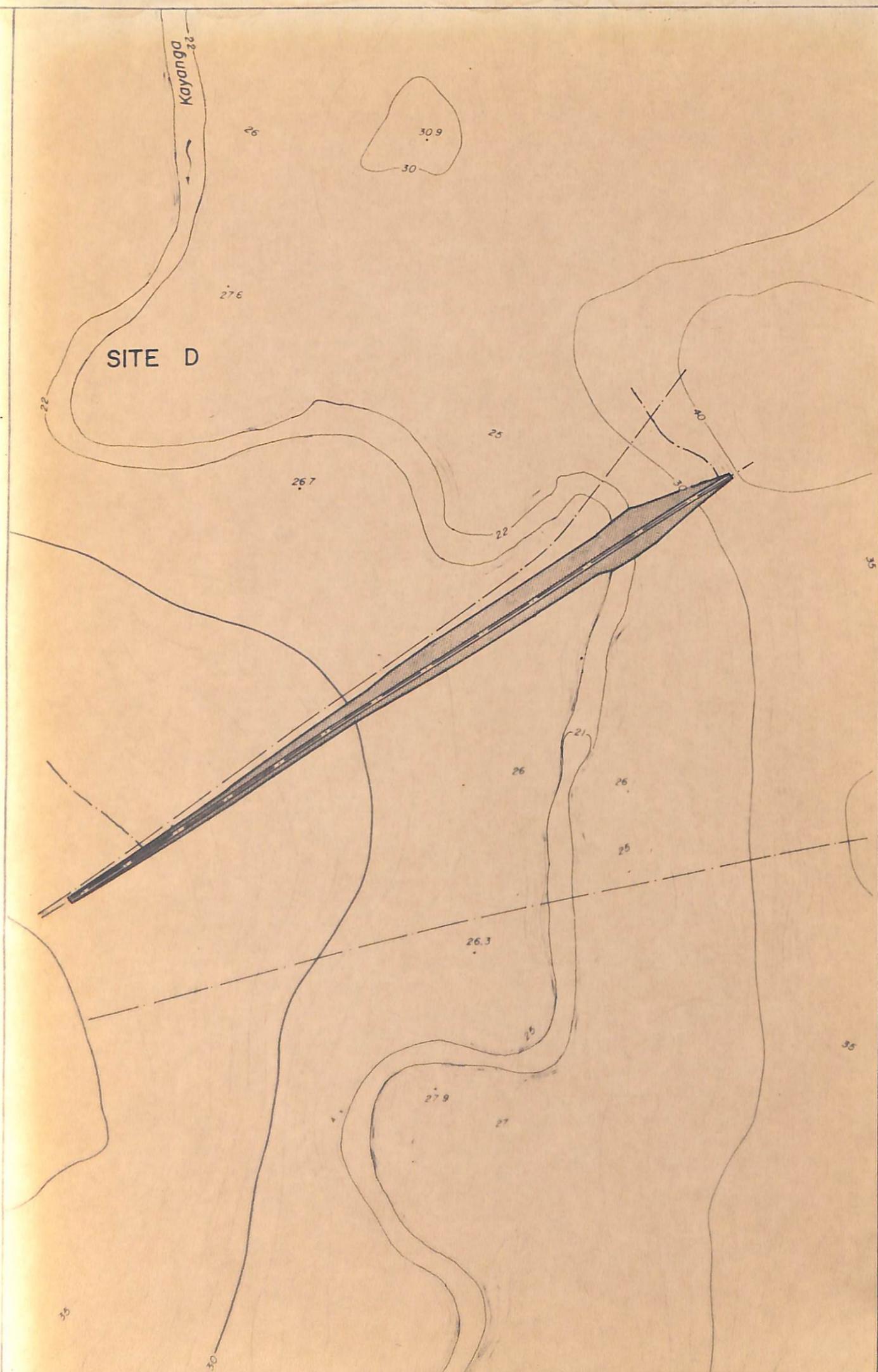
REPUBLIQUE DU SENEGAL  
 MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL  
 SODAGRI

AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE

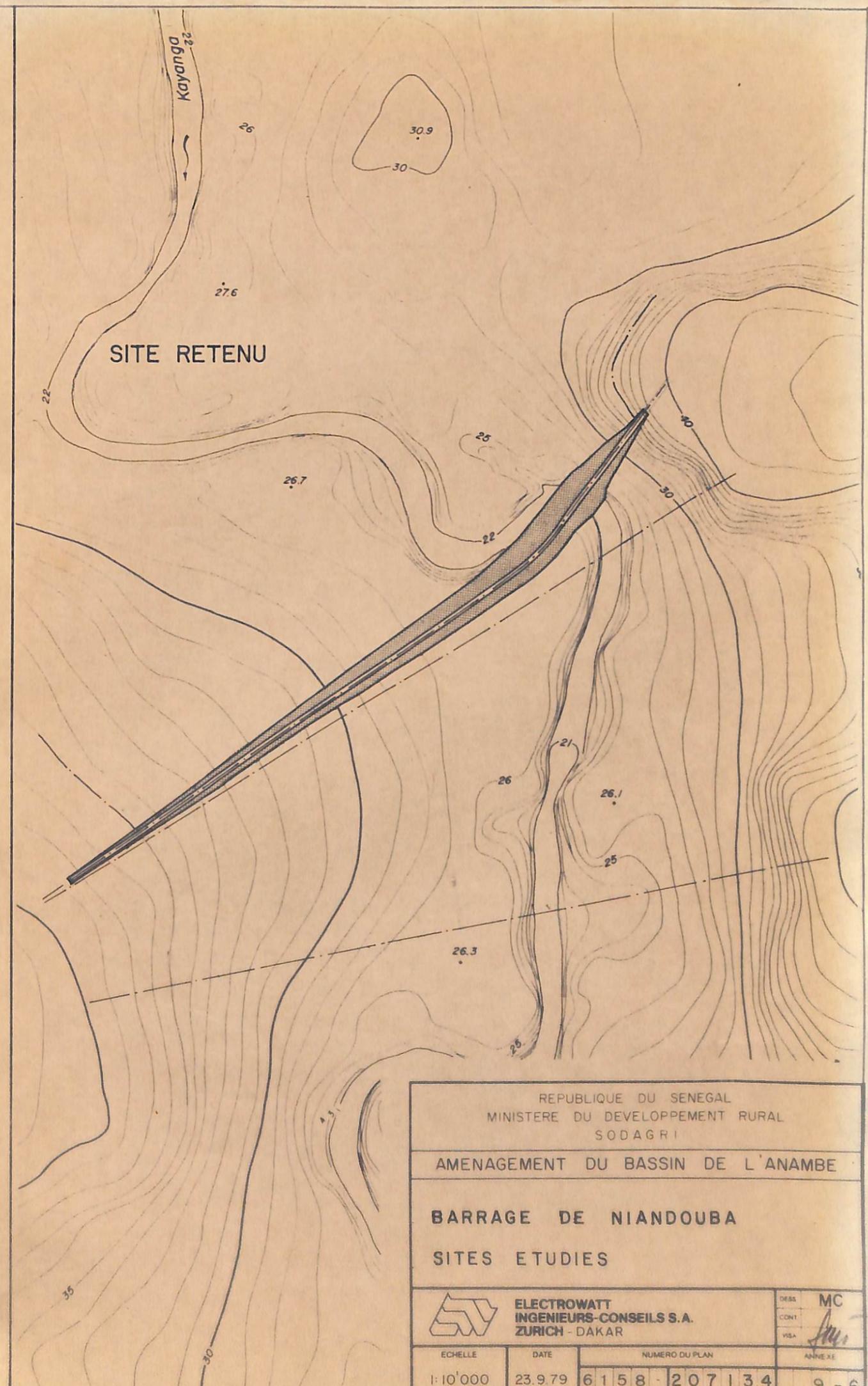
BARRAGE DE NIANDOUBA  
 VOLUME ET SURFACE DE LA RETENUE

 <b>ELECTROWATT</b> INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR		DESS	DGMB
		CONT	MC
ECHELLE		DATE	NUMERO DU PLAN
10_07_79		6158 - 207580	ANNEXE 9-5





SITE D

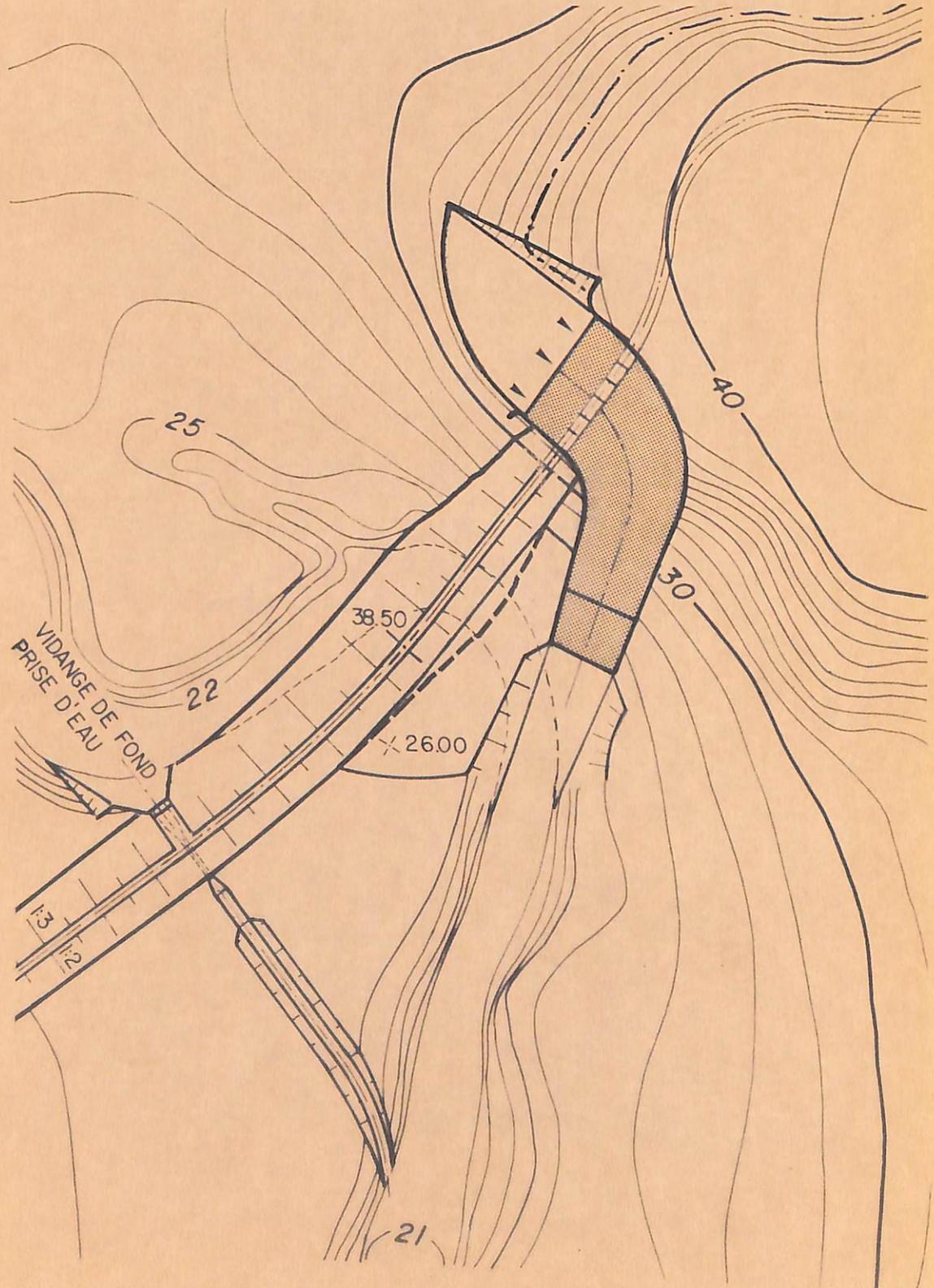


SITE RETENU

REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA			
SITES ETUDIES			
	ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR		DESS MC CONT VISA <i>[Signature]</i>
	ECHELLE 1:10'000	DATE 23.9.79	NUMERO DU PLAN 6 1 5 8 - 2 0 7 1 3 4

DEVERSOIR FRONTAL

6  
5  
4  
3  
2  
1



VIDANGE DE FOND  
PRISE D'EAU

25

22

38.50

26.00

40

30

21

A

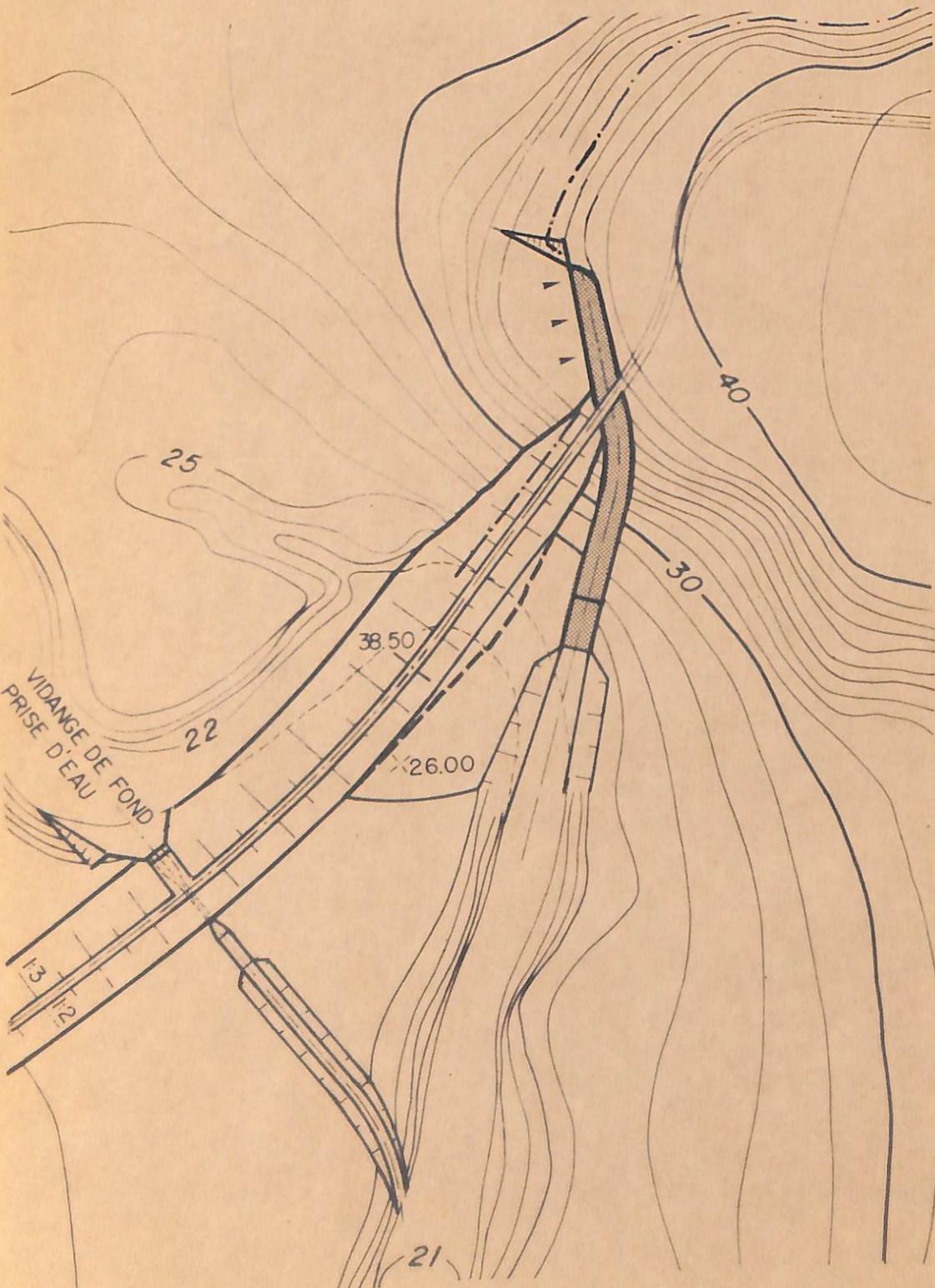
B

C

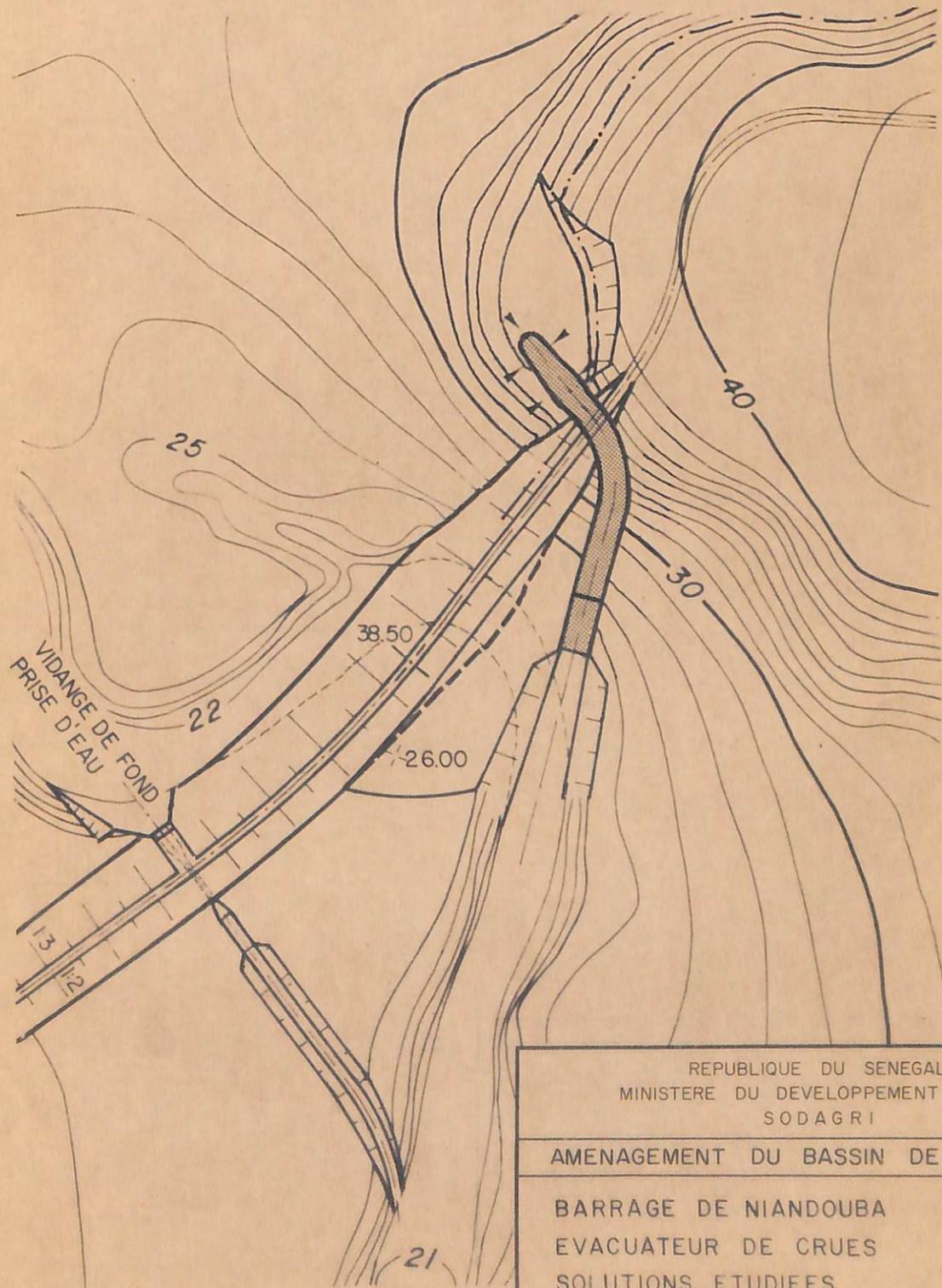
D

B

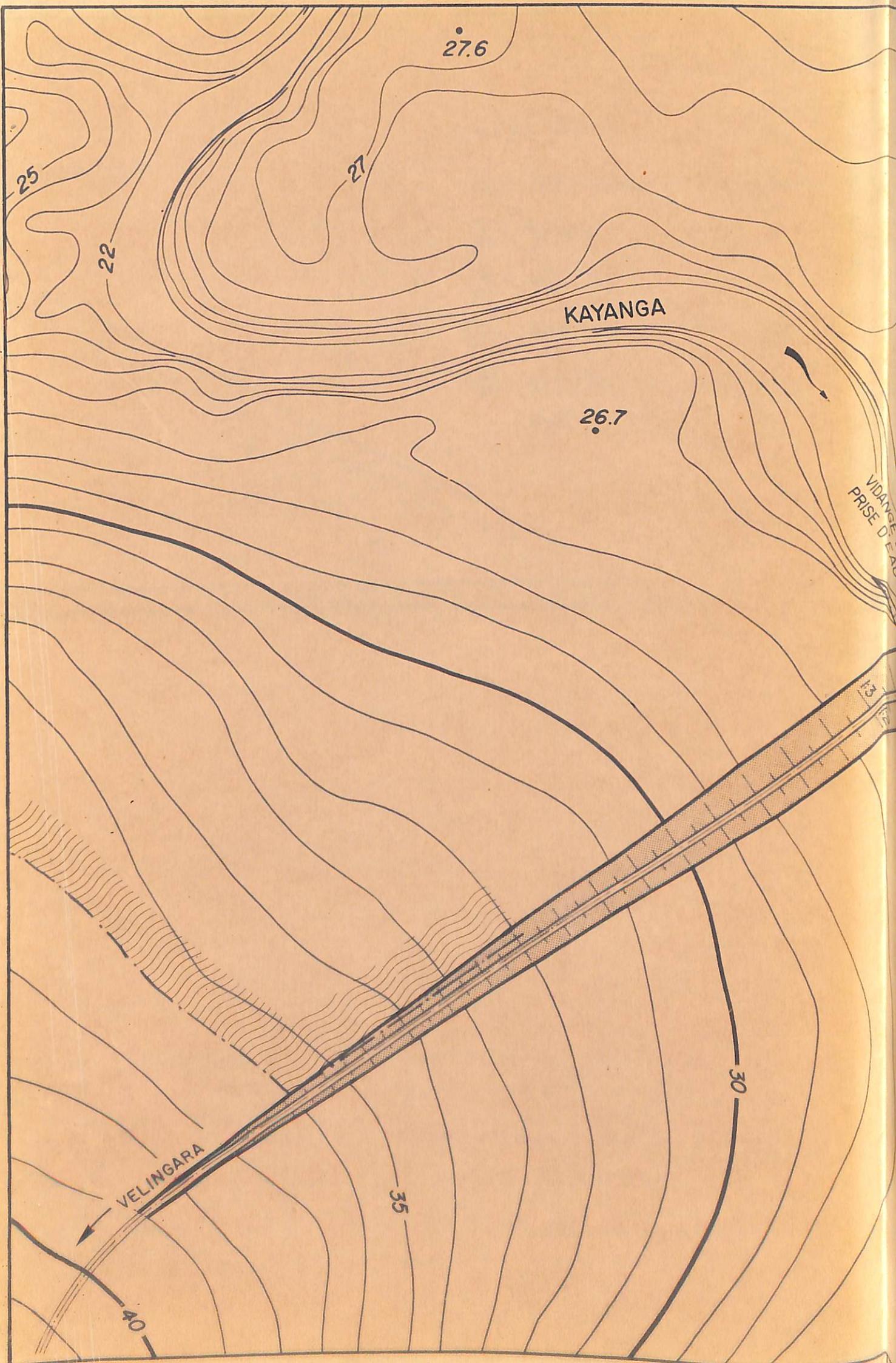
DEVERSOIR LATERAL

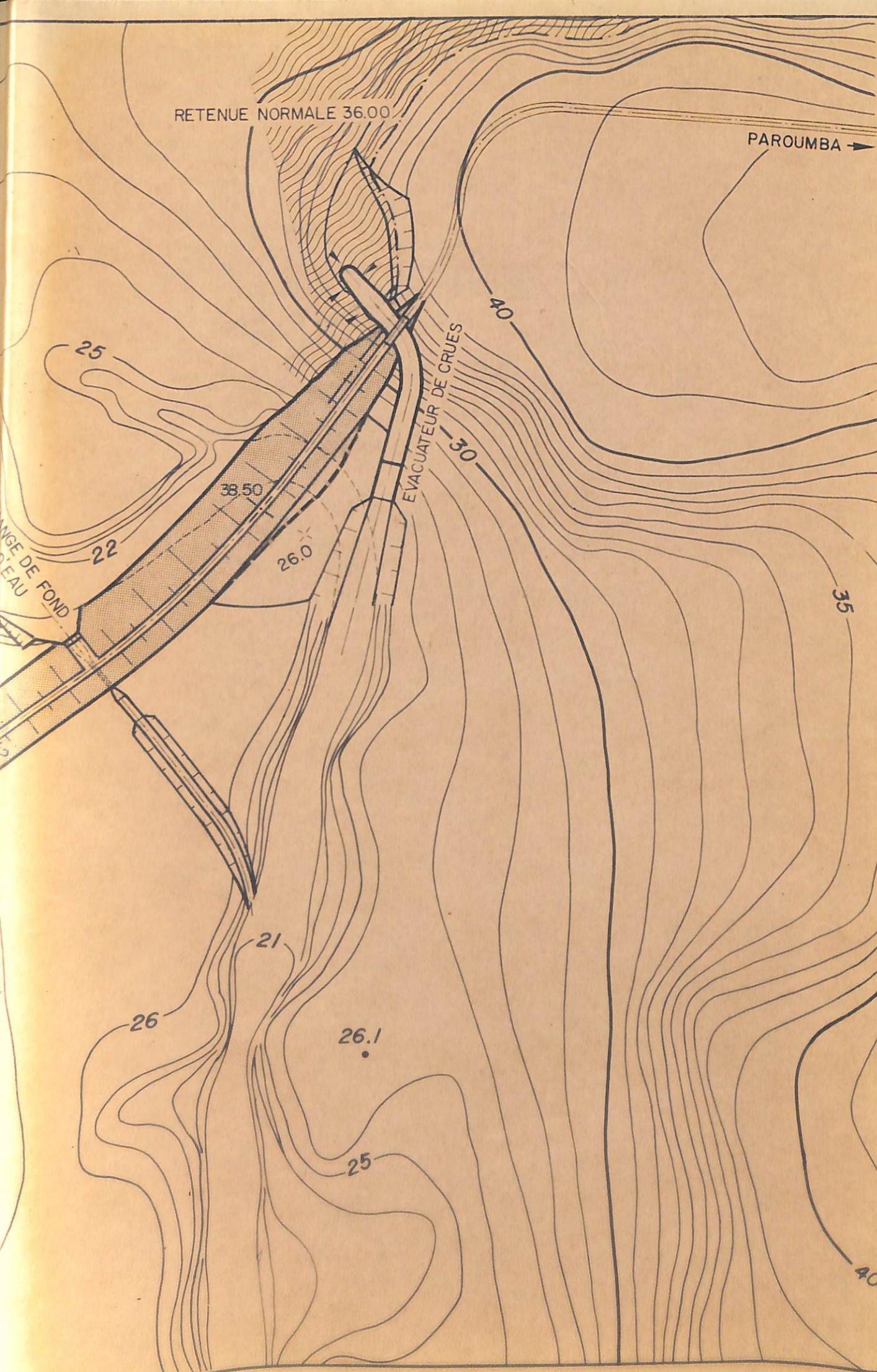


DEVERSOIR EN BEC DE CANARD



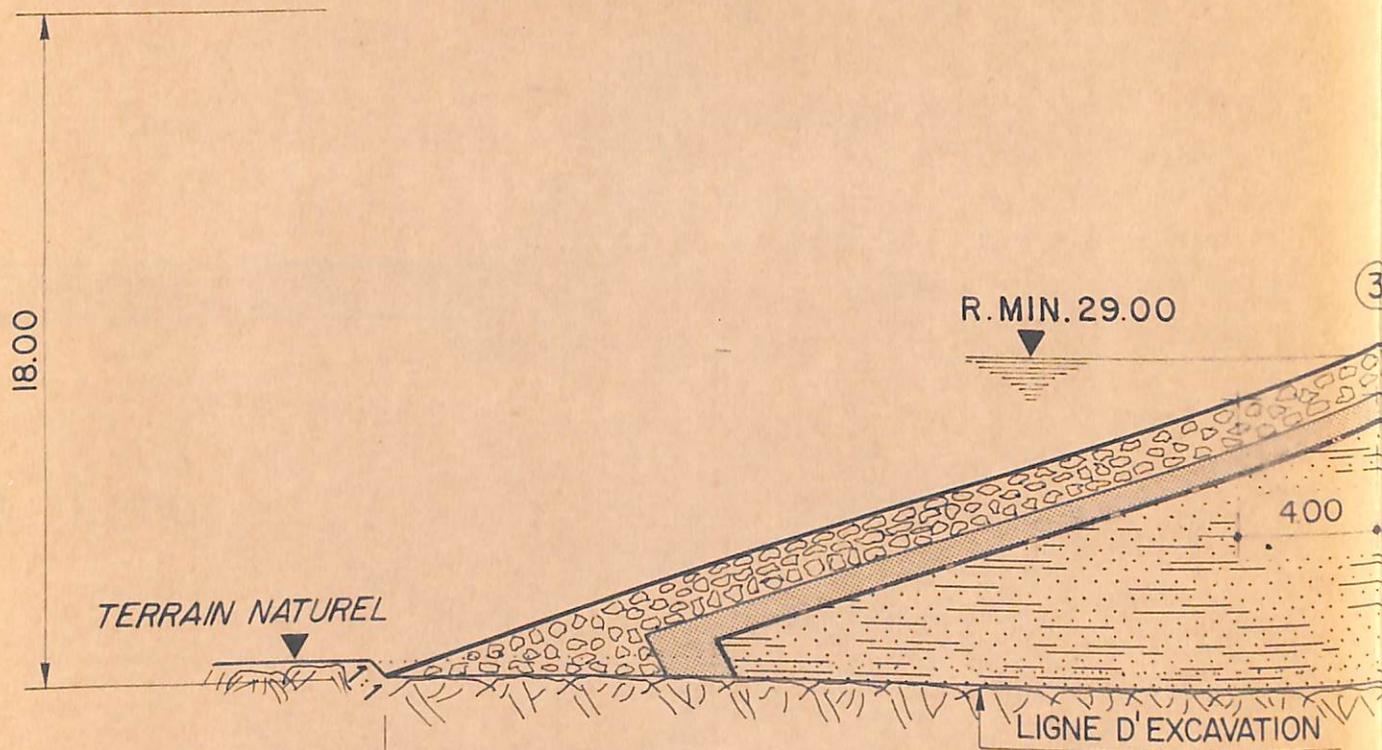
REPUBLICQUE DU SENEGAL			
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL			
SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA			
EVACUATEUR DE CRUES			
SOLUTIONS ETUDIEES			
		ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR	
DESS	MC		
CONT			
VISA			
ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN	
1:5000	OCT. 79	6158-211395	
			ANNEXE
			9-7





REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA SITUATION DES OUVRAGES			
	<b>ELECTROWATT</b> <b>INGENIEURS-CONSEILS S.A.</b> ZURICH - DAKAR		DESS MC
			CONT VISA <i>[Signature]</i>
ECHELLE 1:5000	DATE 22.9.79	NUMERO DU PLAN 6158-207135	ANNEXE 9-8

PROFIL TYPE 1:2

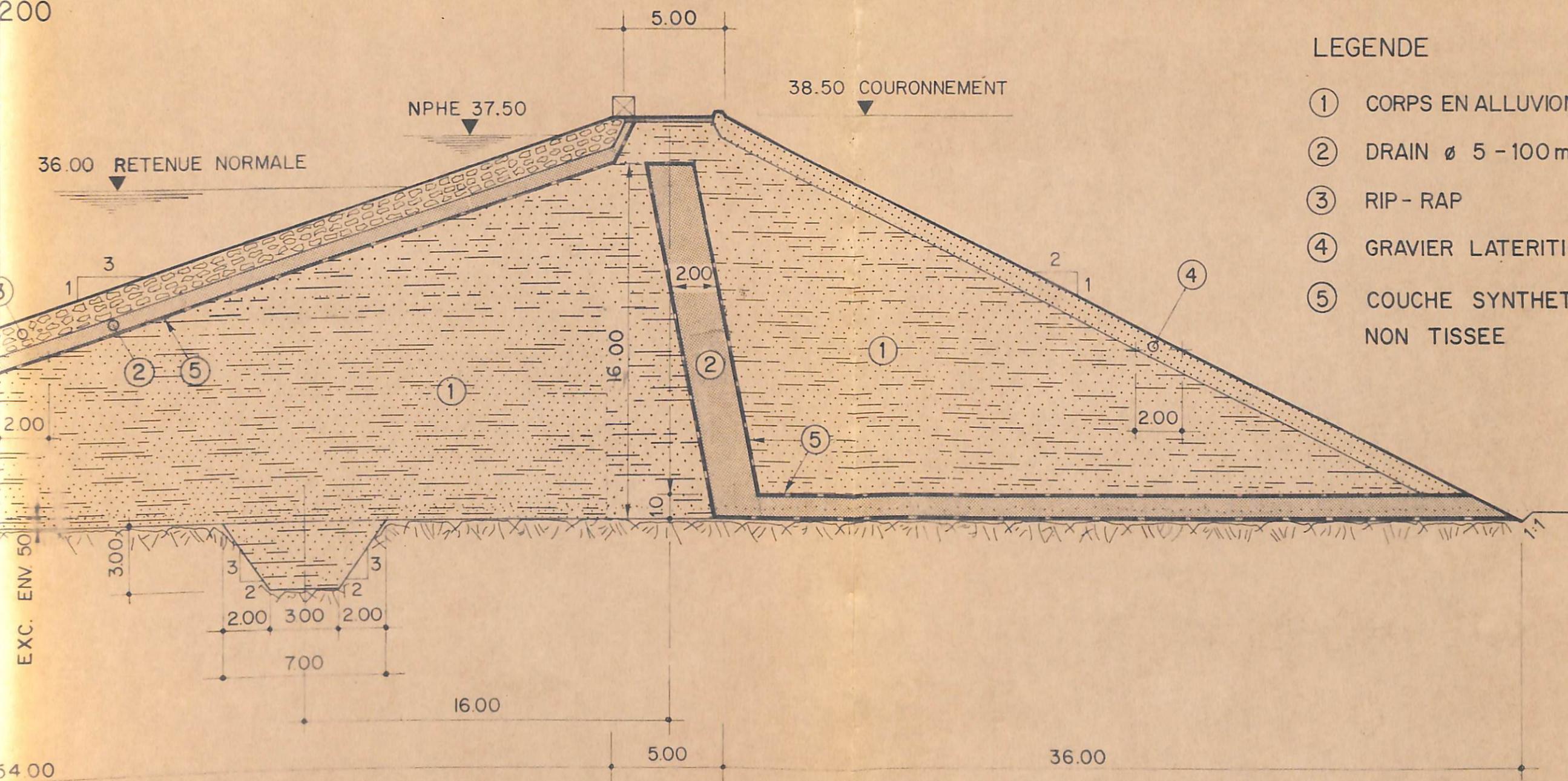


DETAIL COURONNEMENT

36.00 RETENUE NORM

Detailed description: This block contains the text '36.00 RETENUE NORM' with a downward-pointing triangle below it. The triangle is a standard symbol for a retaining wall in technical drawings.

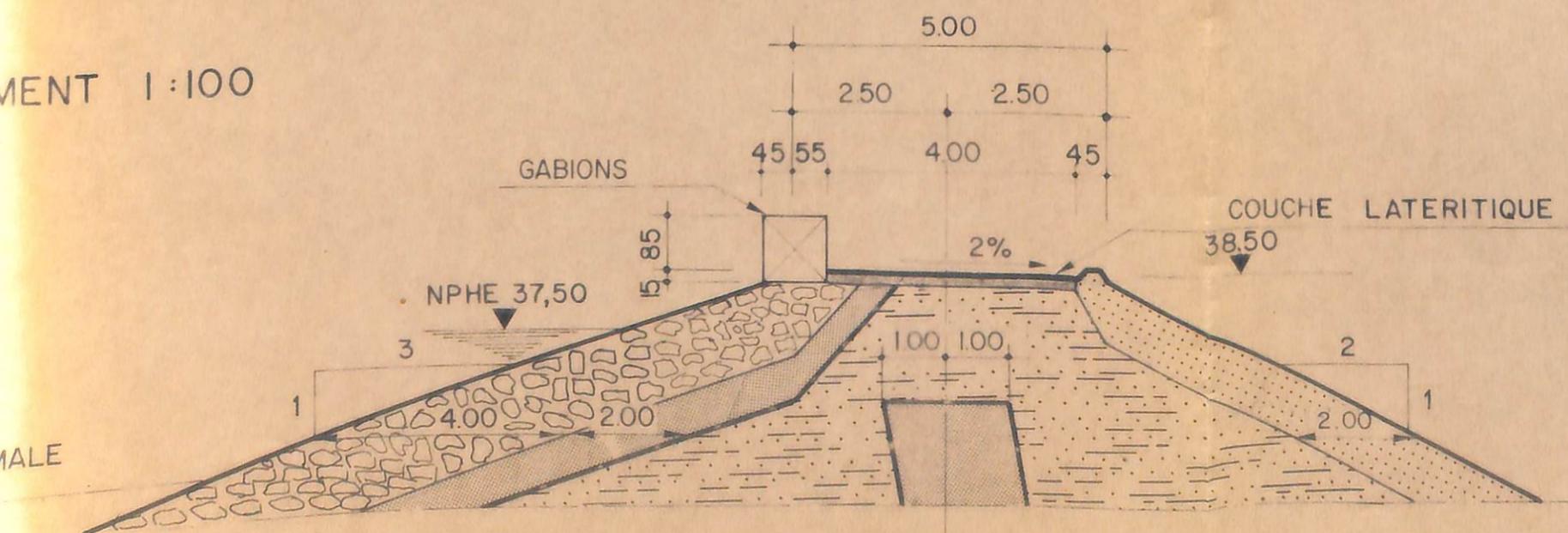
200



LEGENDE

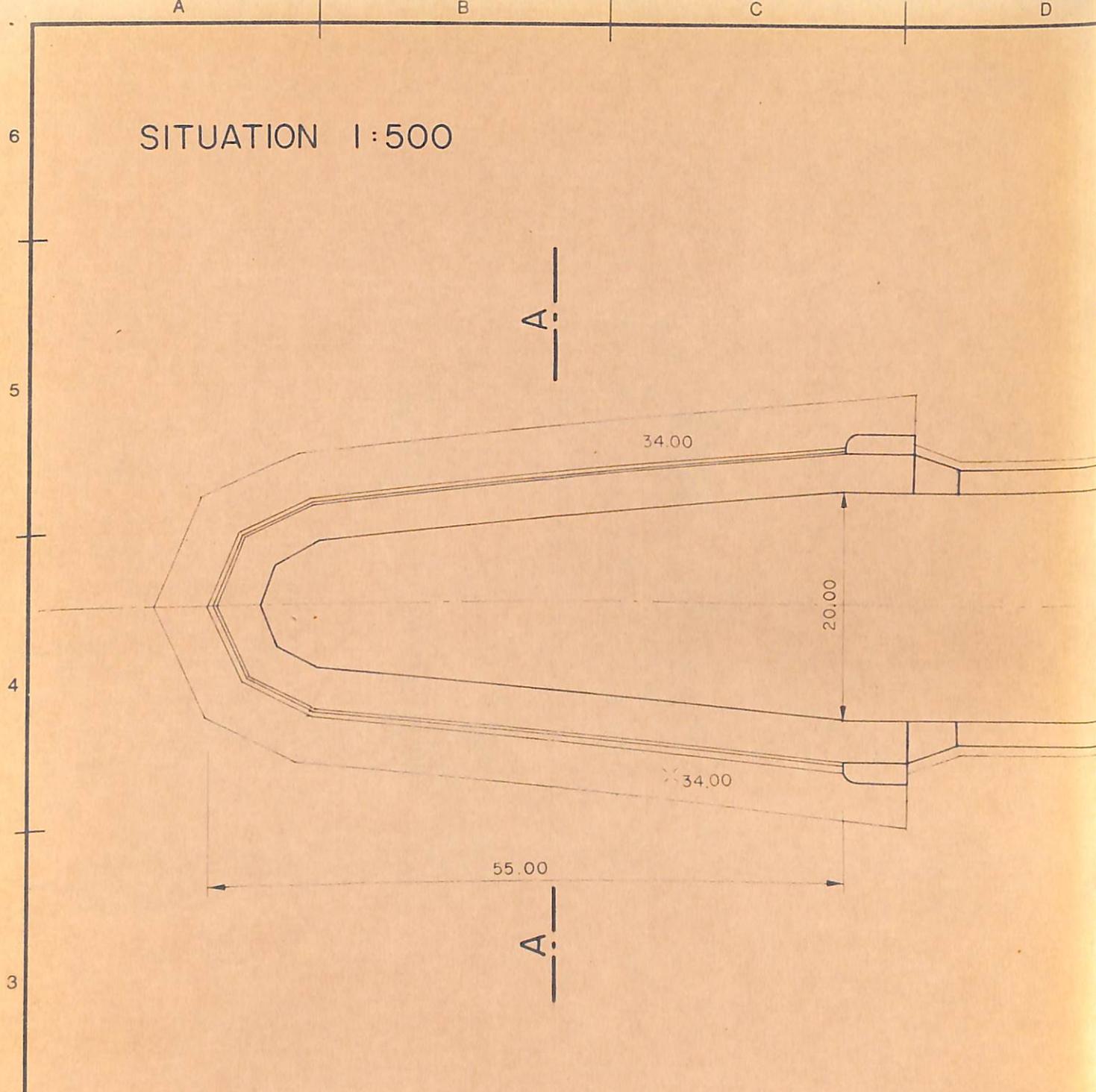
- ① CORPS EN ALLUVIONS FINES
- ② DRAIN  $\phi$  5 - 100 mm
- ③ RIP - RAP
- ④ GRAVIER LATERITIQUE
- ⑤ COUCHE SYNTHETIQUE NON TISSEE

MENT 1:100

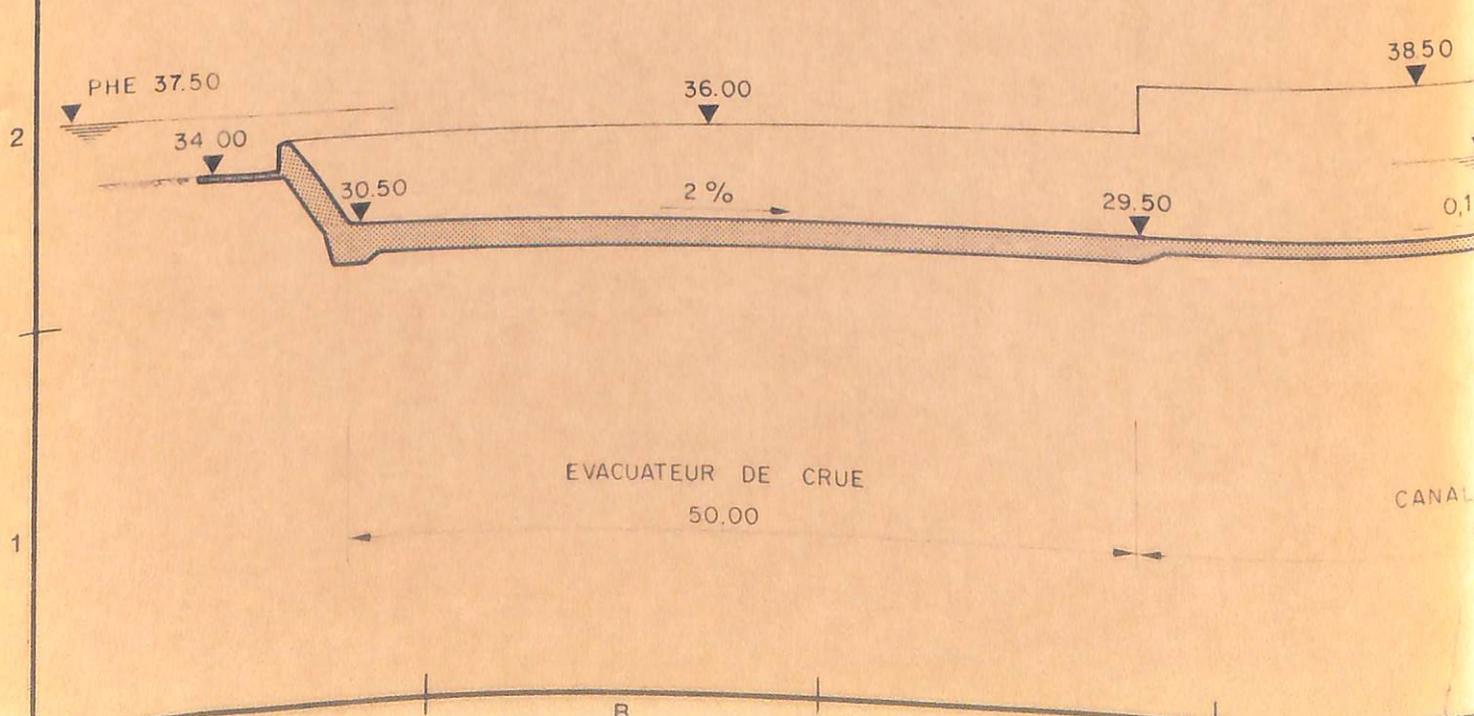


REPUBLICQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NMANDOUBA PROFIL TYPE ET DETAIL COURONNEMENT			
EHELLE 1:200 1:100	DATE 11.8.79	NUMERO DU PLAN 61 58 - 207 590	
		DESIGNATEUR MC	ANNEXE 9-9

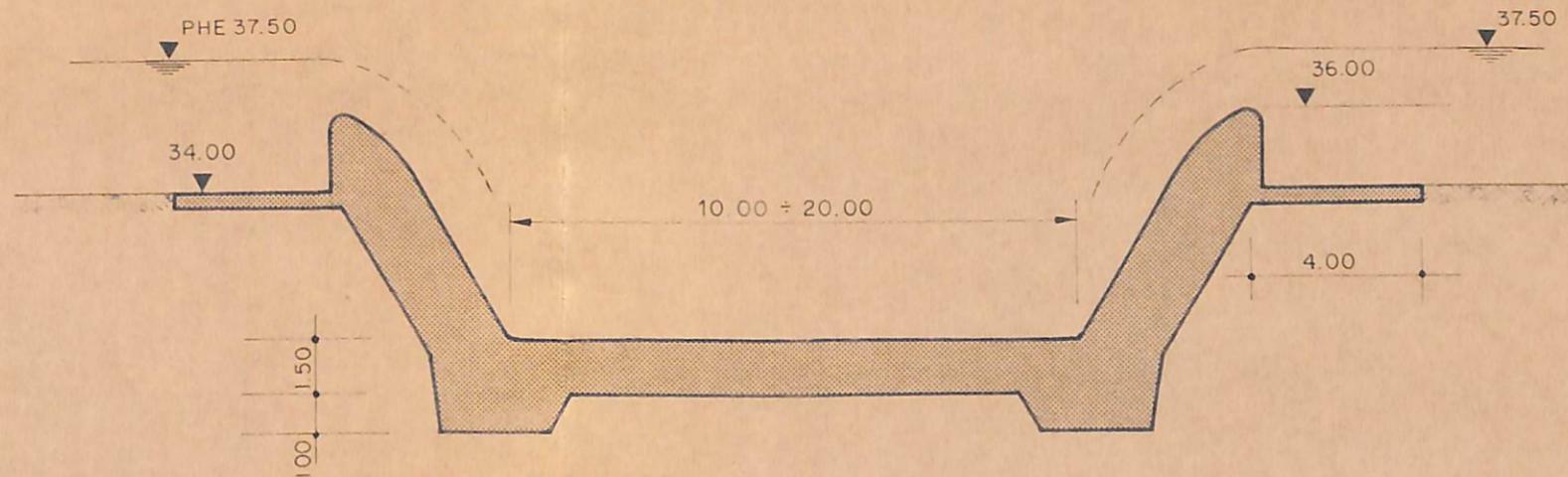
SITUATION 1:500



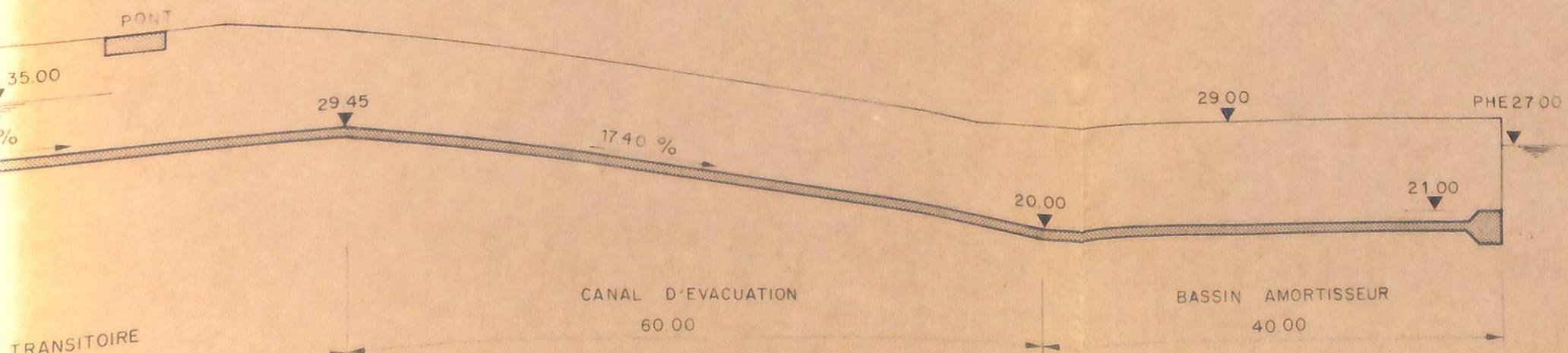
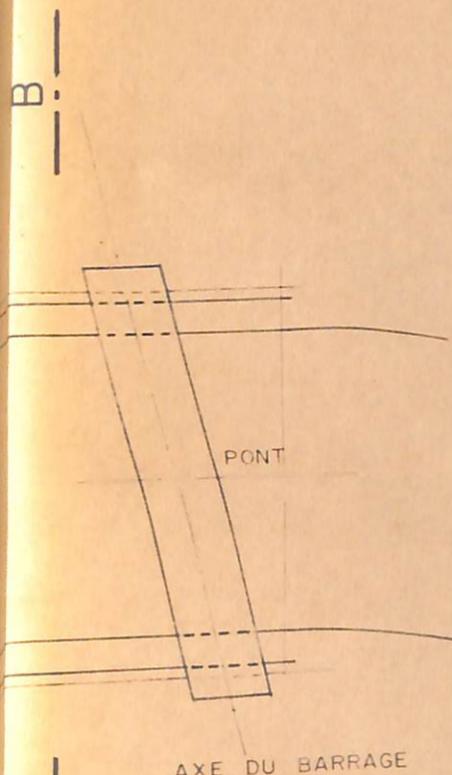
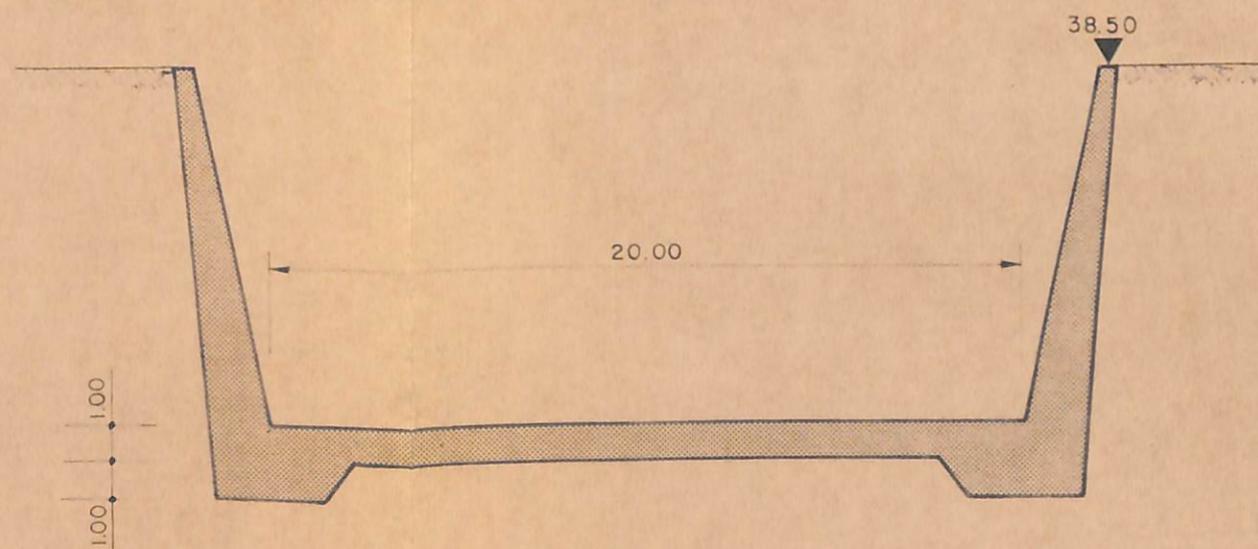
PROFIL EN LONG 1:500



PROFIL A-A 1:200



PROFIL B-B 1:200



REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA EVACUATEUR DE CRUES			
 <b>ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR</b>		DESS DGM B	
ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN	ANNEXE
1 500 / 200	OCT 79	6 1 5 8 - 2 0 7 1 4 4	9 - 1 0

A

B

C

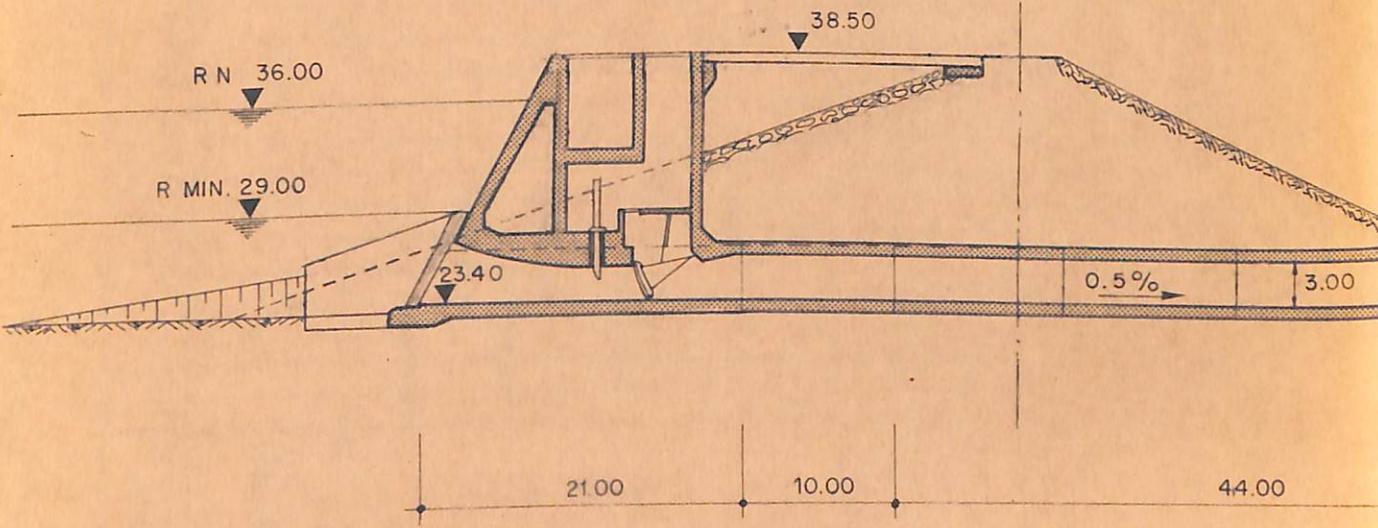
D

6

# COUPE LONGITUDINALE 1:500

5

4

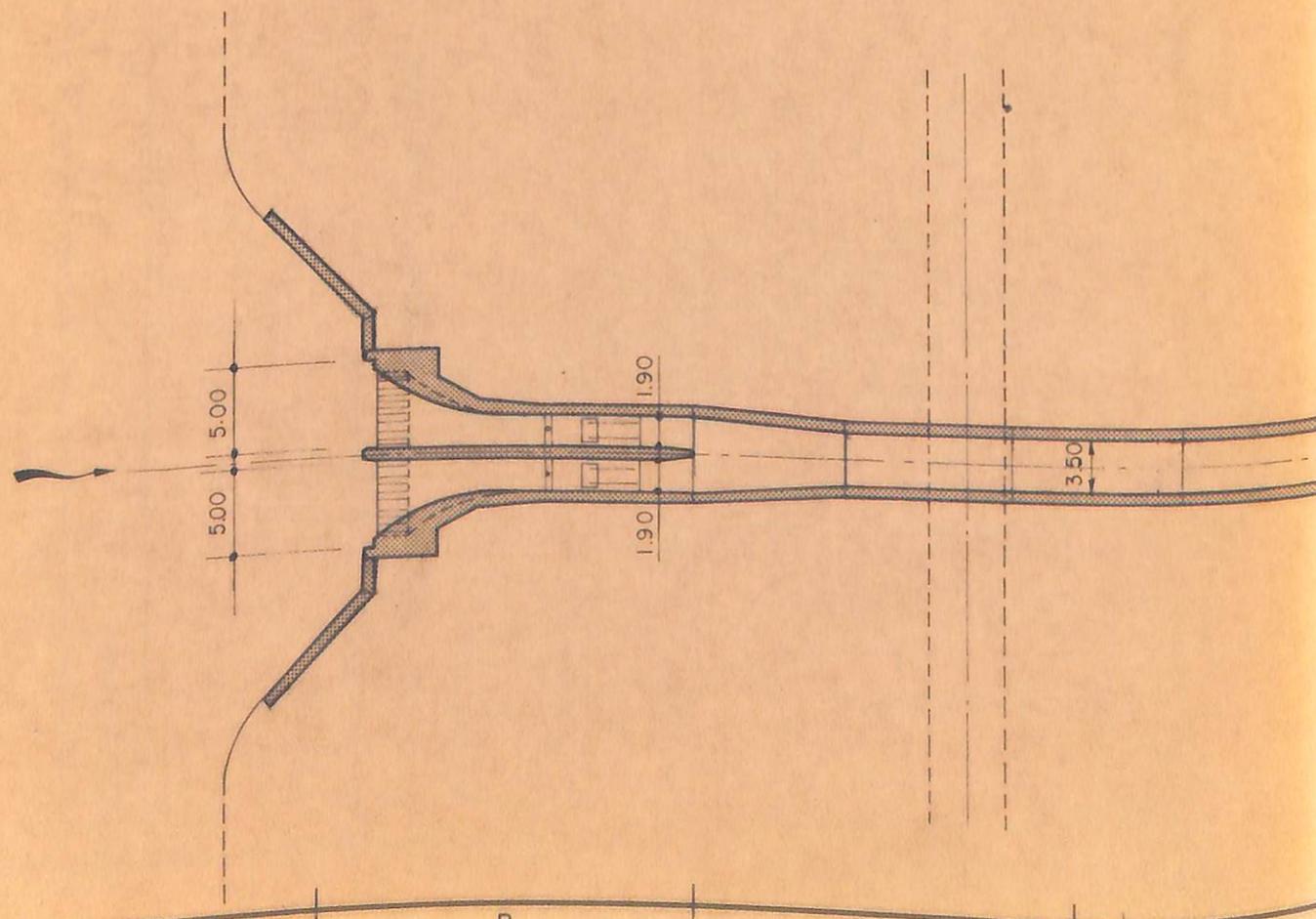


3

# COUPE HORIZONTALE 1:500

2

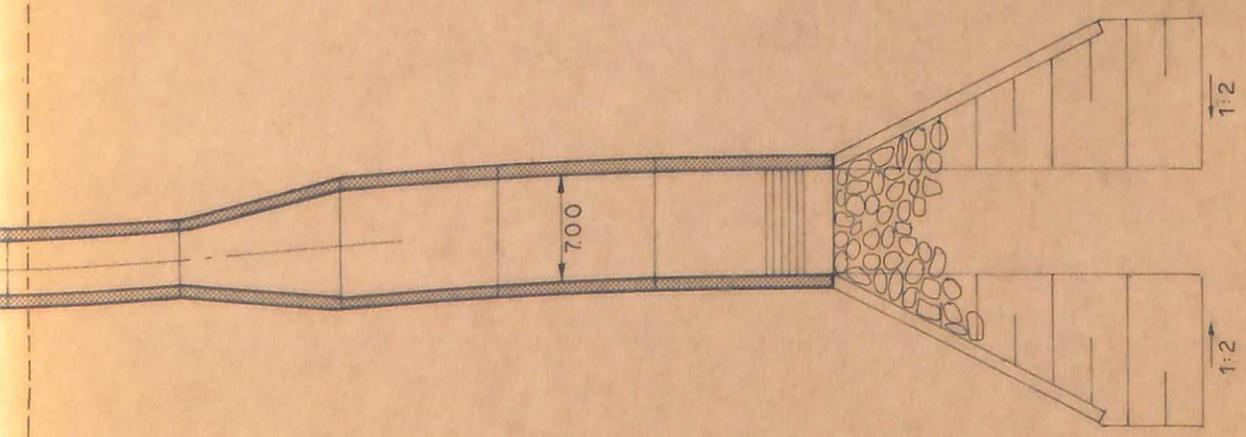
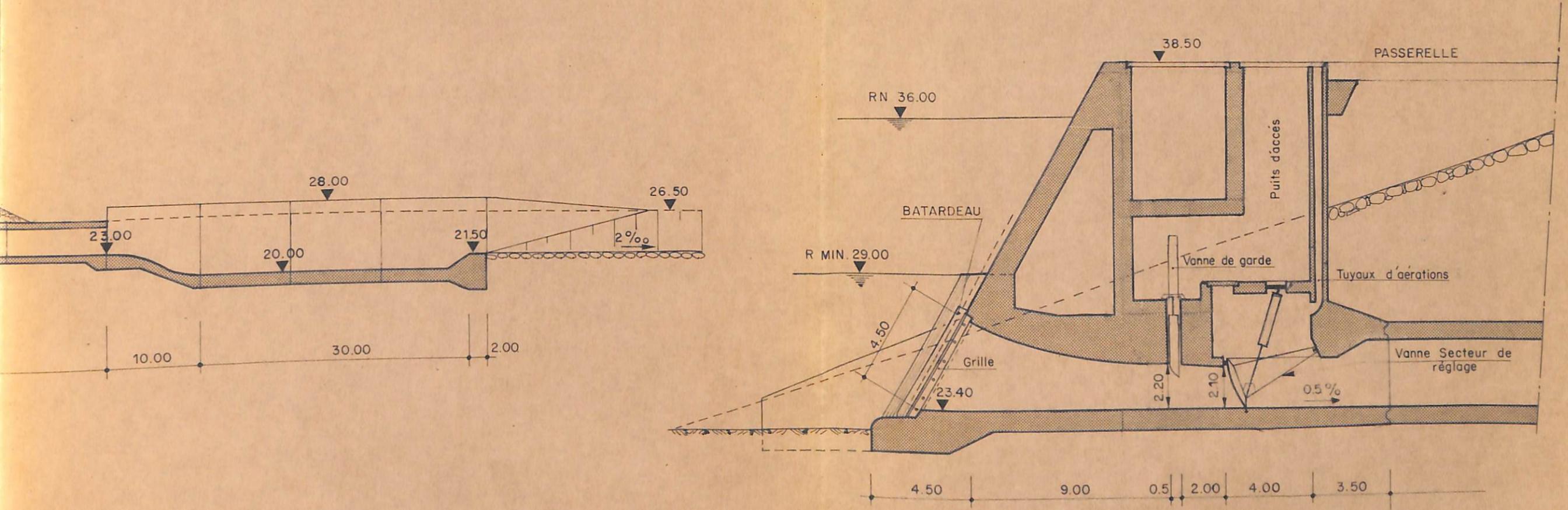
1



B

C

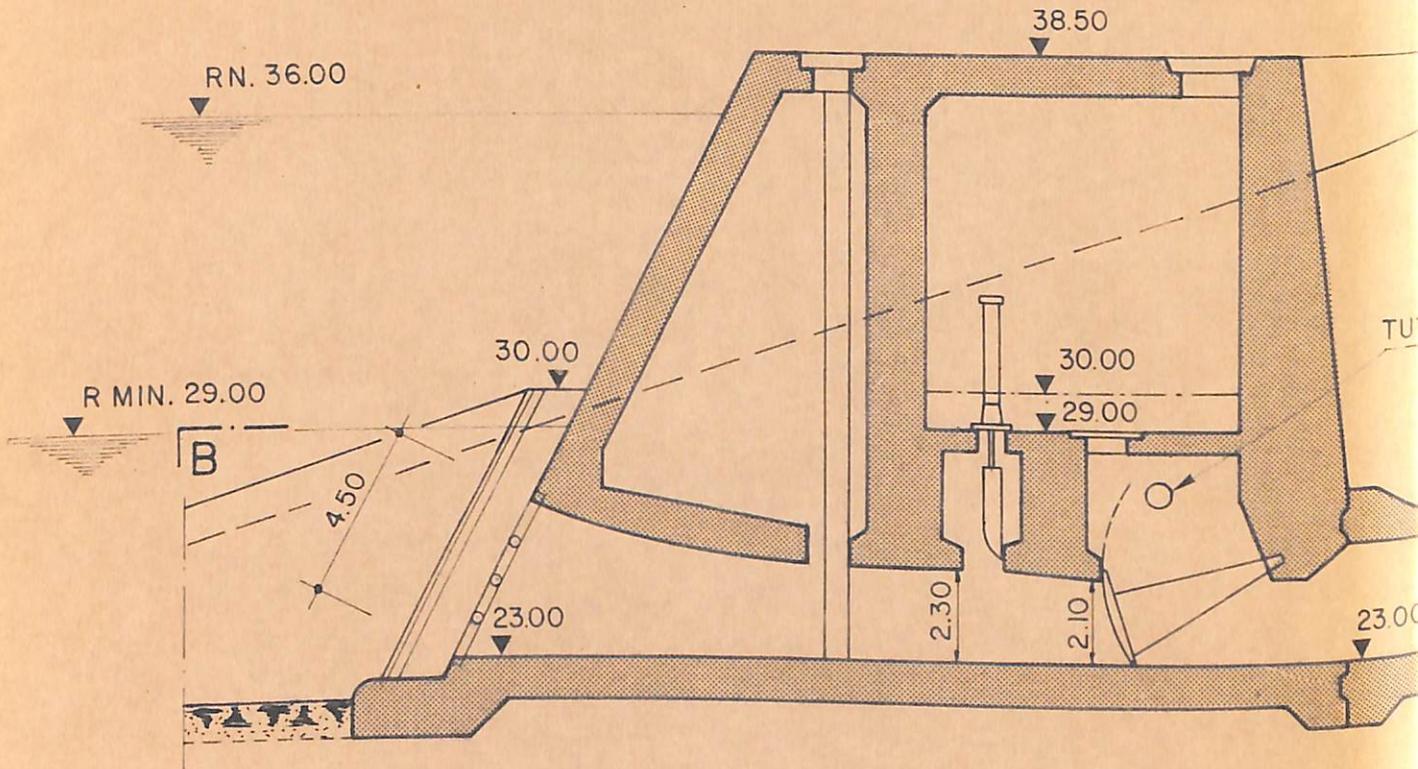
DETAIL 1: 200



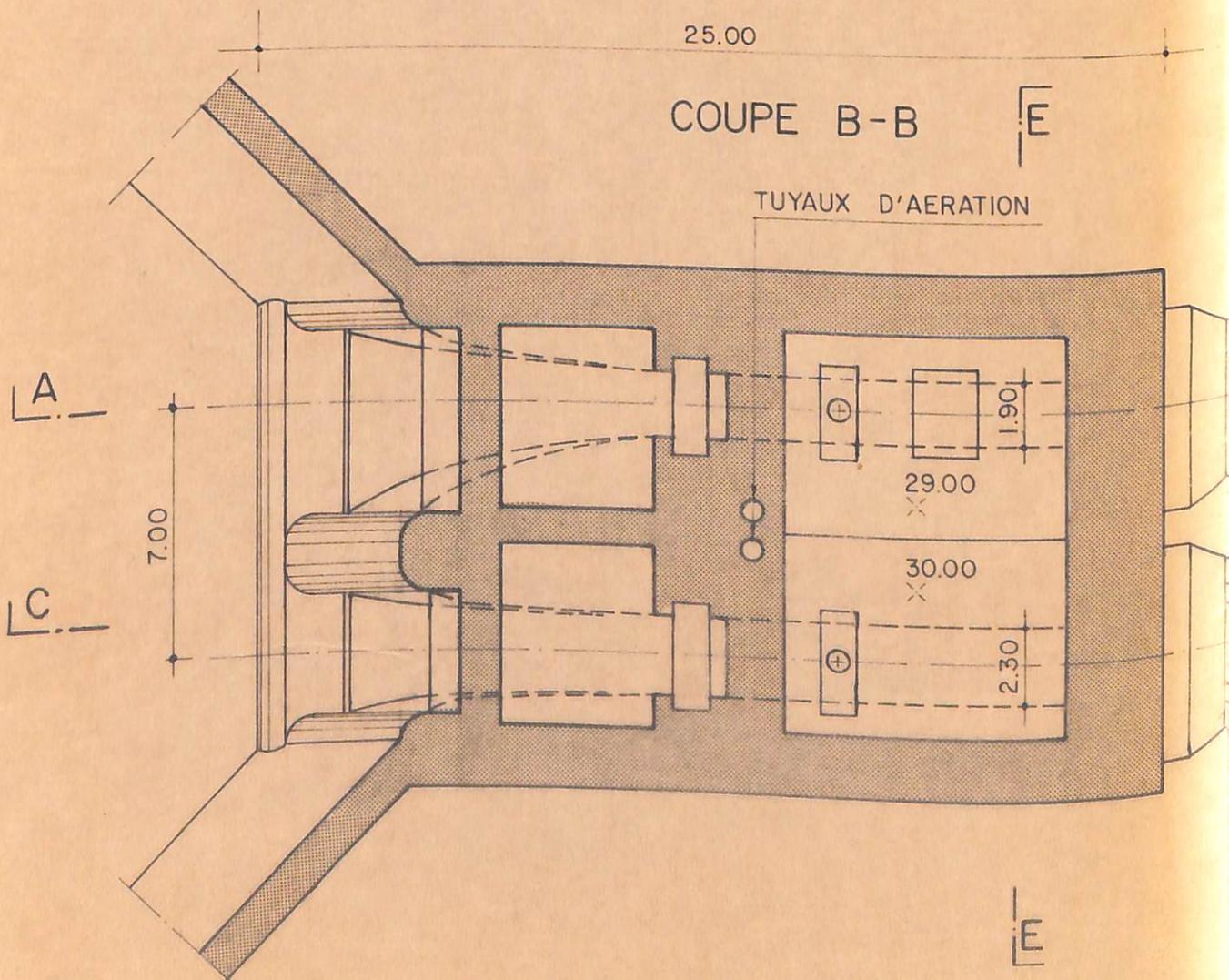
REPUBLICQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE NIANDOUBA PRISE D'EAU / VIDANGE DE FOND			
 ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR	DESS	DGMB	
	CONT	VISA	
ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN	
1:500/200	OCT. 79	6158 - 207141 9-11	



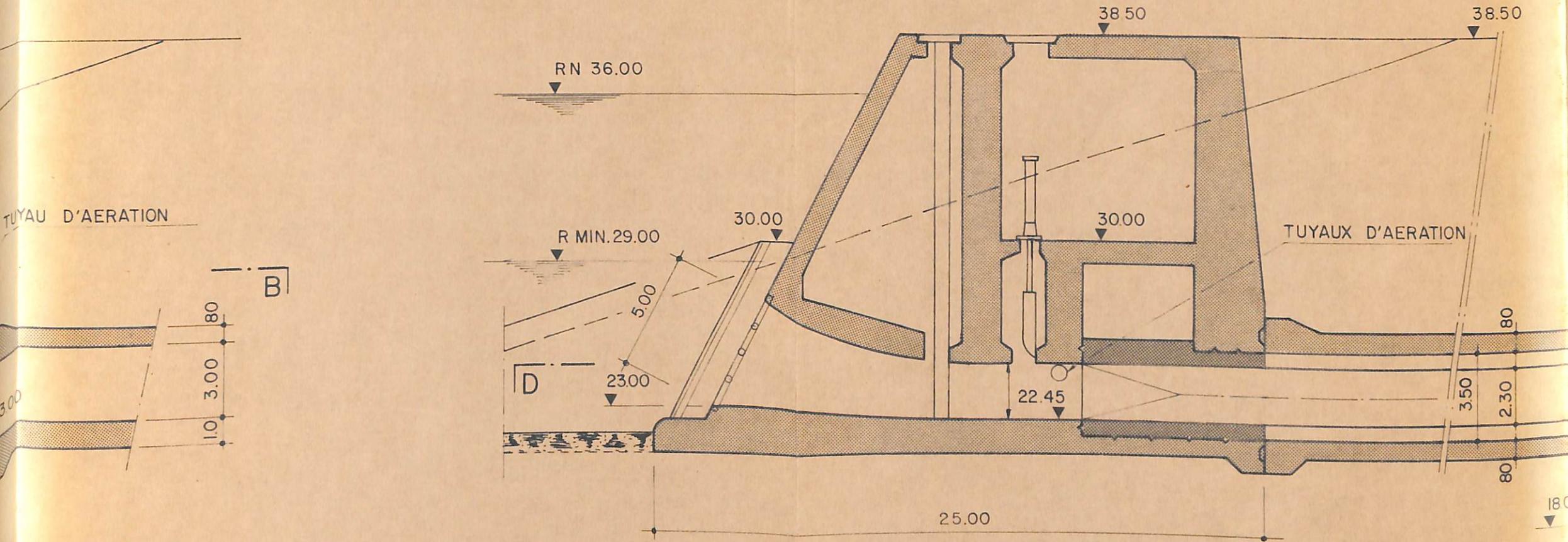
COUPE A-A



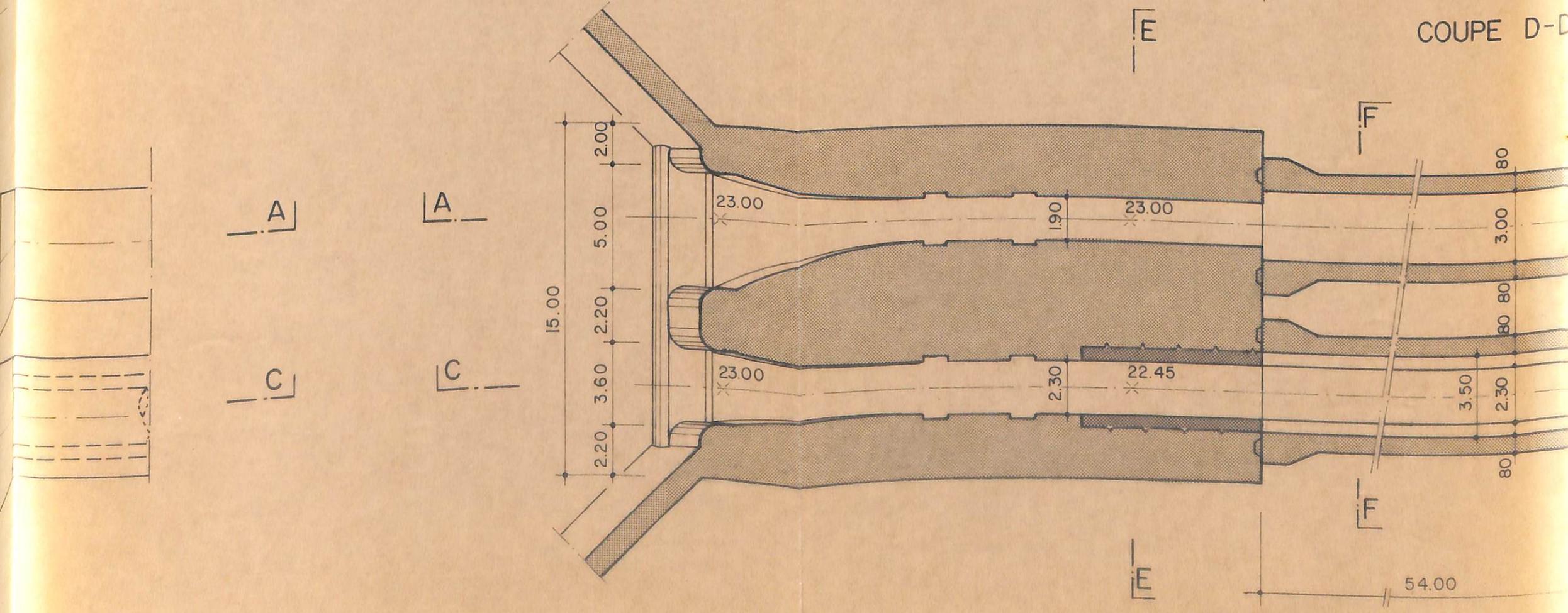
COUPE B-B



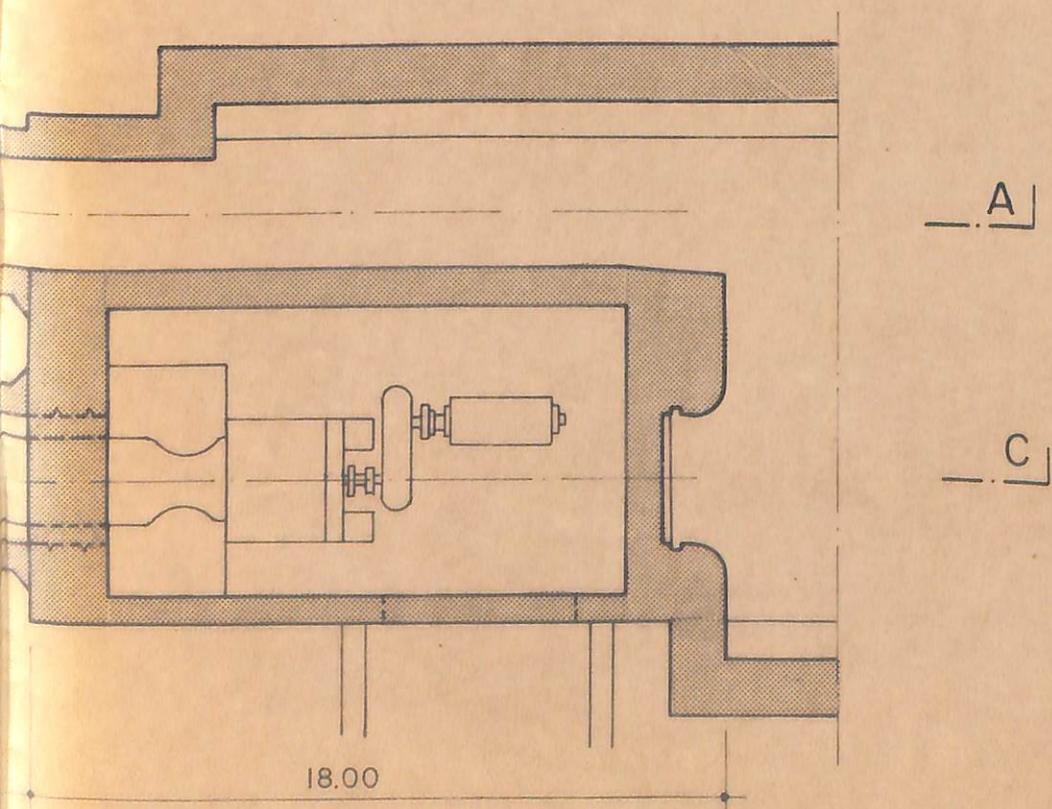
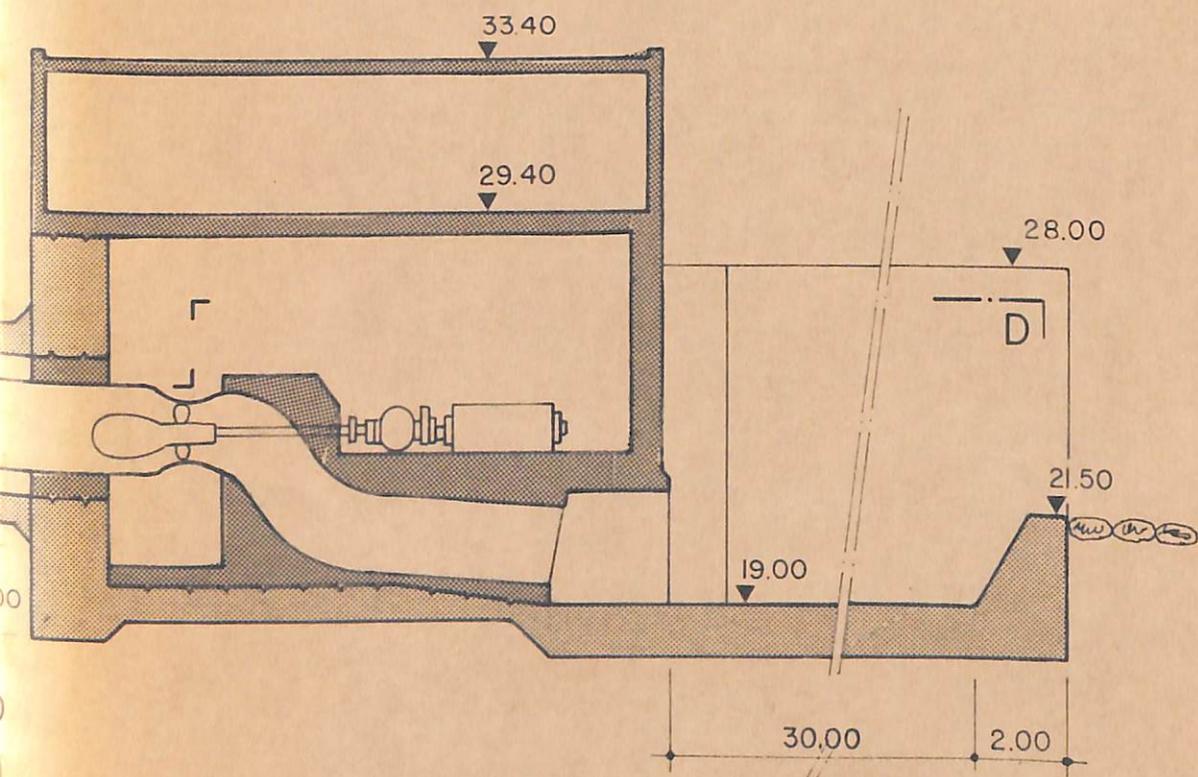
COUPE C-C



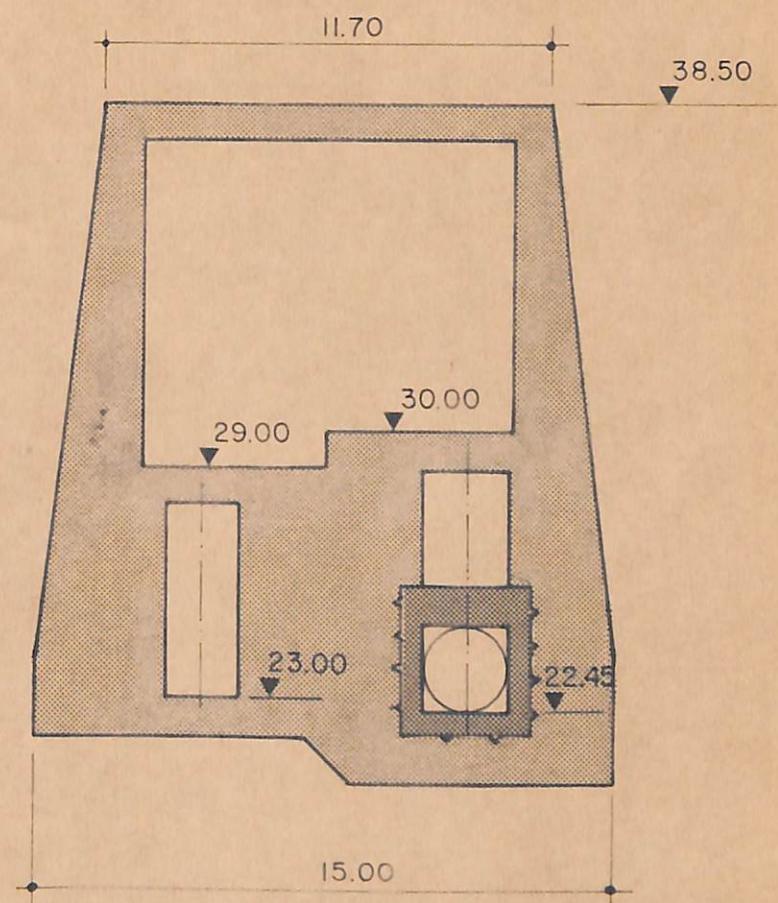
COUPE D-D



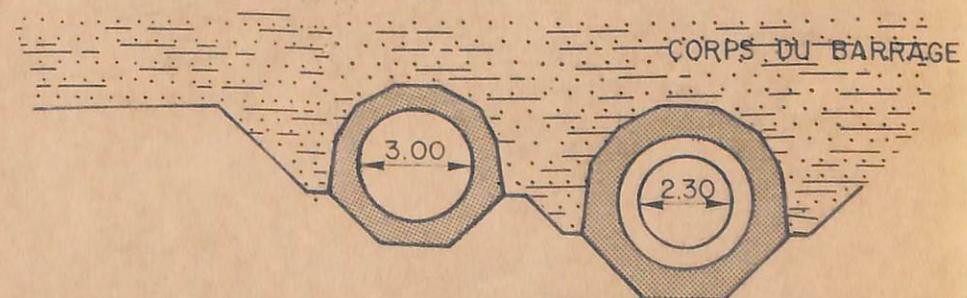
C



COUPE E-E



COUPE F-F



REPUBLIQUE DU SENEGAL  
 MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL  
 SODAGRI

AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE

BARRAGE DE NIANDOUBA

USINE VARIANTE 1



ELECTROWATT  
 INGENIEURS-CONSEILS S.A.  
 ZURICH - DAKAR

DESS MC

CONT

VISA

ECHELLE

DATE

NUMERO DU PLAN

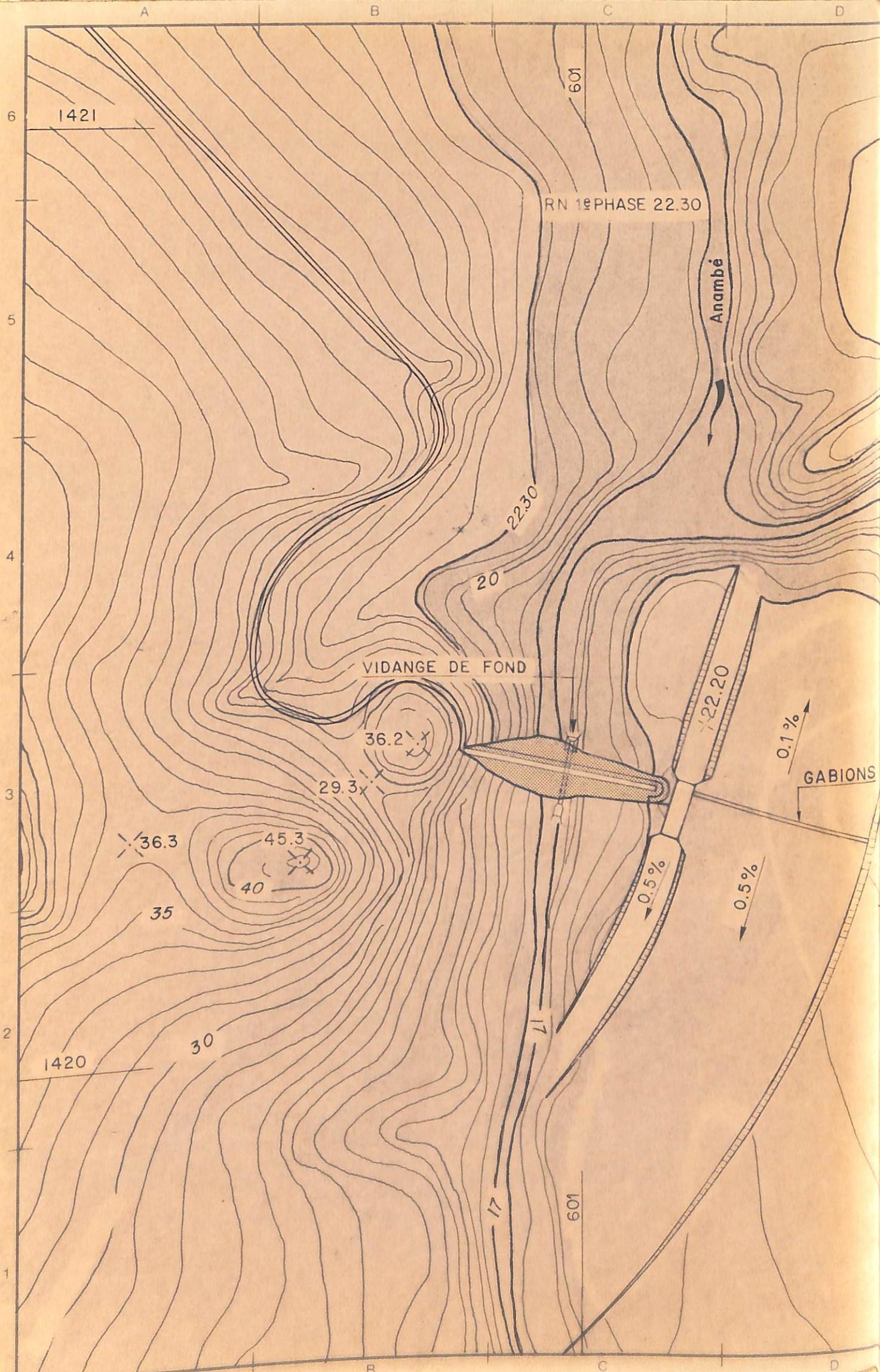
ANNEE

1: 200

NOV 79

6158-211400

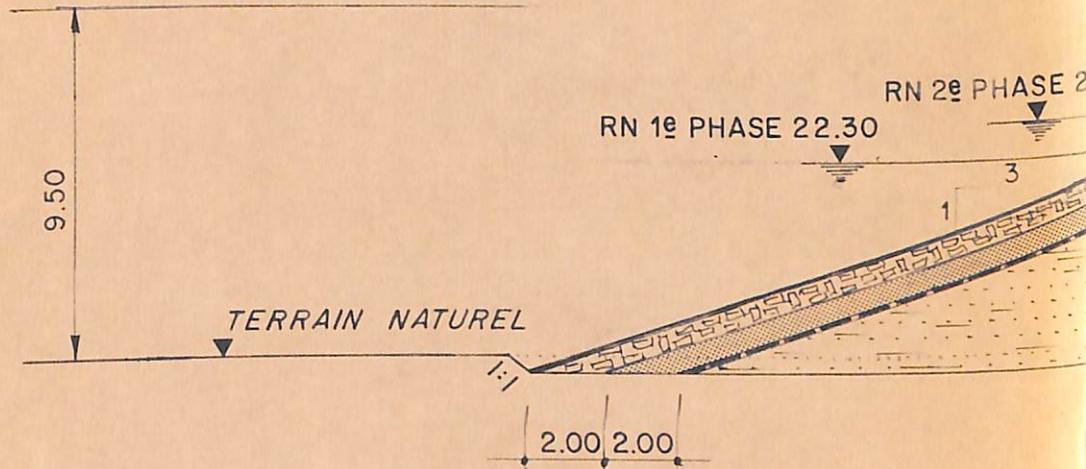
9-13



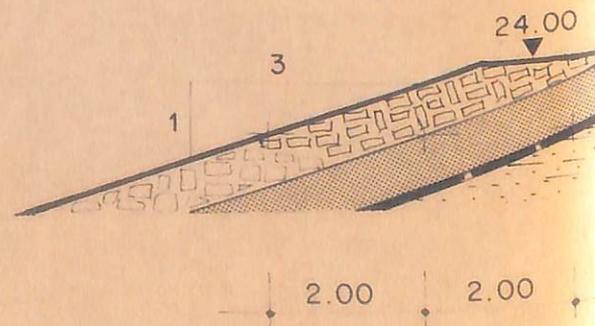


REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DU CONFLUENT SITUATION			
	<b>ELECTROWATT</b> <b>INGENIEURS-CONSEILS S.A.</b> <b>ZURICH - DAKAR</b>		DESS <b>Moussa</b> CONT VISA
	ECHELLE 1: 5000	DATE NOV. 79	NUMERO DU PLAN 6158 - 211399

PROFIL TYPE 1:200

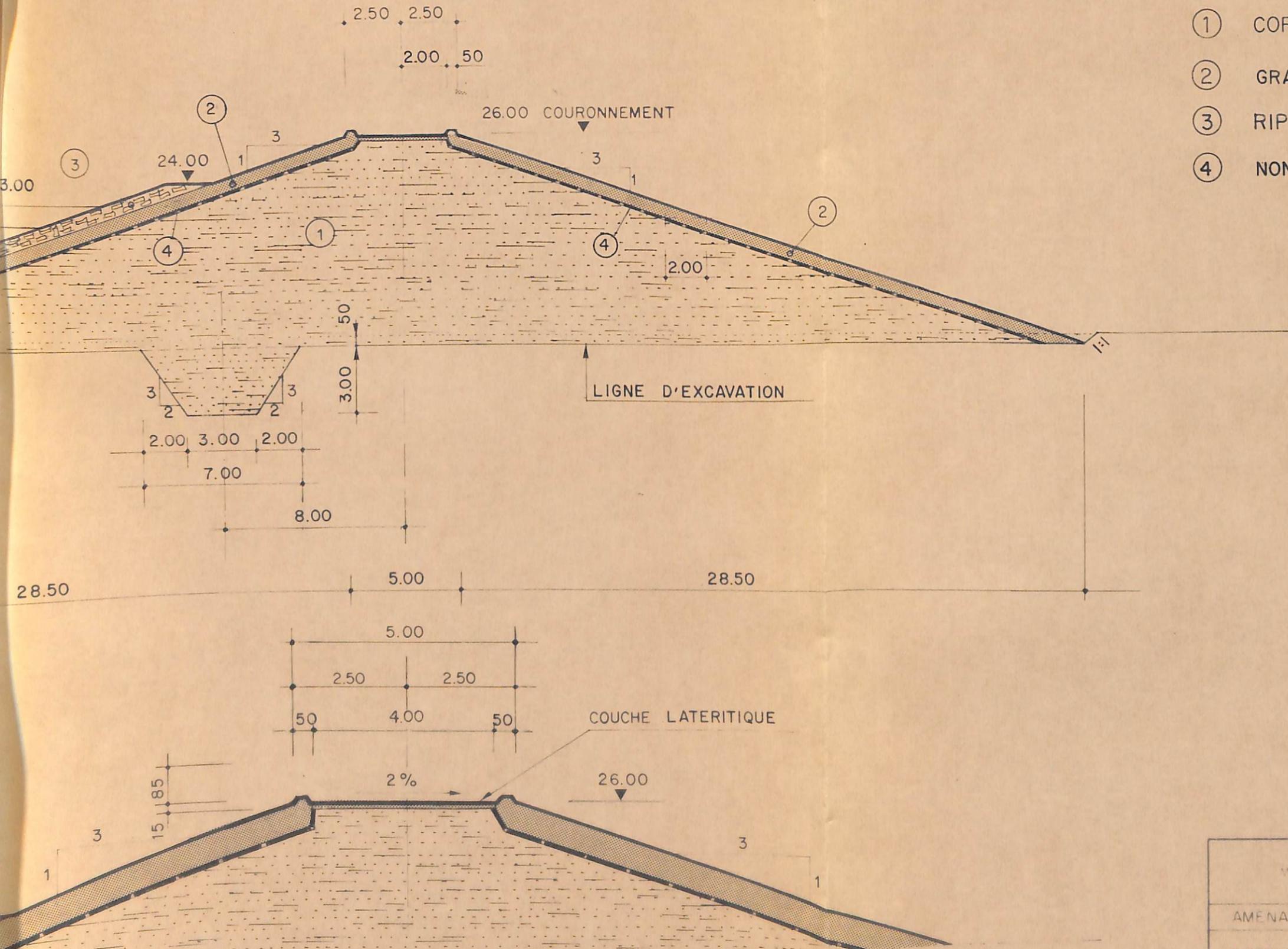


DETAIL COURONNEMENT 1:100



# LEGENDE

- ① CORPS EN ALLUVIONS FINES
- ② GRAVIER LATERITIQUE
- ③ RIP - RAP
- ④ NON TISSE



REPUBLIQUE DU SENEGAL MINISTRE DU DEVELOPPEMENT RURAL SEVAGH			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
<b>BARRAGE DU CONFLUENT</b> PROFIL TYPE ET DETAIL COURONNEMENT			
	ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH / DAKAR		DGMB
	ECHELLE 1:200 1:100	DATE SEP. 79	NUMERO DU PLAN 6158 207137

A

B

C

D

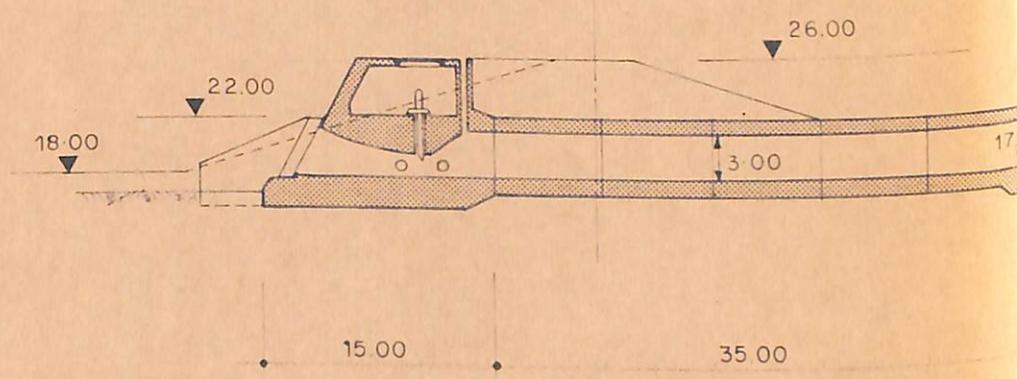
6

# VIDANGE DE FOND

## COUPE LONGITUDINALE 1:500

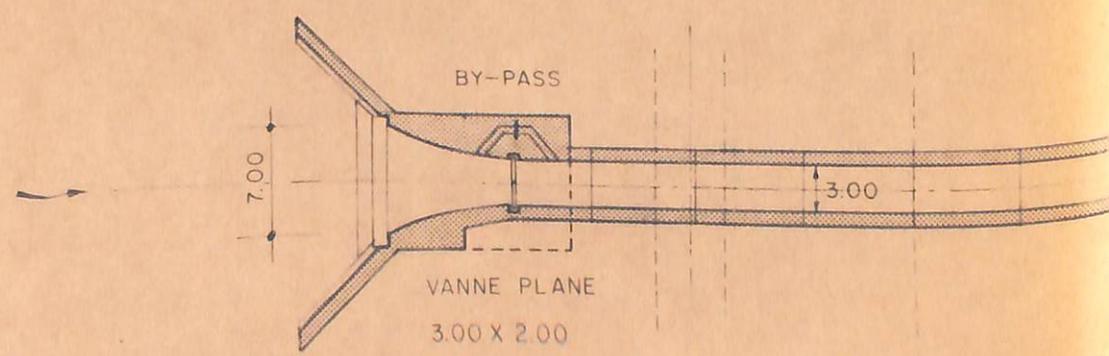
5

4



3

2



## COUPE HORIZONTALE 1:500

1

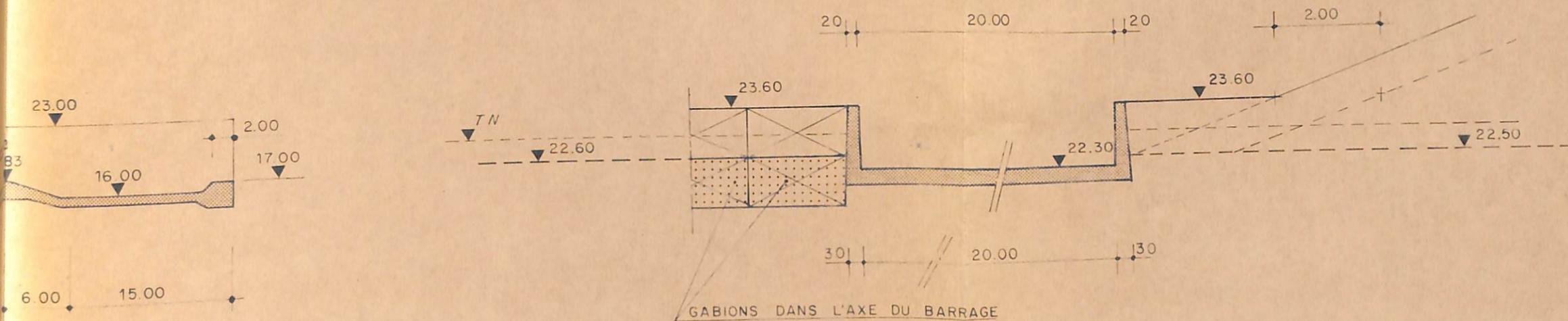
A

B

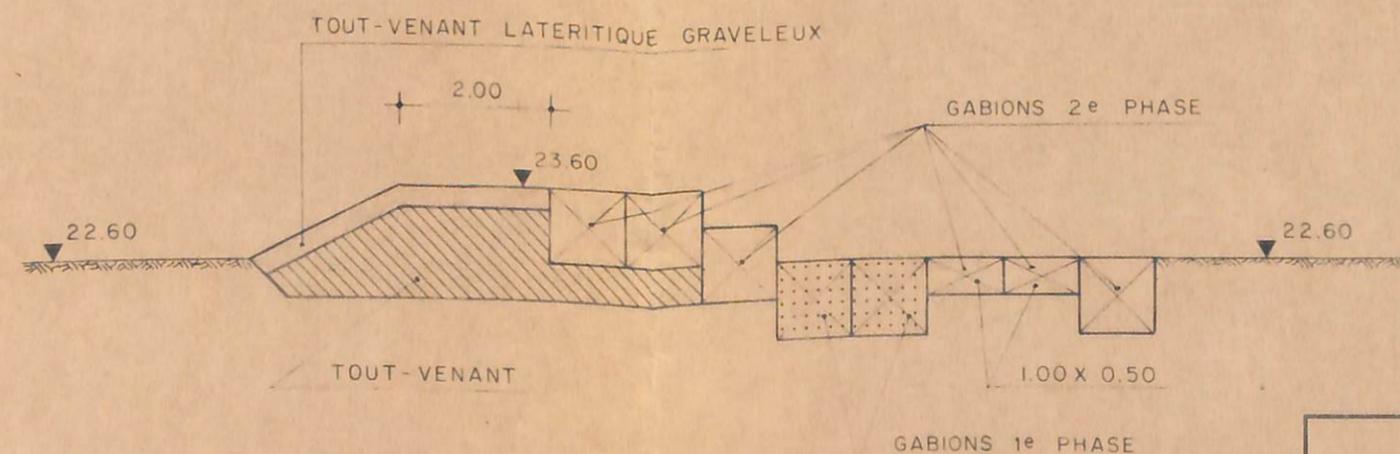
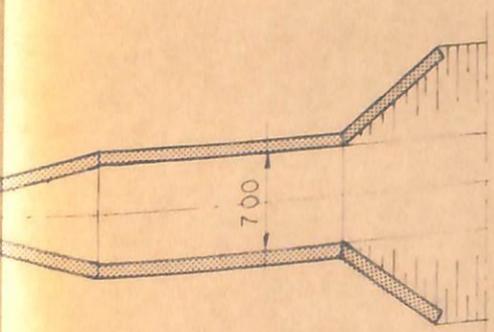
D

# EVACUATEUR DE CRUES

## COUPE EN TRAVERS DU CANAL 1:100



GABIONS DANS L'AXE DU BARRAGE



## COUPE LONGITUDINALE CHENAL 1:100

REPUBLICQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DU CONFLUENT			
VIDANGE DE FOND ET EVACUATEUR			
EHELLE 1:500/1.00	DATE OCT. 79	NUMERO DU PLAN 6158 - 207143	
		ANNEXE 9 - 17	
ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH - DAKAR			DESS DGMB

20

1428

KOUNKANE

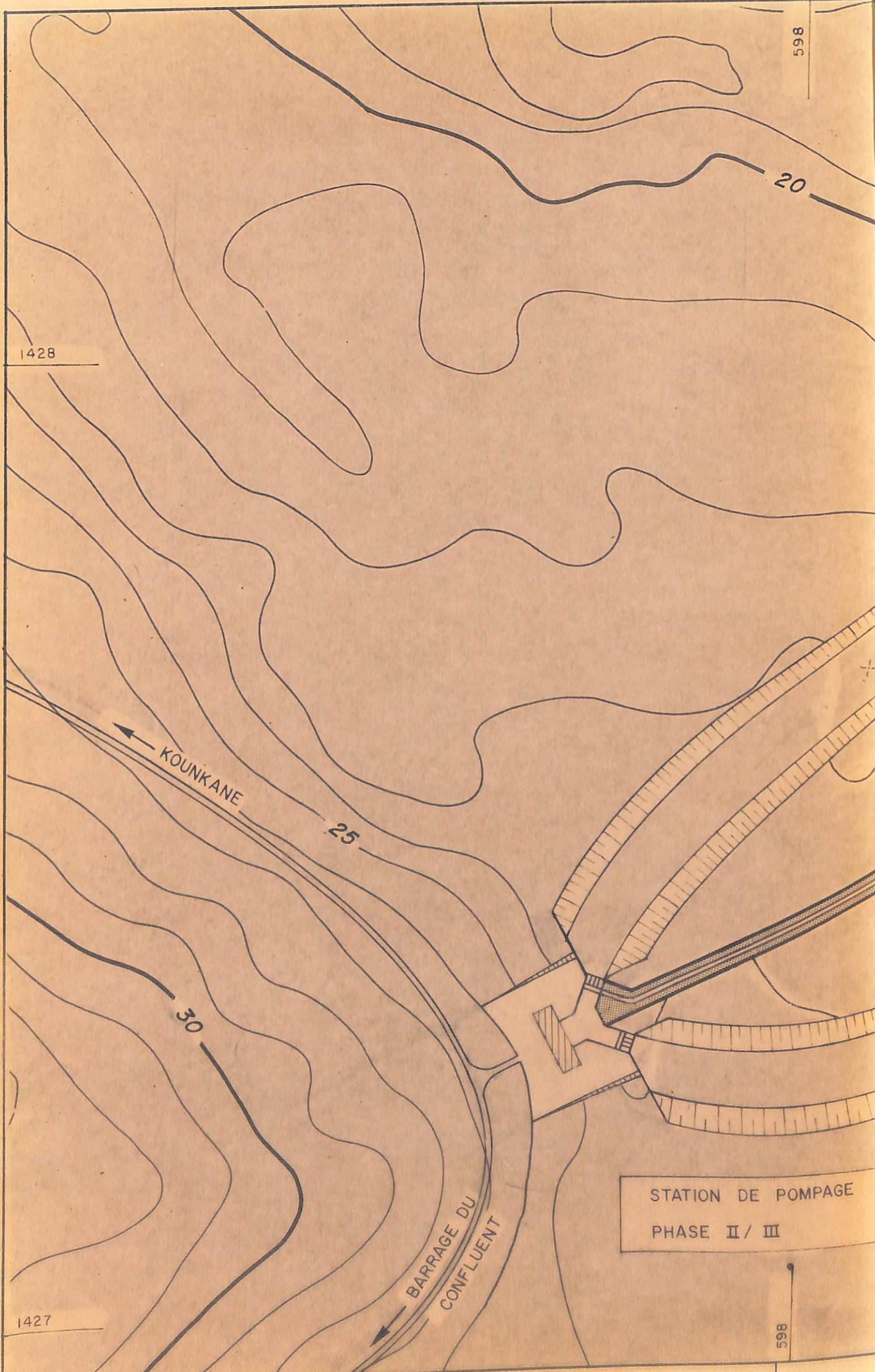
25

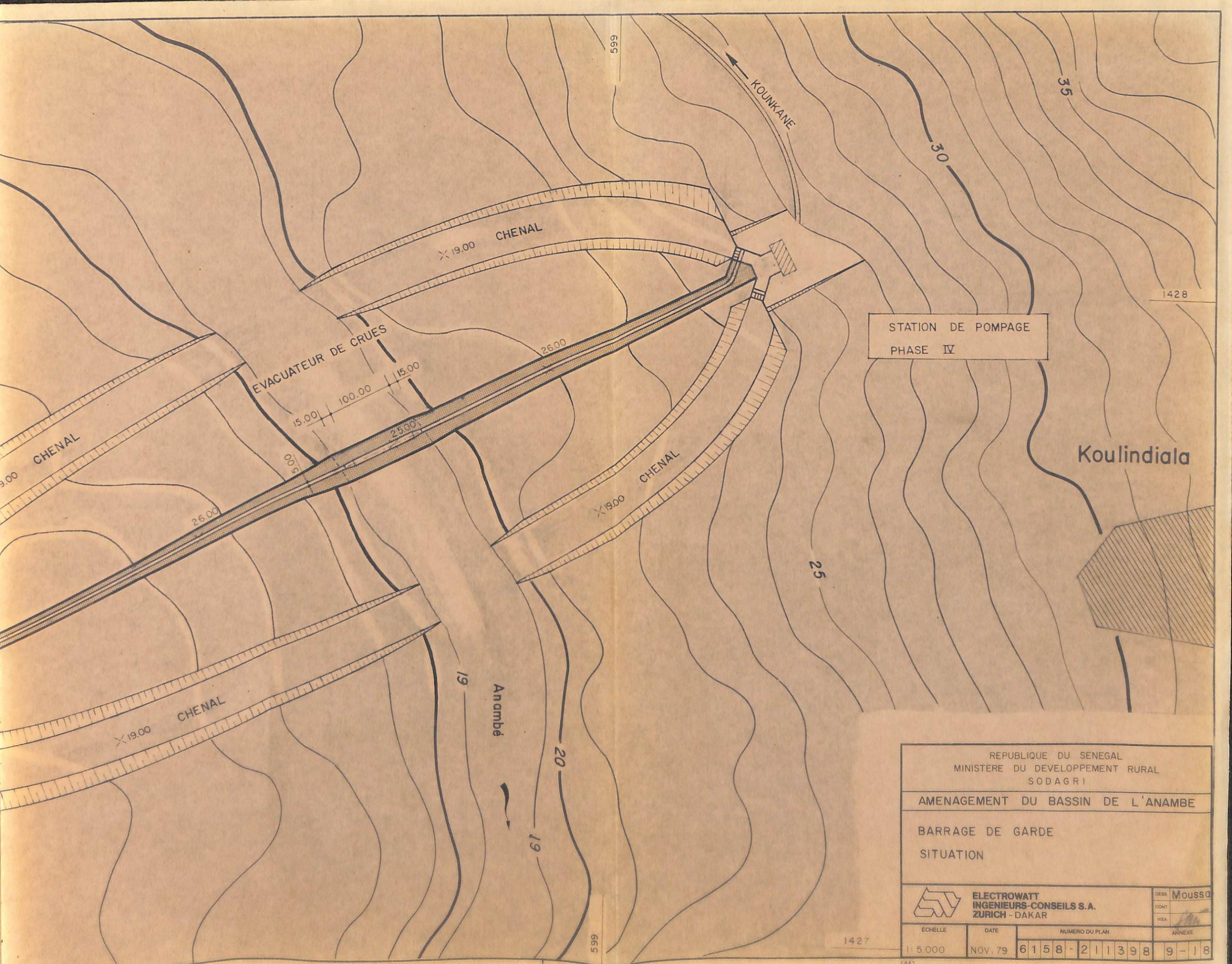
30

BARRAGE DU  
CONFLUENT

STATION DE POMPAGE  
PHASE II / III

1427





STATION DE POMPAGE  
PHASE IV

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL  
SODAGRI

AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE

BARRAGE DE GARDE

SITUATION

 **ELECTROWATT  
INGENIEURS-CONSEILS S.A.  
ZURICH - DAKAR**

ECHELLE	DATE	NUMERO DU PLAN		ANNEXE
1: 5.000	NOV. 79	6158	211398	9-18

DESS. MOUSSO  
CONT.  
VISA

1427

699

A

B

C

D

# PROFIL TYPE 1:200

SUD

6

5

4

3

7.50

PHE 25

RN 23

TERRAIN NATUREL

2.00 2.00

# EVACUATEUR DE CRUES 1:100

2

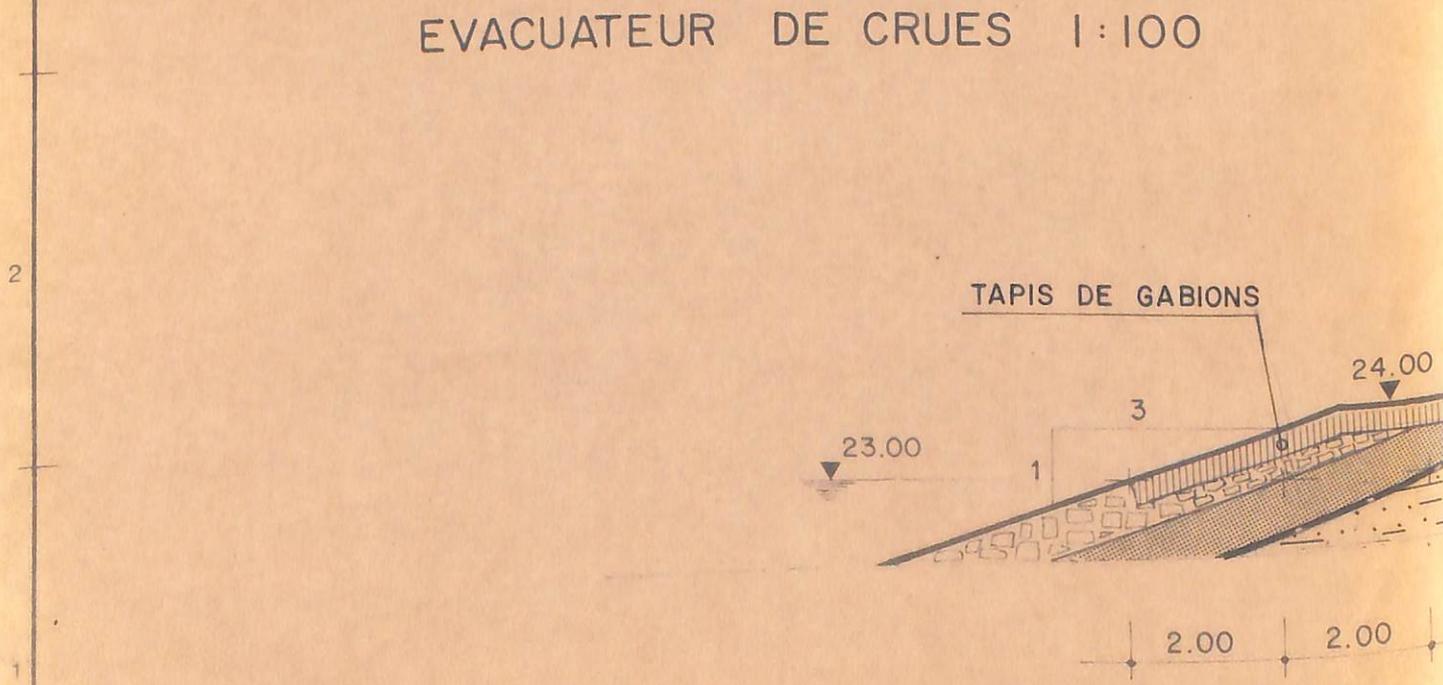
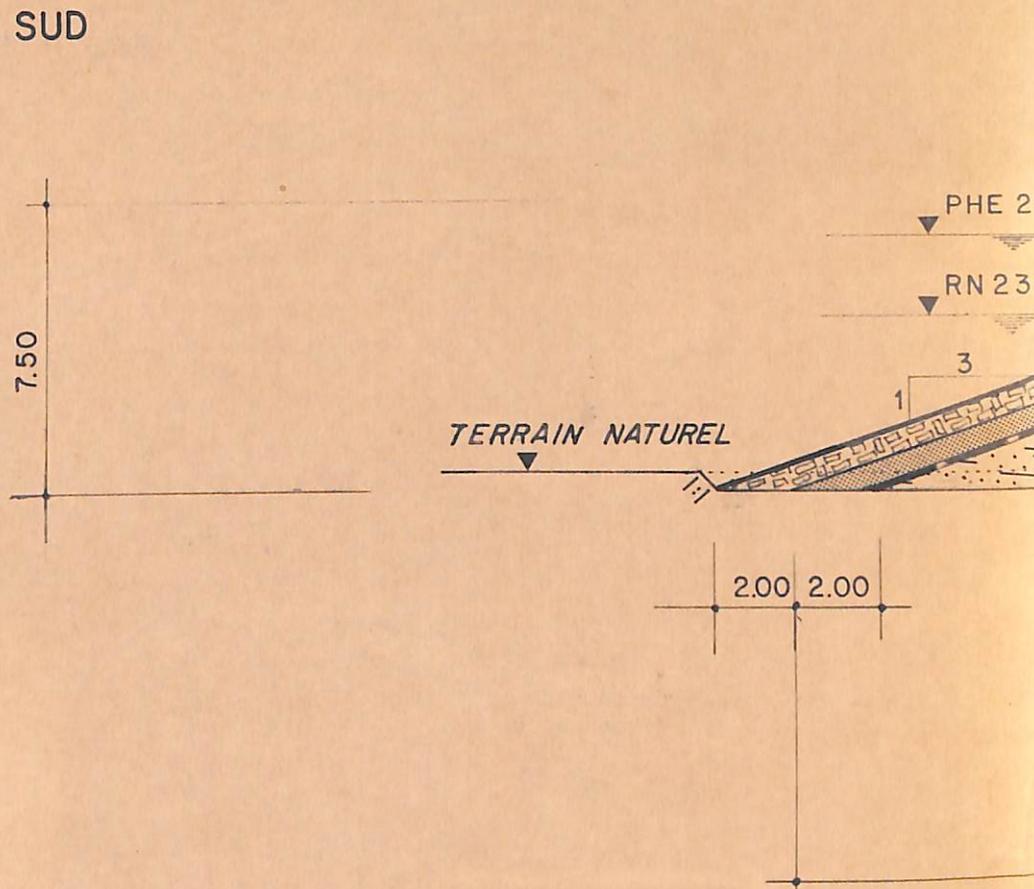
TAPIS DE GABIONS

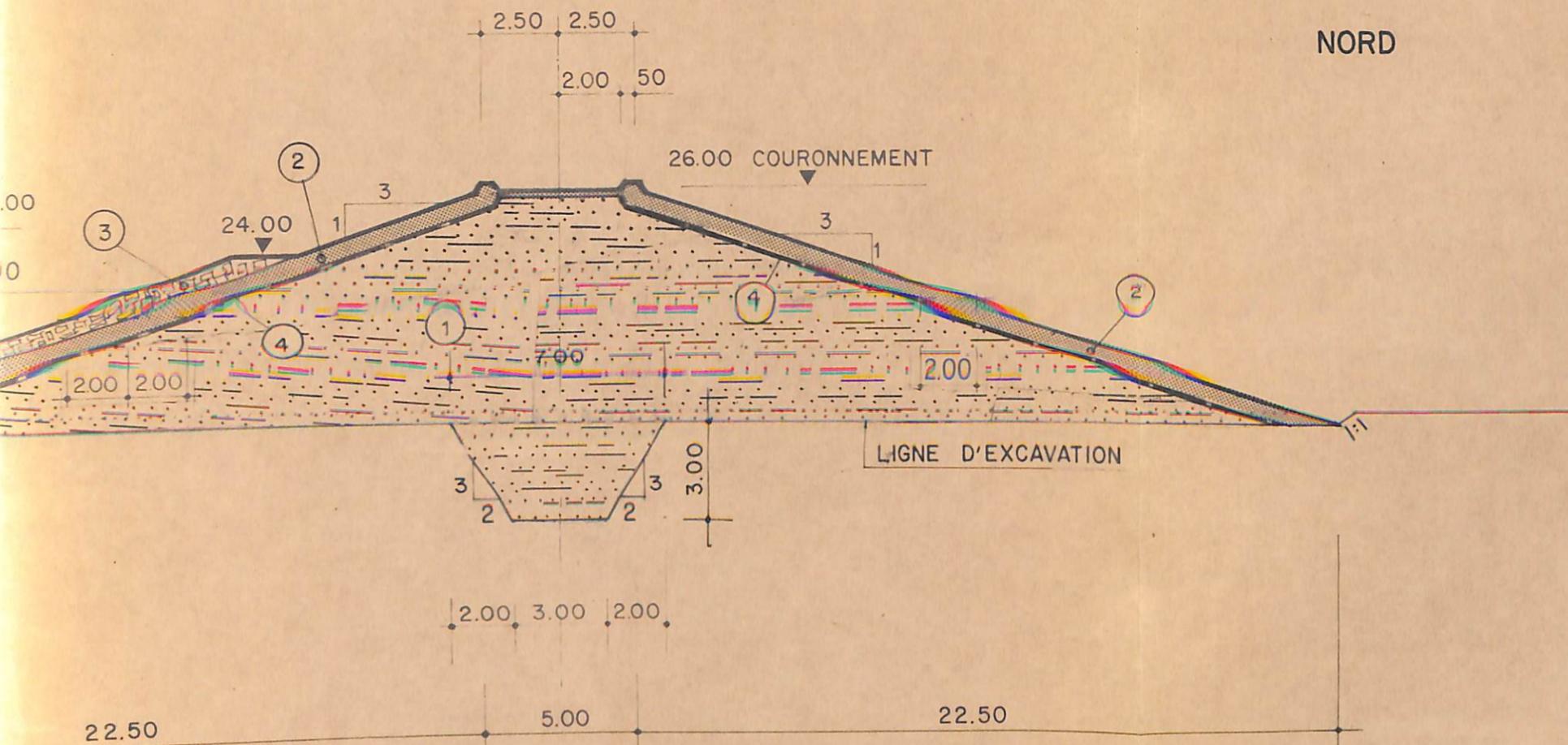
23.00

24.00

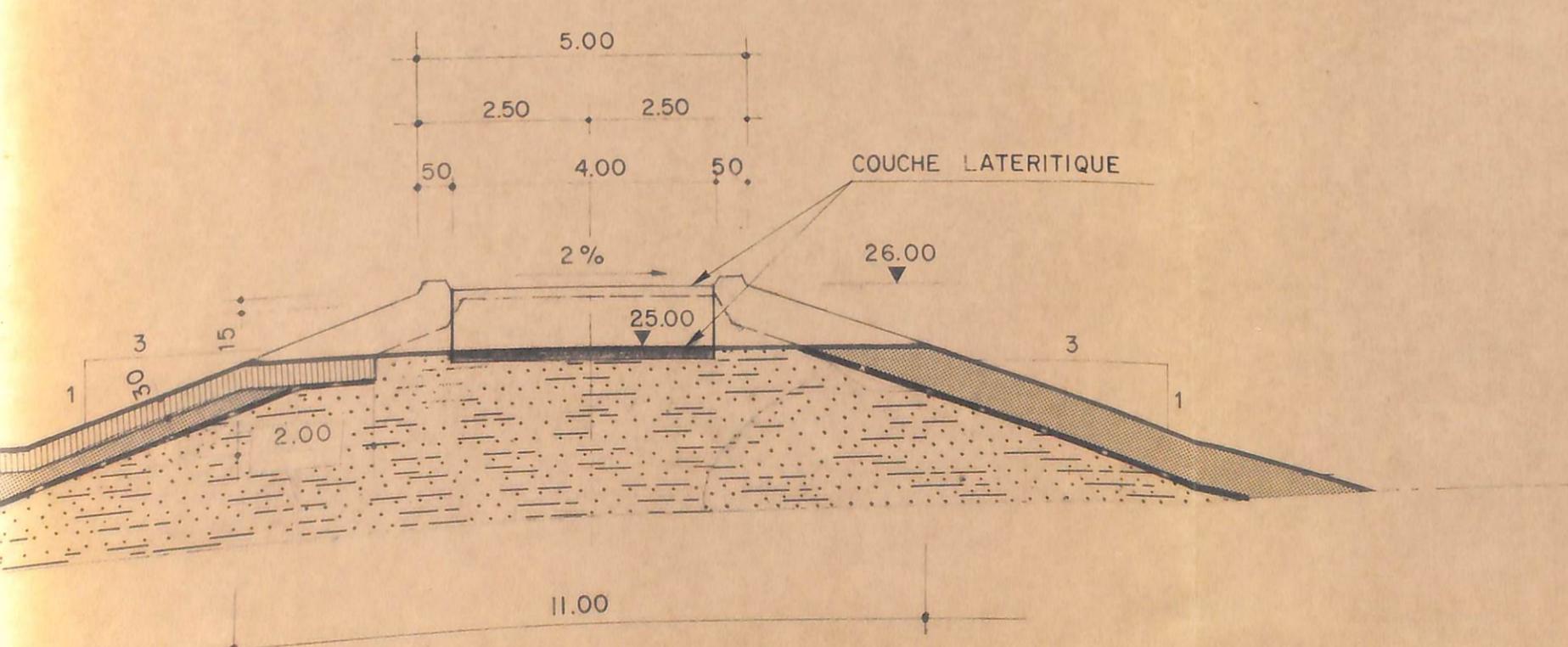
2.00 2.00

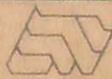
1





- LEGENDE
- ① CORPS EN ALLUVIONS FINES
  - ② GRAVIER LATERITIQUE
  - ③ RIP - RAP
  - ④ NON TISSE



REPUBLICQUE DU SENEGAL MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL SODAGRI			
AMENAGEMENT DU BASSIN DE L'ANAMBE			
BARRAGE DE GARDE PROFIL TYPE ET EVACUATEUR DE CRUES			
 ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEILS S.A. ZURICH DAKAR	DESS DGMB CONT VSA	NUMERO DU PLAN 6158 - 207138	
	ECHELLE 1:200 1:100	DATE SEP. 79	ANNEE 9 - 19

