

TS

628.3

~~628.3~~ C86a

French

PN-ABI-972

73112

Mission pour l'aide à la Tunisie  
Embassade des États Unis  
Tunis Tunisie

A.I.D.  
Reference Center  
Room 1656 NS

TRAITEMENT AND RÉCUPÉRATION  
DES  
EAUX USÉES DE TUNIS

par

Docteur William J. Oswald,  
Professeur d'Hygiène  
Publique et de Techniques Sanitaires\*  
Université de Californie  
Berkeley, Californie  
94720

Traitement and Recuperation des Eaux Usees de Tunis.

TS

628.3 California Univ., Berkeley.

086a Treatment and Reclamation of Tunis Sewage.

William J. Oswald. Apr. 1972.

83 p. appendices.

Prepared for USAID/Tunisia.

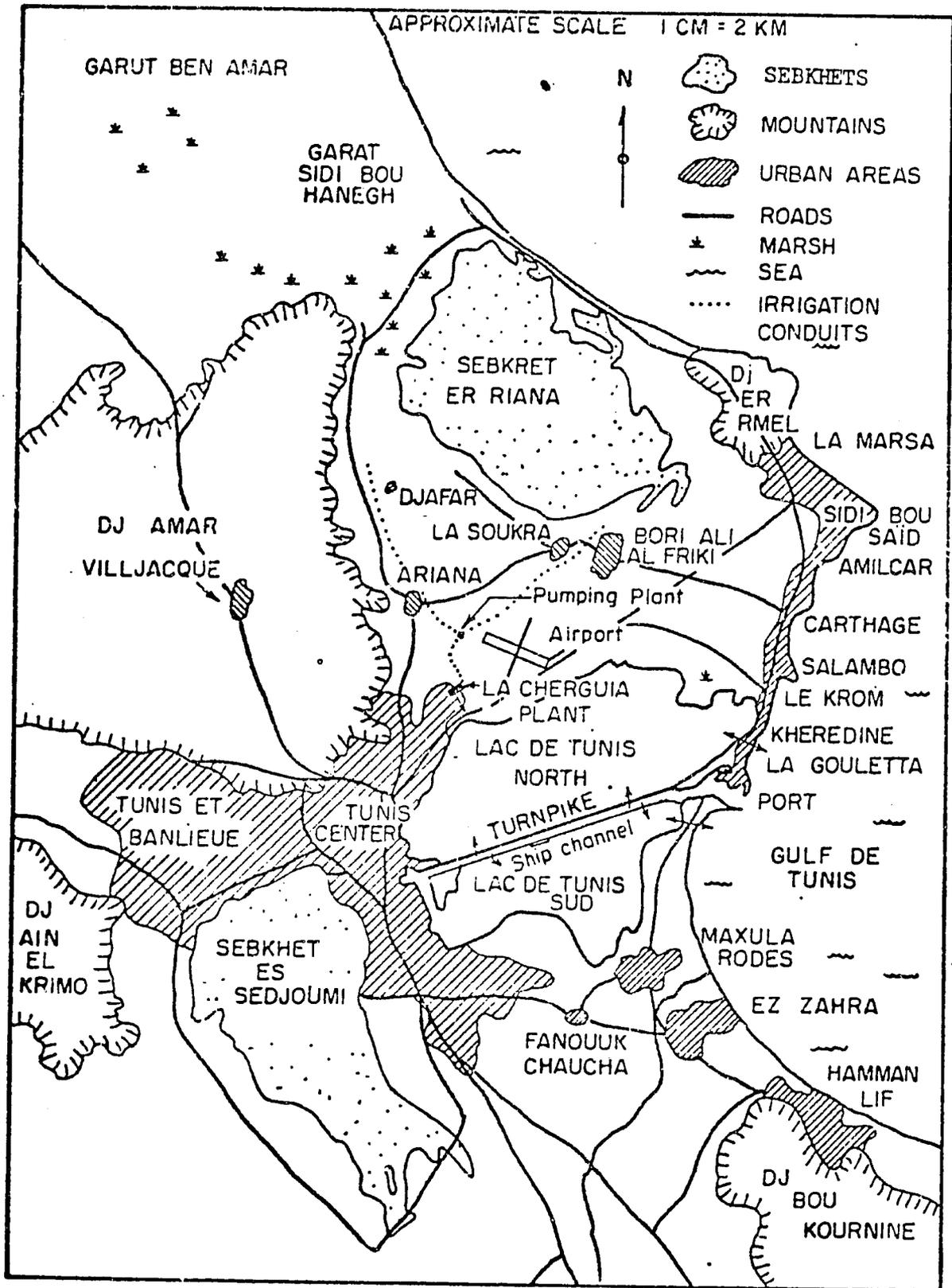
*see French*

1. Sewage disposal - TS.
2. Waste disposal - TS.
3. Waste water - TS.
4. Sewage lagoons - TS. I. PONDING System for Tunis Sewage Disposal. II. Title. III. Oswald, William J.

IV

Le 27 Avril 1972

\*Dans l'original Professor of Public Health and Sanitary Engineering



TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 1. Tunis et ses environs avec les caractéristiques de surface.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
FRONTSPICE (Figure 1)	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLES	vii
REMERCIEMENTS	ix
RESUMÉ	xi
CONCLUSION	xv
RECOMMANDATIONS	xvi
INTRODUCTION	1
L'ACTUEL SYSTEME DE Rassemblement DES EAUX USEES DE TUNIS	4
L'ACTUEL SYSTEME DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE TUNIS	5
L'ACTUEL SYSTEME DELIMINATION DES EAUX USEES DE TUNIS	8
REMARQUES GENERALES CONCERNANT LE Rassemblement	14
REMARQUES GENERALES CONCERNANT LE TRAITEMENT	15
REMARQUES GENERALES CONCERNANT L'ELIMINATION	24
PLAN D'ENSEMBLE DE TRAITEMENT ET RECUPERATION	33
CRITERES D'EVALUATION DES DIFFERENTS PROJETS	48
COÛTS DES SYSTEMES DE TRAITEMENT	57
SÉLECTION D'ALTERNATIVES POUR EFFECTUER UNE ÉVALU- ATION	77
ÉVALUATION DES DIFFÉRENTS PRC	79
MÉSURES D'INTERIM	87
DISCUSSION	91

(Suite de la Table des Matières)Page

ÉTUDES FUTURES

92

RÉFÉRENCES

ANNEXE 1	"COÛT DES BONES ACTIVÉES ET DE LA CHLORURATION"	A-1-1
ANNEXE 2	"COÛT DE FILTRATION AU GOUTTE À GOUTTE ET DE LA CHLORURATION"	A-2-1
ANNEXE 3	"TRANSPORT DE LA CHERGUIA AU SEBKHET ER RIANA--COÛTS"	A-3-1
ANNEXE 4	"TRANSPORT DE LA CHERGUIA À DJAFAR--COÛTS"	A-4-1
ANNEXE 5	"PROJET ET ÉVALUATION DU COÛT DE BASSIN DE DÉSOXYDATION--RÉCUPÉRATION"	A-5-1
ANNEXE 6	"PROJET ET ÉVALUATION DU COÛT D'UN BASSIN FACULTATIF**"	A-6-1
ANNEXE 7	"ÉVALUATION DU COÛT DE POMPAGE DE L'EFFLUENT DES BASSINS D'ER RIANA AU RÉSERVOIR DE DJAFAR"	A-7-1
ANNEXE 8	"ÉVALUATION DU COÛT D'UNE STATION PRIMAIRE DE 100,000 m <sup>3</sup> /jr"	A-8-1
ANNEXE 9	"COÛT DE LA DÉCHARGE À L'OcéAN"	A-9-1
ANNEXE 10	"STATION TEMPORAIRE D'AÉRATION À LA CHERGUIA--COÛTS"	A-10-1
ANNEXE 11	"PROJET D'UN SYSTÈME D'INTERIM DE BASSINS"	A-11-1

\*Bassin aérobie ou anaérobie

LISTE DES FIGURES

<u>Figure</u>	<u>Légende</u>	<u>Page</u>
1.	Tunis et ses environs avec les caractéristiques de surface	11
2.	Modesto, California, États Unis. 340 hectares, 5,000,000 m <sup>3</sup> bassins de haute vitesse et bassins facultatifs	23
3.	L'utilisation d'une série des bassins fait décroître en moyenne le nombre de bactéries des eaux usées	30
4.	Le projet actuel (HAR) du système d'égouts et de récupération des eaux pour Tunis	39
5.	Le Projet Bonifica de récupération des eaux, Tunis, 1969	40
6.	Le Projet HAR-Bonifica utilisant la Cherguia comme point de rassemblement	44
7.	Transport par injection de la station de pompage de la Cherguia à un centre de traitement et de mise en réserve situé près de Djafer	45
8.	Le plan décentralisé de rassemblement, traitement et élimination des eaux d'égouts de Tunis	46
9.	Rassemblement centralisé des eaux usées de Tunis et rejet en haute mer	49
10.	Indices des coûts des égouts, des systèmes de traitement des eaux usées et coûts du terrassement, États Unis, 1957-1972	60
11.	Estimation des coûts des systèmes primaires de traitement, Tunis, 1972	61
12.	Estimation des coûts des systèmes à boues activées, Tunis, 1972	62
13.	Estimation des coûts des systèmes de filtration au goutte à goutte	63
14.	Estimation des coûts de la chloruration, Tunis, 1972	64
15.	Estimation des coûts de bassin, Tunis, 1972 (y compris les coûts américains ajustés à 1972 pour des bassins spécifiques)	66

Suite de la liste des figures

<u>Figure</u>	<u>Légende</u>	<u>Page</u>
16.	Données sur les coûts des canalisations	67
17.	Estimation des coûts des stations de pompage, Tunis, 1972	69
18.	Estimation de la population et des débits pour la ville de Tunis et sa banlieu, 1970-2020	71

Liste des figures de l'annexe

A3-1.	Profil de la Cherguia aux bassins d'Er Riana et dimension optimale des canalisations	A-3-4
A5-1.	Profils des digues des bassins	A-5-3
A5-2.	Système de bassin de désoxydation - mise en réserve proposée de 236 hectares, capacité 100,000 m <sup>3</sup> /jr	A-5-6
A6-1.	Système de bassin facultatif proposé de 320 hectares 7,800,000 m <sup>3</sup>	A-6-3

LISTE DES TABLES

<u>Table</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
I	Données chimiques et biologiques sur les bassins d'Esparto, Avril, 1965, d'après Kepple	32
II	Systèmes alternatifs de rassemblement des eaux usées de Tunis	36
III	Systèmes alternatifs de traitement des eaux usées de Tunis	37
IV	Systèmes alternatifs d'élimination des eaux usées de Tunis	38
V	Analyses des eaux usées de Tunis	74
VI	Listes des parties composantes des systèmes et des alternatives où elles sont utilisées	81
VII	Classification des différents coûts	82
VIII	Efficacité, coût, rapport efficacité-coût et temps entre la décision et mise en application pour les différentes alternatives	85
IX	Influence de la récupération sur le coût net unitaire pour les différentes alternatives, Tunis, 1972	89

Liste des Tables de l'Annexe

A1-1	Coût d'une station à boues activées de 100,000 m <sup>3</sup> Coût d'une station à boues activées de 30,000	A-1-1
A1-2	Coût de la chloration de l'effluent des boues activées et de la filtration au goutte à goutte, 100,000 m <sup>3</sup> /jr	A-1-2
A1-3	Coût de la chloration de l'effluent primaire 100,000 m <sup>3</sup> /jr	A-1-2
A2-1	Coût d'une station de filtration au goutte à goutte de 100,000 m <sup>3</sup>	A-2-1
A3-1	Transport de la Cherguia à Er Riana	A-3-1
A4-1	Transport de la Cherguia à Er Riana - couts	A-4-1
A5-1	Résumé des travaux de terra	A-5-1
A5-2	Résumé de l'enrochement	A-5-4

Liste des Tables de l'Annexe

<u>Table</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
A5-3	Resumé des travaux de canalisation	A-5-4
A5-4	Station de pompage	A-5-5
A5-5	Resumé des coûts d'investissement pour une système de bassins de désoxydation et mise en réserve	A-5-7
	Coût annuel d'un tel système	A-5-7
A5-6	D'après les courbes de coût de la Figure 15 (courbe supérieure)	A-5-7
A6-1	Travaux de terrassement pour un bassin facultatif	A-6-2
A6-2	Autre méthode d'évaluation du coût précédent	A-6-4
A7-1	Évaluation du coût de pompage de l'effluent du bassin d'Er Riana au réservoir de Djafar	A-7-1
A8-1	Évaluation du coût d'une station primaire de 100,000 m <sup>3</sup>	A-8-1
A9-1	Évaluation du coût de la décharge à l'océan	A-9-1
A10-1	Station temporaire d'aération à la Cherguia - coûts	A-10-1,2
A11-1	Coût d'un système temporaire de bassins	A-11-1,2

REMERCIEMENTS

La préparation de ce rapport n'aurait pas été possible sans l'aide généreuse de plusieurs personnes et c'est pourquoi je voudrais les remercier.

Je remercie Mr. Robert Samama, directeur de la Direction de l'hydraulique et de l'aménagement rural (HAR), ministère de l'agriculture, la Kasba; Mr. Ameer Horchani, ingénieur principal chef de la division barrage, direction HAR; Mr. Youssef Bochaala, ingénieur principal Service de l'assainissement urbain, ministère de l'agriculture Tunis et Mr. Mohsen Tounsi, ingénieur, HAR, Tunis - qui m'ont fourni par discussions orales et par lettres la plupart des données et des informations de ce rapport.

Mes entrevues ont pu être non seulement complètes et enrichissantes, mais encore agréables grâce à la présence constante et à l'excellente interprétation de Mr. Anwar BachBaouab, conseiller administratif de l'USAID, Tunis. Je remercie aussi Mr. Bachbaouab et Madame Elizabeth Boughammi, secrétaire de l'ingénieur conseiller d'USAIR pour avoir préparé la première rédaction de certaines parties de ce manuscrit.

Je remercie aussi Mr. Gordon Pierson, économiste de l'AID, Mr. Wally Bowles, ingénieur en chef de l'USAID, Afrique du nord, Mr. William S. Rizk, USAID, Tunis Dr. William P. David, directeur et Dr. Hedi Baccar, assistant directeur, Mediterranean Marine Sorting Center, The Smithsonian Institution, Kherreddine. J'ai beaucoup apprécié leur aide généreuse à me fournir des informations, à répondre à mes questions, leur intérêt et leur hospitalité.

Je suis profondément redevable à Mr. A. W. Plummer, Ingénieur agronome conseiller spécialiste du problèmes des ressources en eaux, USAID, Tunis, qui non seulement a donné l'impulsion à cette étude, mais encore à qui je dois beaucoup

d'idées et de données. Mr. Plummer est resté constamment à mes côtés à Tunis et je voudrais remercier sa femme pour sa charmante hospitalité à La Marsa.

J'ai très profondément apprécié l'intérêt et les encouragements qui m'a promulgué Mr. S. Gerard, Directeur de l'Aide Américaine à la Tunisie.

Je remercie aussi Mr. Charles B. Thompson, Ingénieur Civil, Bureau africain, USAID, Washington, pour les très nombreuses heures passées au téléphone à ma recherche, pour avoir arrangé les détails contractuels de cette étude et pour son hospitalité et son intérêt durant ma visite à Washington. Je remercie aussi Miss Gilda Varatti et Mr. Sam Lubin, ingénieur en chef pour l'Afrique pour avoir écouté mon exposé et pour leurs questions.

Je remercie aussi Mr. Henry Gee, ingénieur Civil, Université de Hawaii pour avoir préparé les figures et Mademoiselle Rose-Anne Dana, étudiante en 3<sup>e</sup> cycle de mathématiques, Université de Californie, pour avoir fait la traduction de cette étude.

## SOMMAIRE

Le lac de Tunis et ses environs ont beaucoup souffert de la présence de substances pourrissantes et fertilisantes qui provenaient de la décharge dans le lac d'eaux usées, traitées ou non. On peut estimer les pertes financières dues à cette pratique peu désirable à à peu près un demi million de dinars par an.

La méthode de traitement employée actuellement à La Cherguia fonctionne mal du fait du surchargement de la station et du fait d'autres facteurs. Mais même si cette station fonctionnait bien, elle continuerait à décharger dans le lac des quantités nuisibles de substances nutritives. C'est pourquoi réparer et agrandir la station à boues activées de La Cherguia ne pourrait constituer une solution permanente ou même provisoire au problème d'environnement.

Le lac de Tunis, étant peu profond et l'eau y

circulant mal, n'a qu'une faible capacité d'assimilation d'eaux usées et de substances nutritives. Le rapport surface-volume étant élevé, il ne peut être soumis à la fermentation du méthane. Aussi, à moins d'éliminer toute décharge d'eaux usées, traitées ou non, il se remplira de substances carbonées et n'existera plus d'ici cent ans.

Le système actuel de rassemblement des eaux usées de Tunis permet l'intrusion d'eaux souterraines salées et d'eau de mer dans le système. Ces eaux altèrent tellement la qualité de l'eau qu'il est difficile sinon impossible de la soumettre à un procédé de purification sur une période prolongée.

Pour obtenir une solution permanente au problème de qualité des eaux et de récupération des eaux, il faudrait donc réparer le système de rassemblement des eaux usées afin d'éviter les changements de volume et l'intrusion d'eaux salées.

Utiliser l'effluent non traité des boues activées pour l'irrigation des récoltes comme on le fait couramment est bien risqué même pour l'irrigation des récoltes potagères. Les effluents brutes des boues activées sont très infectueux et doivent soit être javellisés soit être mis en réserve pendant plusieurs mois avant de pouvoir être utilisés pour de telles récoltes. Leur utilisation pour l'irrigation des cultures sur terre est, elle aussi, sujette à objections dans tous

les cas. On devrait donc prévoir soit la chloruration soit une désinfection adéquate des eaux par mise en réserve dans des bassins sur une période prolongée tout en évitant les court-circuits d'eau.

Les conditions d'application des bassins à Tunis paraissent idéales, le climat étant ensoleillé et des terres basses étant disponibles. Si l'on utilisait un système de bassins de désoxygénation et de récupération, ils devraient couvrir une surface de 236 hectares afin de traiter un débit supposé de 100,000 m<sup>3</sup> par jour. Le coût d'un tel système serait de 2.2 millions de dinars et traiterait l'eau à raison de 10.5 millièmes par m<sup>3</sup>.

Il serait idéal de construire des bassins facultatifs à Tunis mais ceci demanderait une plus grande surface. On aurait besoin de 320 hectares de bassins facultatifs afin de traiter 100,000 m<sup>3</sup> par jour. Les coûts d'investissement seraient de 1.75 million de dinars et le coût unitaire de traitement serait de 7.5 millièmes par m<sup>3</sup>.

Si les bassins étaient situés dans le Sebket Er-Riane, le transport des eaux jusqu'aux bassins et en provenance des bassins ajouterait un coût de 8 millièmes par m<sup>3</sup>, mais il serait possible de rejeter complètement les eaux usées.

La possibilité de rejeter les eaux usées à la mer a été étudiée. On a estimé que c'est un procédé plus économique que le traitement à boues activées et au goutte à goutte à moins

de donner une valeur à l'eau récupérée par le procédé biologique.

L'analyse des données actuelles américaines des coûts de traitement par boues activées, par filtration au goutte à goutte, par station de pompage et bassins, ajustés à l'échelle tunisienne indique que l'alternative la plus coûteuse est le traitement par boues activées qui coûte 2.5 plus que le traitement par bassin.

Une analyse de l'efficacité des différentes alternatives a montré que soit un système de bassin facultatif soit un système de bassin de désoxygénation et mise en réserve serait plus efficace à Tunis qu'un système mécanique, étant plus sûrs, plus flexibles et pouvant être construits à partir de matières premières locales. Bien conçus, les bassins devraient fournir un effluent plus hygiénique et plus uniforme.

Les pertes économiques, le problème des odeurs dû à la pratique employée actuellement de décharger les eaux dans le lac, le fait que plusieurs années seraient nécessaires à la réalisation d'une solution permanente rendent nécessaire des mesures d'urgence. On devrait oxyder les eaux usées grâce à des aérateurs flottants ou éliminer complètement les eaux usées du lac de Tunis en les conduisant dans des bassins temporaires dans le Sebket Er-Riana.

On n'a étudié ici qu'un point de rassemblement et qu'un nombre limité de points d'élimination des eaux. On devrait

étudier la nature des terrains et leurs caractéristiques géologiques et hydrologiques. Les études devraient aussi comprendre des tests de perméabilité et de lessivage des sels. On devrait aussi étudier les possibilités d'échanger de l'eau douce contre de l'eau salée dans les Sebkhets.

En conclusion, à moins de facteurs imprévus que révéleraient des études approfondies, des bassins facultatifs bien conçus pour les eaux brutes suivis de leur mise en réserve et de leur utilisation pour l'irrigation serait la méthode la plus efficace et la plus économique de traitement pour Tunis. On devrait étudier en détail la possibilité d'utiliser les Sebkhets comme sites de bassins. Si on pouvait les utiliser, le coût de traitement et de récupération des eaux serait moins de 1972 - millièmes par m<sup>3</sup> 1.71 (le coût en 1957-58 était de 1.00), et pour les travaux de terrassement le coût en 1967 était de 1.00..

#### CONCLUSION

Si l'on pouvait utiliser un système de bassins à Tunis, et j'ai peu de raisons de penser que cela ne soit pas possible, cela serait la méthode de traitement et de récupération des eaux la plus économique, la plus efficace et la plus sûre. Le coût serait de moitié celui d'un système mécanique produisant un effluent de qualité équivalente et on ne rejeterait que moins de la moitié des eaux d'un tel système.

## RECOMMANDATIONS

On devrait cesser le plus rapidement possible toute décharge d'eaux usées dans le lac de Tunis même si des mesures d'urgence étaient nécessaires.

On devrait faire les études suivantes dans ou près de Tunis afin d'évaluer les facteurs suivants:

1. propriétés hydrologiques des Sebkhets, d'Er Riana et d'Es Sedjoui.
2. traits caractéristiques des terrains des Sebkhets; leurs structures pour l'étude de la stabilité des digues et des pentes, porosité et perméabilité du sol, le contenu en sel, les propriétés d'échanges d'ions, les propriétés d'écoulement. On devrait conduire ces études "in situ" en utilisant si possible des eaux usées.
3. durabilité des pierres des carrières locales comme matières premières à l'enrochement.
4. possibilité de capter les eaux usées de Tunis, de permettre la fermentation du méthane, la croissance d'algues, la réduction par le sulfate, leur désinfection, l'élimination de la BOD et des substances nutritives et de leur ph et de l'impact sur l'environnement. On pourrait conduire cette dernière étude dans la petite ville de Hamman-Lif au sud-est de Tunis.

Le système complet de Hamman-Lif pourrait permettre aux ingénieurs hydrologiques et agronomes de se familiariser et de prendre confiance en cette méthode naturelle et scientifique de traitement et élimination des eaux.

Si l'on construisait un système expérimental à Hamman-Lif, on devrait utiliser les données les plus récentes et ne le construire que d'après un plan préparé avec beaucoup de soin.

## INTRODUCTION

Du fait de sa situation sur la mer Méditerranée près de l'extrémité nord du continent Africain, la ville portuaire de Tunis se trouve être un débouché vital à la riche agriculture et à la production de minerais de la Tunisie. D'autre part, Tunis est en train de devenir rapidement un centre international de tourisme du fait de son climat superbe, de ses beautés naturelles, de son intérêt historique, de son aéroport moderne, des facilités d'habitation, de son incomparable cuisine, de ses vins et de sa population progressiste et hospitalière. Une carte simplifiée du Grand Tunis se trouve sur la Fig. 1. C'est pourquoi il est critique au développement technique et économique de Tunis de développer parallèlement des programmes d'aménagement de ses ressources naturelles et de contrôle de l'environnement. Une approche moderne à ces problèmes suppose une mise en compte de tous les facteurs, l'air, l'eau, le terrain, les ressources énergétiques et humaines. Cependant, nous nous intéresserons surtout dans cette étude au sujet particulier des ressources en eau en mettant l'emphase sur l'aménagement des eaux usées et leur récupération. Il est bien évident qu'une étude détaillée des problèmes d'eaux usées touche aussi toutes les autres ressources.

Les Autorités hydrauliques et le Département du développement rural (HAR) du Ministère tunisien de l'agriculture ont, depuis dix ans, pris en charge un

nombre important d'études sur l'approvisionnement en eau, le rassemblement des eaux usées et leur élimination. En résumé ces études ont prouvé que le besoin essentiel de Tunis était de développer les ressources en eau et de les réutiliser dans le voisinage à l'irrigation et le contrôle de la pollution de l'eau dans le lac de Tunis. Le contrôle de la pollution est essentiel à la protection des plages et de la pisciculture dans le lac de Tunis et dans la baie de Tunis. Il permettrait aussi d'éviter la pollution de l'air et le problème des mauvaises odeurs qui se pose chaque printemps, été, ou automne au lac de Tunis. Dans ce rapport, nous examinerons en détail et selon des critères de qualité d'eau et de contrôle de l'environnement, le problème crucial de la gestion des eaux usées de Tunis.

Il devrait être théoriquement possible de contrôler rapidement la pollution de l'air et de l'eau tout en corrigeant les défauts du système de traitement des eaux usées et de leur élimination d'une manière sûre, économique, et commode. En pratique l'idéal est bien difficile à atteindre. Pour la plupart des systèmes de traitement, cinq ans sont nécessaires entre la conception d'un besoin et sa planification, sa construction, sa mise en route et sa réalisation. Pendant ces cinq ans, la plupart des populations augmentent de 15% ou plus, alors que tout système de traitement des eaux usées se sera détérioré de 25% ou plus. Aussi a-t'on besoin d'un

ajustement de 40% du fait du décalage de cinq ans existant entre la conception et la mise en fonctionnement, sdt un ajustement de 8% par an. Avec ces données à l'esprit, il est facile d'imaginer comme il est aisé à une société de devenir rétardataire dans son traitement et son élimination des eaux usées. En fait l'augmentation de la population et le vieillissement du matériel ne sont pas les seuls problèmes.

De plus plusieurs systèmes de traitement des eaux usées souffrent de projets d'ensemble qui ne repondent pas au type ou degré de traitement nécessité, d'une sélection par les ingénieurs de parties composantes inutilisables ou inappropriées toute question de taille étant mise à part. Il est tragique que ce soit la cause d'une mauvaise sélection de parties composantes, de mauvais projets, d'un mauvais fonctionnement joint au vieillissement des appareils et à l'augmentation de la population que la plupart des systèmes mondiaux de traitement des eaux usées ne remplissent pas leur but et régressent avec régularité. Pour renverser cette tendance, on devait prêter une grande attention au choix d'un système de rassemblement, traitement et élimination des eaux usées et faire ce choix à la lumière de critères tels que: la praticabilité technique, l'amélioration de l'hygiène et de l'environnement, la compatibilité avec les systèmes existant et ceux prévus dans l'avenir pour l'approvisionnement en eau ou l'utilisation à l'irrigation, la flexibilité, la sureté, la facilité

de construction, le coût de construction et le coût opératoire, le temps demandé entre la décision et la réalisation du projet. Ces critères ne sont pas listés selon un ordre d'importance, chacun devrait être rempli d'une manière satisfaisante si l'on veut voir un système de traitement remplir ses fonctions.

Les problèmes de traitement des eaux usées de Tunis sont les mêmes que dans le reste du monde. La population croît rapidement. Comme l'indique un rapport de 1970 de l'Italconsult (5), on s'attend à voir la population du grand Tunis de 1970, de 770,000 habitants doubler à 1,540,000 en 1995, alors que la ville elle-même croîtra de 530,000 à 1,052,600. Une telle croissance de la population ajoutée à une utilisation par tête plus importante augmentera le débit actuel d'eaux usées de 60,000 m<sup>3</sup> par jour à 180,000 m<sup>3</sup> par jour en 1995. D'autre part, comme dans le reste du monde, le système actuel de traitement des eaux usées est surchargé et en conséquence, l'environnement de Tunis se dégrade à une vitesse inacceptable. Une inspection du système actuel de rassemblement de Tunis, traitement et élimination des eaux usées pourra indiquer la gravité de la situation.

#### LES SYSTÈMES DE RASSEMBLEMENT

Les auteurs de rapports antérieurs ont montré avec détails que le système de rassemblement des eaux d'égouts du Centre de Tunis était inadéquat. La Station de Montplaiser a

un mauvais rendement. Les égouts ne sont pas assez inclinés, aussi pendant la période sèche les eaux d'égouts s'écoulent-elles trop lentement dans les canaux. Des solides s'y déposent et y pourrissent. Ceci entraîne une émission d'odeurs de  $H_2S$  et accélère la détérioration des égouts du fait d'une formation d'acide sulfurique. De l'eau souterraine saumâtre s'infiltrant par les égouts cassés et les raccordements mal faits, de l'eau de mer entrant dans le système par les déversoirs d'orage mal protégés s'ajoutent au volume d'eaux usées et en changent la composition chimique, dans un sens contraire à la fois à leur traitement et à leur élimination. Certaines zones n'ont même pas d'égouts et certaines banlieues déchargent des eaux brutes directement dans le lac de Tunis, les Sebkhets ou la mer.

Aussi Tunis se trouve-t-elle en devoir d'améliorer son système de rassemblement des eaux d'égout de façon à ce qu'il devienne complet, sûr et commode et qu'il ne soit plus longtemps un facteur limitatif de la qualité de son environnement ou de son développement et du fonctionnement des systèmes de traitement et d'élimination des eaux usées.

#### PRÉSENT TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUTS DE TUNIS

Le seul système de traitement de taille importante existant actuellement à Tunis est le centre de traitement primaire suivi d'un traitement par boues activées de la Cherguia. La situation de la station de la Cherguia ainsi que les grands traits du terrain sont montrés sur la Fig. I.

D'après l'HAR, à peu près la moitié des 60,000 m<sup>3</sup> par jour d'eaux d'égouts qui viennent de Tunis subissent un traitement complet dans la station de traitement de la Cherguia. On en laisse se déposer une première moitié soit 30,000 m<sup>3</sup>, puis on la décharge dans le lac de Tunis. L'autre moitié soit 30,000 m<sup>3</sup> par jour passe dans la station de traitement à boues activées et peut être ensuite utilisée à l'irrigation dans le voisinage de la Soukra. Mais l'on n'en a besoin que d'une faible partie et la déverse-t'on aussi sur le bord du lac de Tunis.

Une inspection de la station de traitement de la Cherguia a pu montrer que comme beaucoup de stations de traitement, elle souffrait d'importants défauts et traversait de sérieuses difficultés. Les digesteurs apparemment construits pour une digestion rapide, sont limités en volume par l'accumulation de sable et d'huile. Leurs systèmes de chauffage sont peu actifs. On a conçu la station de façon à utiliser les gaz des dépôts carbonés à l'alimentation de générateurs qui fournissent de l'électricité. Malheureusement ce côté coûteux du système n'est plus utilisé maintenant par manque de gaz adéquats et parce que les moteurs du générateur sont en panne. Sans le chauffage des appareils conçus pour les chauffer, les digesteurs ne produisent plus assez de gaz pour la production de l'énergie. Au lieu d'utiliser une énergie produite sur place, le système de compresseurs-aérateurs de la station utilise de l'électricité achetée à l'extérieur, rendant

négligé l'investissement substantiel en gaz. Le système d'élimination des huiles et des dépôts carbonés de la station n'y fonctionne pas bien, et de l'huile s'accumule. On doit donc s'en débarrasser alors qu'il n'existe pas dans le voisinage de terrains adéquats. Les systèmes d'aération des déchets de boue fonctionnent bien. Cependant, les bassins finaux de décantation de boue déversent dans le lac avec l'effluent d'importantes quantités de boue épaisse. Ceci en dégrade la qualité et contribue à une décharge additionnelle de boue épaisse dans le lac de Tunis.

L'existence de boues épaisses montrent qu'en fait les digesteurs fonctionnent mal et que les éléments de leur décharge qui surnagent sont trop riches en matières organiques. Il semble aussi que les digesteurs produisent trop d'acides et d'odeurs, moins de méthane qu'il ne devrait et qu'on devrait en fait les chauffer pour faire décroître le temps de fermentation et augmenter la charge permise. Cependant, les gaz épurateurs et les appareils de chauffage de boues ne sont pas fonctionnels et on ne peut pas chauffer les digesteurs. Sans chauffage, il semble peu probable que les digesteurs puissent produire suffisamment de gaz pour permettre leur chauffage. D'où cercle vicieux - le problème ne peut être résolu que par un examen détaillé du système.

Bien qu'il semble probable que la station de Cherguia puisse être remise en état de fonctionnement telle qu'elle a

été inventée ou modifiée de manière à fonctionner raisonnablement bien, tout particulièrement pendant l'été, elle ne peut traiter que moins de la moitié des eaux d'égouts du système. Son fonctionnement biologique est interrompu lors des arrivées d'eau de mer qui entre dans le système de rassemblement pendant les grandes pluies. En conséquence, l'utilisation hivernale de cette station ou de toute station de traitement à boues activées semblable ou de toute station de traitement bio-mécanique dépendrait d'un contrôle très strict du passage de l'eau de mer et d'un programme de fonctionnement et d'entretien qui augmenterait beaucoup le coût total du traitement. Une utilisation intensive du système mettrait trop l'accent sur un équipement mécanique difficile à réparer ou à remplacer.

L'inspection du système a montré que même si des mesures de nettoyage des digesteurs, d'incinération des huiles et d'élimination du sable étaient prises, même si l'on remettait en état les digesteurs, on devrait encore effectuer sur la station un travail supplémentaire considérable pour la rendre efficace. La combustion de gaz pour l'obtention d'énergie électrique doit retener plus cher à long terme qu'un achat direct d'énergie, les prix unitaires étant élevés pour de petits systèmes même lorsque le combustible est gratuit.

#### LE SYSTÈME ACTUEL D'ÉLIMINATION DES EAUX USÉES

Comme je l'ai dit plus haut, la majeure partie des eaux usées de la Cherguia et d'autres sont déchargées dans le lac de

Tunis. Selon un rapport de l'Italconsult, pendant la saison de la croissance, 530,000 m<sup>3</sup> par mois sont, après traitement à boues activées, réutilisés à l'irrigation des récoltes de citrons.

Tout d'abord, du point de vue même de l'irrigation, une utilisation directe d'eaux usées, non traitées ou peu traitées, pour l'irrigation des récoltes alimentaires peut donner lieu à de sérieuses objections. Même leur utilisation pour l'irrigation des cultures de citrons est risquée car on peut laisser tomber les fruits sur le sol et les souiller. D'autre part on ne pourrait empêcher les ouvriers de se salir les mains en maniant des récipients, des échelles ou tout autre outil qui serait en contact avec le sol. D'autre part il serait impossible d'être certain qu'une fois l'eau délivrée, on ne l'utiliserait pas à l'irrigation de toute sorte de récoltes y compris celles consommées fraîches ou crues ou pour toute autre usage comme la boisson aux champs.

L'élimination des eaux usées brutes ou récemment traitées peut paraître sujette à de futurs problèmes, mais l'alternative couramment utilisée de décharger l'excès d'eau usée directement dans le lac de Tunis a créé des problèmes d'environnement, des problèmes économiques et esthétiques, tout aussi bien que des problèmes à long terme.

Bien que le lac de Tunis soit relié à la baie de Tunis et à la mer Méditerranée, il y a peu de reflux de la marée.

Une digue créée pour le draguage des cheneaux de bateaux (cf. Fig. I) divise la partie nord du lac (là où la majeure partie des eaux de la Cherguia sont déchargées) de sa partie sud. Les ouvertures aux péages, au niveau de la digue du chenal des bateaux, à la péninsule de la Goulette et au nord de Rodes Maxula ne fournissent pas une surface suffisante pour permettre à la marée d'emmener les déchets à la mer et de fournir une oxygénation suffisante pour prévenir la putréfaction des eaux usées.

On ne corrigera probablement pas le problème central que crée une charge organique trop élevée et une fertilisation trop importante en faisant des modifications pour améliorer le reflux de la marée dans le lac en draguant ses bords pour augmenter la profondeur de l'eau et sa circulation. Ceci est dû en partie au fait que les eaux de la Cherguia se déchargent dans une partie du lac éloignée de la mer (cf. Fig. I), et que la croissance de la végétation dans le lac est telle qu'elle limite la circulation de l'eau. Les pièges à poissons à l'entrée des cheneaux limitent aussi le débit et la différence de volume entre marée haute et basse dans le lac n'est pas suffisante pour permettre des déplacements rapides face à ces obstacles.

Comme il est peu profond (en moyenne 1 m. de profondeur) le lac de Tunis est très eutrope. Il se remplit actuellement rapidement de substances carbonées et se transforme en Sebket. Si la ville de Tunis continue à y décharger ses eaux usées, traitées ou non, on peut sans crainte prédire qu'il cessera d'exister d'ici à 100 ans. Ceci

est dû au fait que des éléments fertilisateurs, tout particulièrement le nitrogène, entraîne une fixation rapide de carbone insoluble provenant des eaux d'égouts, de l'air et de l'eau de mer. D'autre part du fait d'une moindre circulation de l'eau, d'un reflux plus faible de la marée et du fait de la croissance d'éléments organiques flottants, rien ne permet dans ce système de se débarrasser des éléments insolubles. En se fondant sur des principes photosynthétiques, on a pu conclure que le dépôt de carbone se faisait à une vitesse voisine de 1 cm/an. On a prouvé aussi des dépôts de sulfure, de silicate, de calcium, de magnésium, de phosphate et de carbone qui accroissent la vitesse de remplissage.

Les mauvaises odeurs du lac de Tunis proviennent probablement du processus de réduction des sulfates en  $H_2S$  en présence de matières organiques et en l'absence d'oxygène dissous. Trop de matières organiques proviennent des égouts et croissent dans le système. Les odeurs qui ne sont pas celles de  $H_2S$  proviennent de la putréfaction des eaux d'égouts qui sont transformés par action des bactéries en acides malodorants et volatils et autres produits.

Un corps naturel qui reçoit trop d'éléments organiques pour sa capacité d'oxydation doit subir une fermentation de méthane pour éliminer le carbone et éviter la formation de

mauvaises odeurs. Le méthane est un gaz sans odeur et c'est à 75% du carbone. Quand se produit une bonne fermentation du méthane, la BOD et le carbone sont rapidement éliminés de l'eau sans odeur. Les conditions requises idéales à la fermentation du méthane ne sont pas satisfaites au lac de Tunis car l'environnement est parfois aérobique et parfois anaérobique. Les microbes sensibles au méthane ne peuvent s'y fixer. Les bactéries du méthane sont inefficaces aux températures inférieures à 15° C. Aussi pendant l'hiver, les eaux usées introduites dans le lac se déposent-elles et s'accumulent-elles au fond. Quand l'eau s'échauffe au printemps et en été, la putréfaction de la vase accumulée pendant l'hiver augmente, des acides organiques sont libérés, ils s'oxydent au contact des bactéries et privent la surface de l'eau de tout oxygène. Tous les poissons présents meurent. Le sulfate est aussi attaqué par les bactéries en l'absence d'oxygène et du  $H_2(S)$  est libéré. Le  $H_2S$  réagit vis à vis des bactéries photosynthétiques du sulfure et le lac devient rouge, peu agréable à la vue et malodorant.

Les odeurs violentes qui se répandent dans l'atmosphère de Tunis pendant les mois d'été doivent faire décroître considérablement le nombre de touristes qui autrement viendraient rester dans ce site très agréable. Mis à part les facteurs de santé, les facteurs esthétiques et d'autres intangibles

comme l'action corrosive de l' $H_2(S)$  sur les matériaux et les surfaces, les pertes directes et immédiates de l'industrie touristique do vent donc être substantielles; peut-être atteignent-elles 250,000 dinars par an. On a pu estimer que 20 tonnes de poissons d'une valeur de 40,000 dinars sont morts en 1971 dans le lac anoxique.

D'autre part selon les données rassemblées par Italconsult des 23,000,000  $m^3$  par an d'eaux d'égout produites aux alentours du lac, seuls 3,000,000  $m^3$  par an sont réutilisés pour l'irrigation. La différence, soit 20,000,000  $m^3$  par an est rejetée au lac et est ainsi perdue. Si l'on estime cette eau usée à 5 millièmes par  $m^3$ , les pertes annuelles sont de 100,000 dinars. Des pertes tangibles de 0.5 millions de dinars par an résultent donc du système actuel d'élimination des eaux usées. Les pertes intangibles pourraient être 10 fois plus importantes.

Au lieu d'utiliser le lac de Tunis comme exutoire, on devrait le protéger comme terre de beauté et espace libre. Sa productivité naturelle devrait être maintenue et améliorée par un bon aménagement scientifique et un bon développement du site.

Des descriptions précédentes sur les problèmes actuels d'élimination des eaux usées de Tunis, il devient clair qu'un plan d'ensemble à long terme de développement du système de

traitement des eaux usées de Tunis est nécessaire. Cependant, avant de considérer les alternatives possibles aux problèmes de rassemblement, traitement et élimination des eaux usées de Tunis, pour un projet à long terme, il est essentiel de considérer d'autres aspects du problème de gestion des eaux usées.

#### REMARQUES GÉNÉRALES CONCERNANT LE RASSEMBLEMENT DES EAUX

Bien que ce ne soit pas l'objet de ce rapport que de discuter extensivement le problème de rassemblement des eaux, des remarques générales devraient être faites vu que les systèmes de rassemblement influencent substantiellement les méthodes de traitement et d'élimination. Un système de rassemblement adéquat devrait partir d'une zone bien analysée et ne conduire les eaux usées qu'à des distances justifiées par les conditions économiques ou par des problèmes d'élimination. Les systèmes ne devraient toucher que les eaux qui pourraient être traitées par la suite et éliminées.

Le transport devrait être aussi rapide et aussi économique que possible. On devrait éviter le ramassage de dépôts corrosifs, entartrés, volatils, explosifs, goudroneux, toxiques, ou très durs car ils gêneraient la majorité des traitements ultérieurs et détruiraient finalement le système de rassemblement des eaux, la station de traitement ou des organes de l'élément récepteur. On devrait traiter ces déchets solides; ils devraient donc être concentrés et emmenés en camion vers

des terrains spécialement conçus à cette usage ou ils ne constitueraient pas un péril pour l'environnement.

La vitesse minimum d'écoulement devrait être dans tout système de 60 cm/seconde si le canal est plein. On devrait employer les stations de pompage aussi fréquemment que nécessaire pour atteindre ces vitesses. Dans les zones où on aurait besoin de fortes pentes, la vitesse d'écoulement ne devrait pas dépasser 300 cm/seconde afin d'éviter l'érosion des égouts. Le système de rassemblement devrait être conçu, construit et opéré de manière à éviter toute intrusion d'eaux souterraines et de surface qui surchargeraient le transport et qui perturberaient ou interrompraient le traitement et le processus d'élimination. Les égouts qui s'écouleraient par la pesanteur devraient être pourvus de trous à chaque changement de pente et de direction à un espacement maximum de 180 m. On devrait prévoir pour les canalisations principales des vitesses de 60 à 300 cm. par seconde. Des systèmes de pompage à eau claire et non encrassée devraient être utilisés de manière à éviter le passage à la claie, tout particulièrement dans les stations intermédiaires.

#### REMARQUES GÉNÉRALES CONCERNANT LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

On considère aujourd'hui, aux États-Unis, qu'il y a cinq étapes dans le traitement des eaux usées. Le degré de traitement dépend du mode d'élimination choisi.

### Le Traitement primaire

Comme il est bien connu, le premier stade comporte la mesure et la suppression des matériaux susceptibles de flotter ou de se déposer. On doit se débarrasser séparément des substances retenues telles que le sable, les boues, et les graisses par des procédés mécaniques. On enterre le sable et soit on fait passer les boues séparément dans le digesteur soit on brûle ensemble les substances flottantes et les boues. Traiter les boues séparément est souvent difficile à réaliser quand les chargements varient ainsi que les conditions climatiques, et on aurait tendance maintenant aux États-Unis à brûler ensemble les substances flottantes et les boues. De fait on laisse beaucoup maintenant flotter les graisses et les boues, puis on brûle les éléments qui flottent. Ce procédé mécanique plus coûteux et plus sûr remplace donc maintenant le procédé plus cher et moins certain de digestion des boues. Après l'incinération, le résidu gris et sableux peut être réutilisé pour le remblai alors qu'après passage dans un digesteur il se peut que la boue résiduelle ne puisse être suffisamment ferme pour être appliquée à la terre. L'effluent de ce premier traitement ne comporte que peu de particules solides mais conserve toutefois 75% de son contenu organique.

### Le Traitement secondaire

Le traitement secondaire comporte la suppression des matières organiques dissoutes, qui demeurent dans les eaux d'égouts

après le premier traitement et la désinfection par le chlore des eaux d'égouts. Il suppose une culture riche en bactéries qui se fait aux dépens d'éléments organiques existant dans les eaux usées, suivie de l'élimination des cellules de bactéries et de leurs résidues par fermentation ou incinération avec les boues du premier traitement. Le liquide qui provient du deuxième traitement ne devrait pas en fait contenir de particules en suspension et ne devrait contenir que peu de matières organiques dissoutes. L'effluent est toutefois riche en nitrates, phosphates, ammonium et carbonates et en conséquence riche en éléments nutritifs pour la croissance de plantes.

On connaît actuellement trois techniques de traitement secondaire, le traitement par boues activées, la filtration au goutte à goutte et les bassins de biofiltration et d'oxydation.

#### Le Traitement par Boues activées

Au tout début du vingtième siècle ce procédé se révéla être un processus biologique susceptible d'oxyder et de supprimer les matières organiques solubles dans les eaux d'égouts. C'est un procédé rapide qui demande de grande quantités d'air et d'oxygène et une aération prolongée pendant des périodes de quatre à six heures. Ce procédé suppose qu'avant l'aération, le sable et les huiles

aient été supprimés. Il gagne beaucoup à une sédimentation antérieure à l'aération. Cependant, la clé du procédé est la sédimentation et le retour de bactéries solides qui se développent dans le bassin d'aération. Ces solides en présence d'oxygène absorbent rapidement et oxydent les eaux qui arrivent. De la boue se forme et pour permettre la croissance des plantes, on doit s'en débarrasser. Sinon elle prend de l'âge, s'épaissit et ne se dépose que difficilement. Dans tout système, la pénétration de boue épaisse dans l'effluent dégrade le traitement effectué. On doit se débarrasser de l'excès de boue par une fermentation anaéro-bique, par aérations répétées, ou par incinération. Le traitement par boues activées est particulièrement utile dans les endroits où la terre est coûteuse et n'est pas disponible pour d'autres formes de traitement. Comme le procédé est suffisamment rapide pour se terminer avant l'épuisement en chaleur des eaux d'épurgés, c'est le seul procédé d'oxydation qui fonctionne bien dans les pays où des conditions glaciales existent une grande partie de l'année. C'est toutefois un procédé coûteux à construire et à opérer et il est inutile ou en fait peu désirable quand le climat est doux et quand du terrain est disponible à la construction de bassins.

#### Filtration au goutte à goutte

Cette deuxième méthode classique de traitement secondaire suppose aussi un traitement primaire au préalable

et une suppression antérieure des graisses. Il suppose que l'effluent primaire soit passé sur un lit de pierre ou tout autre milieu où les eaux d'égout pourraient absorber de l'oxygène et où les microbes existant sur les surfaces traversées peuvent absorber et oxyder les matières organiques des eaux d'égouts.

Les éléments insolubles et les cellules des bactéries qui s'accumulent sur les pierres se détachent finalement et sont éliminés lors d'un second décantage. Pendant les périodes de faible débit, on maintient la charge et la formation d'escharres par recyclage. On se débarrasse des substances qui se détachent, en même temps que des boues du premier traitement. La filtration au goutte à goutte ne peut être utilisée lors des grands froids et sert surtout sous des climats modérément froids quand le terrain est moyennement cher. Ce procédé est moins efficace et moins complexe que le traitement par boues activées mais suffisant. La filtration au goutte à goutte comme le traitement par boues activées est chère à construire et complexe à opérer. Il est inutile quand le climat est doux et que des terres sont disponibles à la construction de bassins.

Les Bassins d'oxydation. Cette troisième méthode classique de traitement secondaire sera discutée plus bas.

#### Le Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire comporte l'élimination des éléments nutritifs pour les plantes. Les éléments nutritifs

couramment éliminés sont le phosphate, l'ammonium, le nitrate; parfois les carbonates et le fer sont aussi éliminés.

Systèmes utilisant du méthane. On élimine le phosphate par précipitation avec du lime, ou de l'hydroxyde d'aluminium. On peut éliminer l'ammonium en élevant le ph, ce qui a pour effet de transformer l'ion ammonium en ammoniaque ou en faisant passer les eaux usées dans une colonne d'air. Comme je l'ai noté auparavant, on peut se débarrasser de l'ammonium en facilitant la croissance d'algues dans les bassins.

On peut se débarrasser du nitrate par un procédé anaéro-bique connu sous le nom de dénitrification, ou par croissance d'algues. On peut se débarrasser des carbonates et du fer en faisant pousser des algues et en les éliminant par la suite ou par précipitation chimique sous un ph élevé. Le traitement tertiaire complet par un procédé chimique et mécanique est extrêmement coûteux. Il coûte deux fois plus que les traitements primaires et secondaires combinés.

Les effluents des boues activées, des filtres à goutte à goutte et des digesteurs anaérobiques sont tout particulièrement riches en plantes nutritives et en éléments fertilisateurs à condition toutefois de les appliquer immédiatement aux cultures. D'un autre côté ils sont invariablement sources de problèmes lorsqu'on les décharge dans les lacs, cours d'eau, estuaires ou réservoirs d'orage sous climat chaud. Les effluents des bassins modernes contiennent moins de substances nutritives non oxydées et causent donc moins de problèmes lors de leur mise en réserve.

Traitement par bassins. Bien que l'on ait utilisé des bassins pour la pisciculture depuis des centaines d'années, peu de travail scientifique avait été effectué pour développer les bassins en temps qu'instrument de traitement des eaux usées avant ces deux dernières décades. Depuis 1950, d'intenses programmes de recherche poursuivie à l'Université de Californie et à l'Université de Texas et aussi par des organismes fédéraux et nationaux ont montré le potentiel énorme des bassins en tant que système de traitement complet et de mise en réserve. Les coûts unitaires y sont moins élevés que pour les systèmes de filtration au goutte à goutte et à boues activées. Les bassins ont des avantages que n'ont pas d'autres procédés. En particulier, il donne la possibilité de traiter et de mettre en réserve les eaux usées. Bien conçus et bien opérés, ils permettent la récupération des eaux et des substances nutritives, améliorent la pisciculture et la végétation sauvage, offrent de l'espace libre et contribuent à l'embellissement du voisinage. C'est en ce sens que le système de traitement le plus moderne et le plus avancé est le traitement par bassin. Depuis 1961 des bassins spécialement conçus pour faciliter la fermentation du méthane et la croissance d'algues se sont développés tout d'abord comme systèmes expérimentaux avec un volume de  $10^6$  litres, puis ils ont donné naissance au système fonctionnel de Modesto, Californie, qui possède un bassin de croissance d'algues de  $10^9$  l. de volume. La surface concernée est de 340 hectares et le volume de 5,000,000 m<sup>3</sup>. Pendant la saison de la mise en conserve, les bassins traitent en

débit d'eaux usées de 110,000 m<sup>3</sup> par jour et éliminent plus de 50,000 kgs. par jour de BOD. Une photo aérienne du système de bassins de Modesto est montrée sur la Fig. 2.

En général, les bassins dont l'oxygène dépend de la photosynthèse peuvent être construits là où l'énergie solaire dépasse 100 gm. cal. par cm<sup>2</sup> par jour, plus des 9/10 de l'année et quand le gel ne persiste pas. Ces conditions sont, bien entendu, facilement satisfaites en Tunisie.

#### Les Traitements quaternaires et quintaires

Pour conclure cette discussion sur les cinq étapes du traitement des eaux usées, on devrait noter que le traitement quaternaire est aujourd'hui objet d'études aux États-Unis. Ce traitement cherche à éliminer les substances réfractaires (i.e., les substances qui ne s'oxydent pas facilement) et les substances toxiques. On utilise surtout la précipitation chimique, l'extraction par passage dans une colonne de carbone activé et les échanges d'ions. Une partie du traitement quaternaire a lieu aussi dans les bassins à algues, les algues ayant de bonnes propriétés d'échanges d'ions.

Le cinquième traitement comprend la désalinisation et la distillation des eaux usées.

Pour clore cette discussion sur les divers traitements possibles, on devrait noter que l'existence de cinq étapes dans le traitement des eaux usées dépend du fait que les étapes

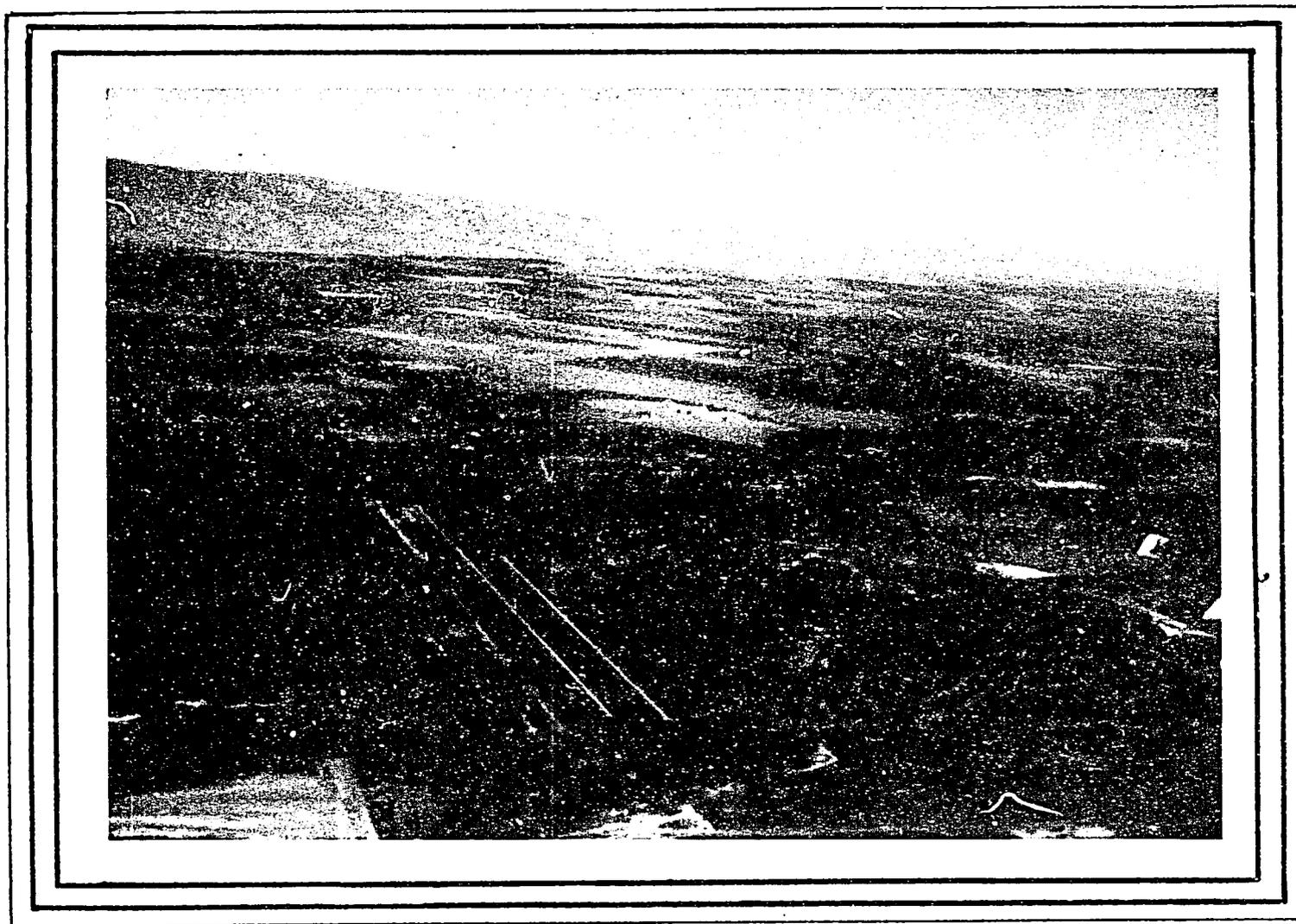


FIGURE 2. Modesto, California, États Unis. 340 hectares,  
5,000,000 m<sup>3</sup> bassins de haute vitesse et bassins  
facultatifs.

doivent être accomplies dans l'ordre, tout particulièrement quand sont utilisés des systèmes mécaniques. Le premier traitement précédant le second, etc... Sans le traitement antérieur, le procédé perd son sens et ne peut fonctionner sur une période prolongée. Traiter les eaux usées jusqu'au deuxième, troisième, quatrième degré revient cher.

D'un autre côté, un degré élevé de traitement peut être atteint par un système de bassins bien conçus à un coût légèrement supérieur à celui demandé par le traitement primaire effectué par un système mécanique.

#### REMARQUES GÉNÉRALES CONCERNANT L'ÉLIMINATION DES EAUX USÉES

Le type de traitement à utiliser est déterminé en grande partie par le système d'élimination: rejet à l'eau, rejet à la terre, recyclage ou encore des combinaisons variées de ces possibilités. Le rejet à l'eau peut se faire dans des lacs, des cours d'eau, des estuaires ou à la mer. Le rejet à la terre peut se faire dans des canaux asséchés, sur les herbages ou sur des terres forestières. On peut utiliser l'eau pour l'irrigation des récoltes ou la conserver dans des bassins. De toutes les façons, le rejet à la terre suppose l'évaporation, l'évapotranspiration ou l'infiltration des eaux usées dans le sol. Le recyclage peut prendre la forme d'un traitement et d'une réutilisation au sein même d'un procédé mais peut aussi comprendre la réutilisation successive des eaux jusqu'à ce que la qualité de l'eau se soit dégradée

à tel point qu'il faille la rejeter ou la soumettre à de plus hauts degrés de traitement. La réutilisation des eaux usées à des fins domestiques est en général inutile et ne devrait être prise en considération que lorsque les autres sources ne sont pas disponibles.

#### Rejet dans les Eaux douces

Le rejet des eaux usées dans les lacs, les cours d'eaux et les estuaires permet leur récupération à condition toutefois que les eaux soient fraîches ou que leur écoulement se passe lentement dans des zones à irriguer ou nécessitant des eaux pour l'industrie. Malheureusement décharger l'effluent primaire ou secondaire dans des eaux fraîches ou saumâtres a créé beaucoup plus de problèmes qu'il n'en a résolu, des problèmes d'hygiène, des problèmes d'oxygène pour les poissons ou êtres aquatiques (les eaux usées étant chaudes et demandant de l'oxygène), des problèmes d'intoxication et de mort des poissons. Du fait de la présence d'éléments chimiques et toxiques dans les eaux usées et la prolifération de bactéries indésirées, d'algues ou de plantes hautes dues à la décharge d'éléments nutritifs. La décharge d'eaux brutes et d'effluents primaires et secondaires dans des eaux douces devrait donc être évitée autant que possible.

#### Rejet à la mer

La décharge d'eaux usées à la mer est désagréable à la mer et crée des odeurs dues à la flottaison d'objets et de

graisse, crée des problèmes d'hygiène et de santé le long des plages, crée un manque d'oxygène et l'intoxication des poissons et d'autres organismes larvaires qui flottent ou vivent au fond de l'eau. Une fertilisation excessive peut se produire dans la mer, croissance de plantes flottantes, diatomées, et autres planctons gênant la pénétration de la lumière nécessaire à la croissance d'algues et de coraux. Elle peut aussi interrompre le cycle de reproduction d'organismes dont l'alimentation et la protection dépendent des algues et des coraux. En conséquence la décharge d'eaux usées à la mer peut en dernier ressort en diminuer la variété et la productivité sur une surface beaucoup plus importante qu'au voisinage du déversoir.

La majorité des biologistes familiarisés avec ces problèmes appuierait le fait qu'une dilution d'eaux usées avec l'eau de mer de 1 pour 10,000, serait nécessaire pour éviter les effets précédents. Mais en dehors de toute question de dilution, les solides flottants et les graisses se rassembleront à la surface de la mer et se dirigeront vers le bord. En conséquence on devrait les éliminer avant de les décharger à la mer. D'autre part, les substances susceptibles de se déposer, se dirigeront vers le fond de l'eau à proximité du déversoir et interromperont dans le voisinage la vie aquatique. Des mesures, prises pour éliminer les solides susceptibles de flotter ou de se déposer pourraient éliminer toute

possibilité de détecter des bactéries dans les eaux usées si la dilution était supérieure à 1 pour 10,000. Une dilution continue des eaux usées avec de l'eau de mer à raison de 1 pour 10,000 demande un système de déversement et de diffusion qui est coûteux. Il peut être souvent plus économique de traiter extensivement les eaux usées afin d'en modifier la qualité de façon à pouvoir la décharger sans la diluer. Mais avec un tel degré de traitement il pourrait paraître plus efficace de l'utiliser comme ressource en eau plutôt que de la rejeter.

#### Rejet à la Terre

Bien que la plupart des procédés de traitement ait été conçue dans le but de modifier la qualité des eaux, d'empêcher l'intoxication et de supprimer les substances nutritives nuisibles à l'eau, la majorité des procédés sont bien loin d'atteindre cette idéal, soit qu'ils soient surchargés soit qu'ils aient été mal conçus ou mal opérés. Peu de choses sont plus vaines et plus coûteuses à long terme que des stations de traitement qui ne remplissent pas leurs fonctions. Cette remarque s'applique tout aussi bien aux autres systèmes.

L'élimination et la récupération des eaux posent des problèmes virtuels de transmission de maladies par les cultures

faites sur les terres et mangées crues. L'utilisation des effluents des eaux usées pour l'irrigation des récoltes alimentaires bien que bénéfique en terme d'eau et de substances nutritives est en fait virtuellement dangereuse et coûteuse une fois utilisée car elle dégrade la santé publique. Bien que l'on puisse s'immuniser ou traiter la fièvre typhoïde, le choléra et toute autre maladie transmise par les eaux d'égouts, on ne peut actuellement soigner une fois contractés les vers parasites, l'amaéboïd ou les virus infectieux tels que l'hépatite et autres maladies qui n'apparaissent qu'à long terme. Moins ne s'écoule de temps entre la production des eaux usées et leur réutilisation et plus élevée est la probabilité qu'elles ne transportent de telles maladies.

Le traitement à boues activées étant un procédé rapide, sa probabilité de transmettre des maladies est élevée. On peut la faire décroître par utilisation de chlore mais le dosage doit être bien choisi. Malheureusement, les chlorinateurs fonctionnent souvent mal et il se peut que l'apport de chlore soit interrompu. En conséquence, les systèmes dont la désinfection dépend entièrement du chlore sont risqués et peu à l'abri des échecs.

Si l'on veut réutiliser les eaux usées pour l'irrigation des récoltes alimentaires, on doit soit mettre en réserve l'eau

dans des bassins en évitant de nouveaux courts circuits d'eaux usées, soit la filtrer à travers deux ou trois mètres de sable ou de terre. Ce sont les méthodes les plus sûres que l'on connaisse pour faire décroître la probabilité de transmission d'infections par les eaux d'irrigation. Si l'on pouvait utiliser les deux procédés, on pourrait encore diminuer les risques.

Pour illustrer la désinfection subite dans les bassins, on montre sur la Figure 2 les résultats obtenus après l'action de trois bassins sur un certain nombre de bactéries du coliforme, du coliforme fécal et du fécal streptococci trouvées dans les effluents successifs. D'après cette figure, il semble évident qu'à moins de courts circuits, la qualité de l'effluent du système de bassin est équivalente à celle d'une bonne eau brute de toute autre source. Une série de quatre ou cinq bassins serait encore plus efficace.

En fait, un système de bassin bien conçu peut non seulement réaliser une bonne désinfection des eaux mais encore un traitement secondaire et tertiaire des eaux de qualité supérieure aux traitements mécaniques. On peut, par exemple, trouver dans la Table I des données typiques obtenues à partir d'échantillons pris dans une série de trois bassins à Esparto en California. Les bassins fournissent une période de mise en réserve d'environ 120 jours. Comme le montrent ces données,

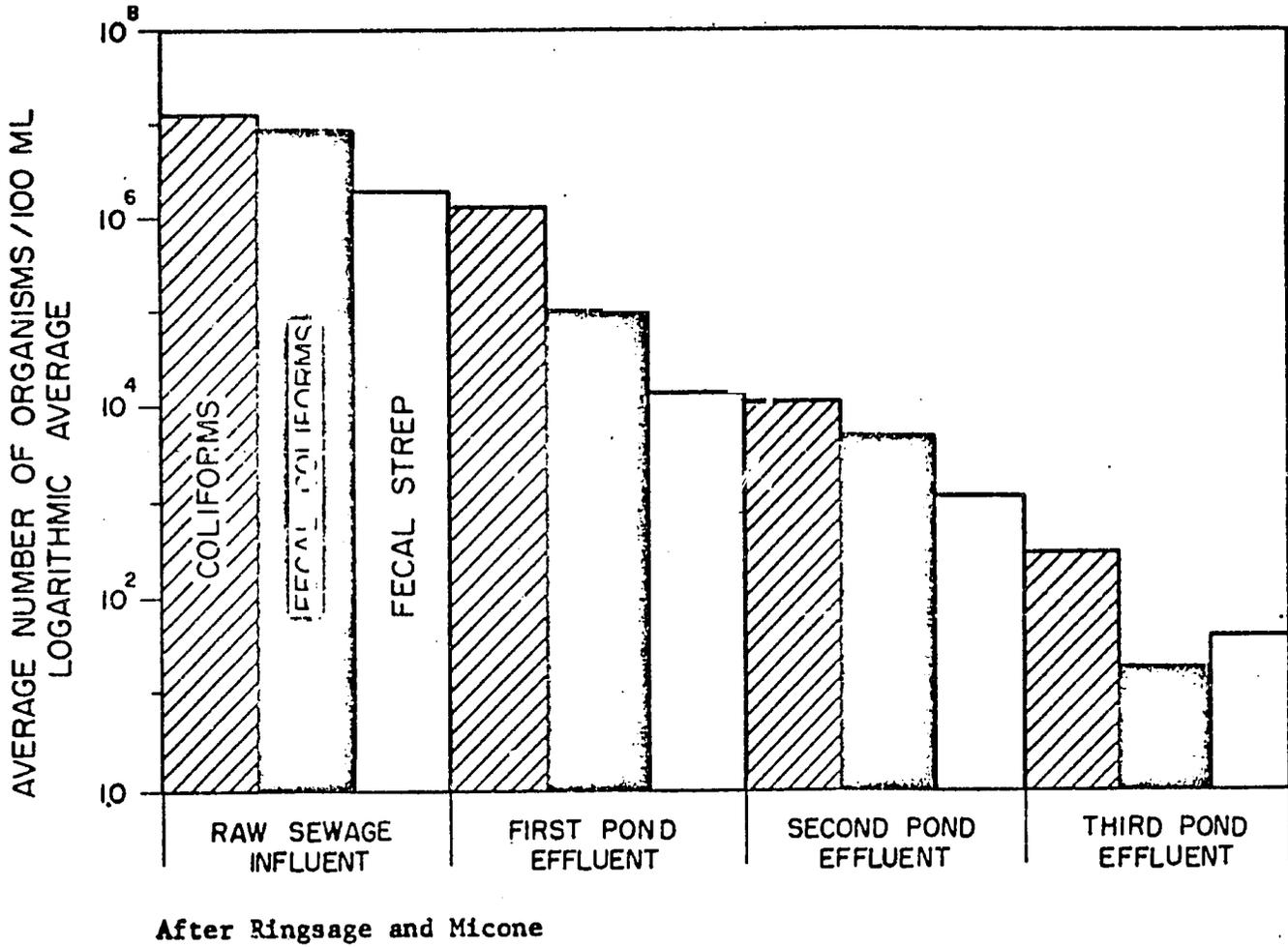


FIGURE 3. L'utilisation d'une serie des bassins fait décroître en moyenne le nombre de bactéries des eaux usées.

la suppression de la BOD, de la COD et des solides en suspension se fait à au moins 90% dans chaque cas. Une excellente élimination des substances nutritives telles que l'ammonium et le phosphore ont été atteintes, ce qui montre que les bassins ont accompli le traitement tertiaire des eaux en même temps que leur désinfection et leur mise en réserve.

Réutiliser les eaux usées pour l'irrigation pose un problème de mise en réserve à long terme. Dans les régions arides, le besoin d'eau d'irrigation atteint son maximum à la fin de l'été alors que la production d'eaux usées demeure à peu près constante ou augmente éventuellement pendant la saison des pluies. On a peu besoin, cependant, d'eau d'irrigation pendant la saison des pluies. En fait, à cette époque, le sol ne peut absorber de larges quantités d'eau. L'alternative qui est, d'arroser les forêts, les herbages, au lieu de mettre en réserve l'eau, peut être sujette à objections. L'eau est ainsi perdue et du fait de l'écoulement rapide qui se produit pendant les pluies à partir des régions arrosées, les germes des matières organiques et des substances nutritives sont amenés dans les cours d'eau et les réservoirs. Aussi tout système de récupération, devrait-il comprendre une mise en réserve complète des eaux, comme élément fondamental du système. Le fait que les bassins permettent à la fois le traitement et la mise en réserve des eaux fournit une raison

TABLE I

BASSINS D'ESPARTO - AVRIL 1965

DONNÉES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Description du test	Eaux brutes (mg/l)	Bassin #1 (mg/l)	Bassin #2 (mg/l)	Bassin #3 (mg/l)
BOD <sub>5</sub> (20 C) <sup>a</sup>	203 <sup>b</sup>	14 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>
COD (Dichromate)	452 <sup>b,c</sup>	287 <sup>c</sup>	265 <sup>c</sup>	70 <sup>c</sup>
COD en suspension	231 <sup>b,c</sup>	207 <sup>c</sup>	195 <sup>c</sup>	9 <sup>c</sup>
Total des solides	903	685	606	514
Total des solides volatils	291 <sup>b</sup>	279	229	197
Solides en suspension <sup>d</sup>	166	90	70	6
Solides en suspension volatils <sup>d</sup>	93 <sup>b</sup>	75	45	3
Total de nitrogène	35 <sup>b</sup>	20	12	2
Nitrogène organique	10 <sup>b</sup>	12	7.5	1.7
Nitrogène ammoniacal	25 <sup>b</sup>	8	4.5	0.3
Nitrogène du nitrate	Pas de test	Pas de test	Pas de test	0.5-0.3
Orthophosphates	68	Pas de test	Pas de test	
Alcalinité	455 <sup>c</sup>	405 <sup>c</sup>	340 <sup>c</sup>	340 <sup>c</sup>
Bactéries coliforme (Filtre milipore)				7-35
org./ml.				(15 ave)

<sup>a</sup>Les échantillons de BOD des bassins furent centrifugés à raison de 500 g. pendant 10 minutes pour éliminer les algues avant l'incubation.

<sup>b</sup>Les échantillons d'eaux brutes furent pris vers 2<sup>h</sup>. Pour obtenir une valeur moyenne sur 24 heures, on les a multipliés par 80/100.

<sup>c</sup>On n'a fait qu'un test.

<sup>d</sup>Les solides en suspension sont déterminés par une centrifugation à raison de 500 g. pendant 10 minutes. On s'attend à de plus faibles valeurs pour les eaux brutes.

<sup>e</sup>Les algues furent centrifugées avant la dilution et l'incubation.

justifiant leur utilisation pour un projet de récupération des eaux.

#### PLAN D'ENSEMBLE DE TRAITEMENT ET DE RÉCUPÉRATION DES EAUX

En conservant à l'esprit les données précédentes sur le rassemblement, traitement et élimination des eaux, on peut donner une plus ample considération à un plan d'ensemble de gestion des eaux usées pour la région de Tunis. Dans ce plan même, on a supposé que l'objectif principal était de fournir une quantité maximale d'eau utilisable à l'irrigation, de tout type de cultures. Ceci suppose non seulement un bon système de rassemblement et de traitement des eaux usées, mais encore leur mise en réserve pendant l'année et tout particulièrement pendant l'hiver. L'eau traitée devrait être conservée de manière hygiénique, de façon à ne pas créer de problèmes d'odeur, à éviter son évaporation et de manière à être disponible pour l'irrigation.

Il serait essentiel d'avoir une autorité centrale chargée de mettre en oeuvre et de développer un tel plan d'aménagement. L'organisme central devrait comprendre des représentants de tous les organismes concernés par les problèmes d'eau. Il devrait tirer au maximum avantage des ressources naturelles, minimiser les excédents d'eaux usées et ne devrait utiliser que des systèmes à l'abri de tout échec.

Lors de la planification, on devra considérer les alternatives possibles pour le rassemblement, le traitement et

l'élimination des eaux et leur intégration dans le projet d'ensemble d'aménagement.

Les grandes lignes de ces alternatives apparamment possibles sont données dans les Tables II, III, et IV.

Le premier plan d'ensemble ou ces alternatives soient utilisées est le plan d'aménagement actuel qui a donné suite à des projets antérieurs d'amélioration du lac de Tunis faits par des organismes internationaux d'ingénieurs. Le projet est montré schématiquement sur la Figure 3 et cela ici appelé plan HAR. Il est semblable au Plan Bonifice de 1968, et son système de rassemblement des eaux suppose la construction d'un nouvel égout principal surélevé afin d'éviter l'intrusion des eaux salées qui se produit actuellement. Il suppose aussi l'amélioration et la réparation de la station de la Cherguia, son extension à 100%, la construction d'un canal d'irrigation et d'évacuation à partir d'une station de recueillement située au NW de la Cherguia et d'une canalisation qui contournerait la S. Ariane au sud et à l'est et qui se terminerait à la mer à Rouad. Les eaux usées traitées seraient surélevées de la Cherguia à une station réceptrice située à l'ouest de l'Ariana.

Le Plan Bonifice de 1969 (voir Figure 4) ajouterait un premier réservoir de mise en réserve de 7,000,000 m<sup>3</sup> situé près du petit village de Djafar et un autre de 5,000,000 m<sup>3</sup> près du

bord ouest du Sebket Er Riana. De plus, dans ce plan les marais de Garat Ben Amar et Garat Sidi Bau Hanegh seraient asséchée et on les utiliserait pour la récupération et le contrôle des sels extraits par lessivage. Les eaux usées traitées seraient, comme à l'heure actuelle, conduites au nord et à l'est afin d'être utilisées pour l'irrigation de la zone agricole. L'excès d'eaux usées serait rejeté à la mer.

TABLE II

SYSTEMES POSSIBLES DE RASSEMBLEMENT DES EAUX D'ÉGOUTS DE TUNIS

1. Le Plan centralisé: rassembler les eaux d'égouts du grand Tunis, au sud jusqu'à Hamman Lif, au nord jusqu'à B. Fathallah et Gamart, à l'ouest jusqu'à Sidi Bou Said et la Goulette et à l'est jusqu'à Lalla Manoubia, les conduire par canalisations et stations de pompage jusqu'à la Cherguia où elles seront traitées.
2. Le Plan décentralisé:
  - A. Rassembler les eaux usées provenant des zones basses près du lac de Tunis et les conduire à la Cherguia.
  - B. Rassembler les eaux usées provenant des régions élevées situées près du Sebket Es-Sedjoui et les conduire par la pesanteur jusqu'à une station de traitement située au sud-est du Sebket Es-Sedjoui.
  - C. Rassembler les eaux usées par la pesanteur à l'est des zones moyennement élevées du centre de Tunis et de Maxula Rades dans un bassin situé au sud-est du lac de Tunis d'où elles seraient surélevées jusqu'à une station de traitement située au sud-ouest du Sebket Es-Sedjoui.
  - D. Rassembler les eaux du Hamman Lif et de S. Germain (Ez Zahra) et les traiter localement.
  - E. Rassembler les eaux de Gamart, La Marsa, Carthage, de zone de la Goulette, les surélever et les laisser s'écouler par la pesanteur jusqu'à la station de traitement située à l'extrémité sud-ouest du Sebket Ariane ou jusqu'à la Cherguia.
3. Le Plan semi-décentralisé:
  - A. Rassembler les eaux du grand Tunis, de l'est de Maxula Rades et de la Gamart, la Marsa, de Carthage et de la bande de la Goulette et les conduire jusqu'à la Cherguia pour les y traiter ou les rejeter.
  - B. Rassembler les eaux de Hamman Lif et S. Germain et les traiter localement.

TABLE III

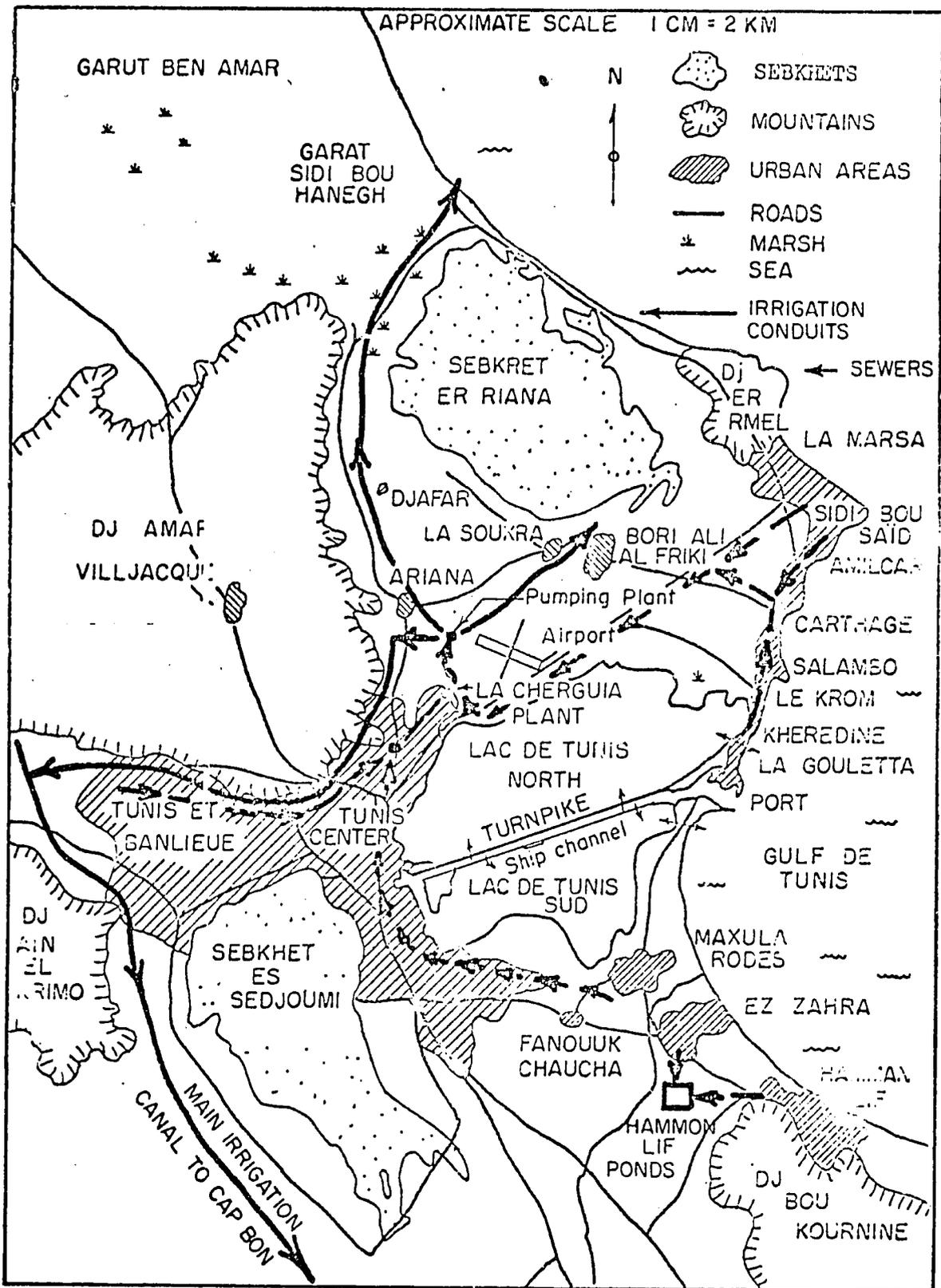
DIVERSES POSSIBILITÉS DE TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUTS DE TUNIS

1. Réparer et continuer à utiliser la station à boues activées de la Cherguia à raison de 30,000 m<sup>3</sup> par jour. L'étendre afin d'atteindre d'ici 1977 un total de 60,000 m<sup>3</sup> par jour. L'étendre encore de 40,000 m<sup>3</sup> afin d'atteindre 1,000,000 m<sup>3</sup> d'ici 1990. Installer des chlorinateurs qui traiteraient tout l'effluent de la station.
2. Réparer et continuer à utiliser la station à boues activées de la Cherguia. Installer un système de filtration au goutte à goutte d'une capacité de 60,000 m<sup>3</sup> par jour. Installer des chlorinateurs qui traiteraient tout l'effluent de la station.
3. Installer un système ou plusieurs systèmes modernes de bassins de stabilisation dans des sites appropriés au traitement et à la mise en réserve des eaux pour l'irrigation.

TABLE IV

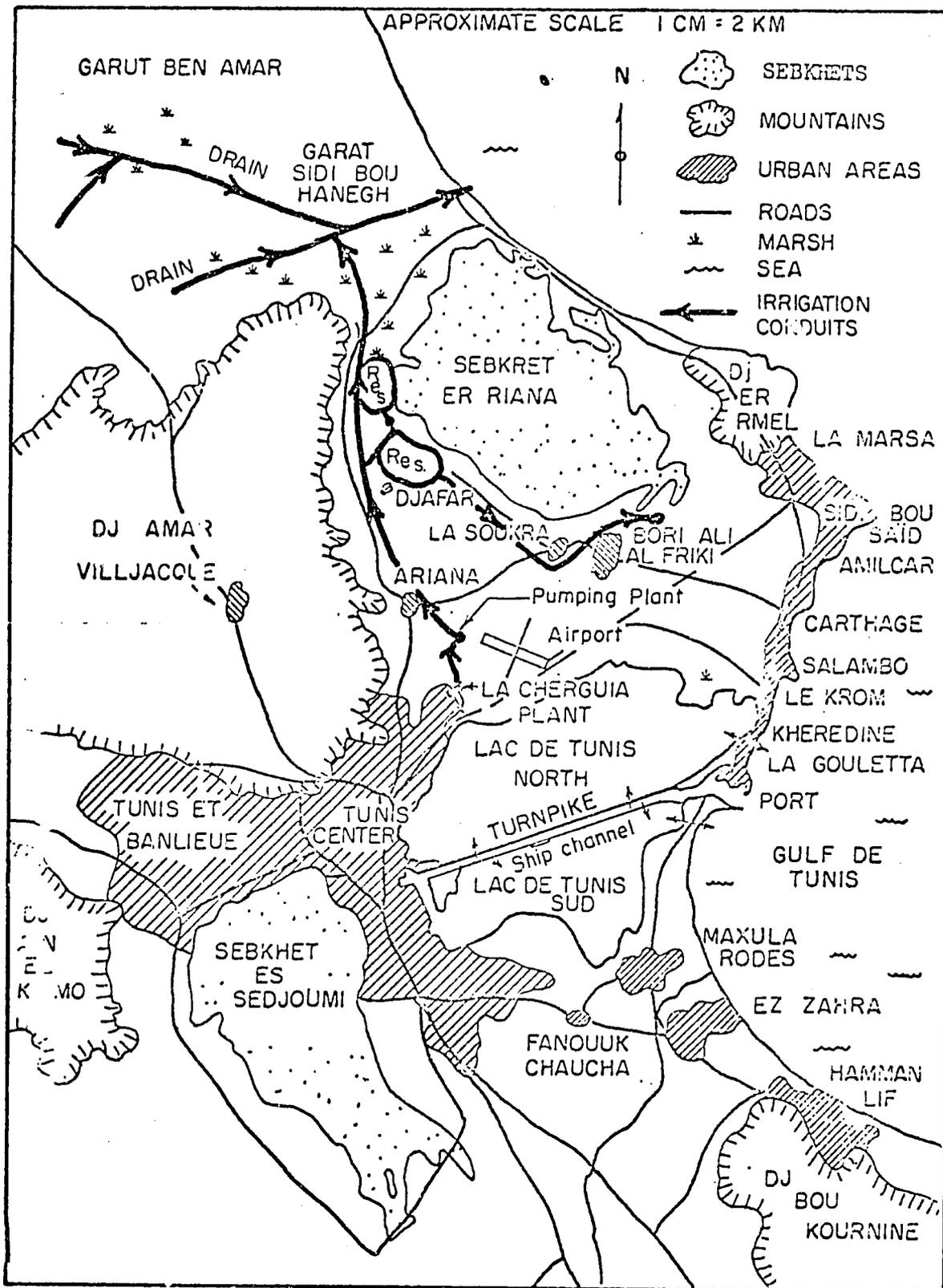
ALTERNATIVES POUR L'ÉLIMINATION DES EAUX USÉES  
DE LA VILLE DE TUNIS

1. Pratique courante - utiliser l'effluent pour l'irrigation et décharger le surplus dans le lac de Tunis.
2. Conduire toutes les eaux usées ou traitées pour l'irrigation et la mise en réserve et décharger le surplus dans la mer au nord-ouest du Sebket Ariane.
3. Conduire toutes les eaux usées ou traitées pour l'irrigation et décharger le surplus dans les Sebkets.
4. Mettre en réserve les eaux usées pour l'irrigation et ne décharger dans la mer que le surplus des eaux de l'irrigation.
5. Décharger toutes les eaux usées dans la mer.



TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 4. Le projet actuel (HAR) du système d'égouts et de récupération des eaux pour Tunis.



TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 5. Le Projet Bonifika de récupération des eaux, Tunis, 1969.

Les points faibles principaux de ces projets sont d'utiliser sans nécessité le système de traitement à boues activées qui est complexe, coûteux et incertain avant la surélévation de l'eau et de ne pas fournir une désinfection suffisante de l'eau. Dans ce plan même comme dans le plan Bonifice, on n'a pas cherché à utiliser les lacs qui sont secs pendant deux saisons ou Sebkhetts qui constituent un potentiel énorme pour le traitement, l'élimination et la mise en réserve des eaux qui pourraient être réutilisées pour la pisciculture et pour assainir les Sebkhetts. Seule au monde, Tunis possède cette combinaison fortuite de terres plates, fermées, gratuites, ce climat excellent et ce besoin d'eau d'irrigation dans le voisinage d'une grande ville. C'est peut-être parce que c'est un cas unique que les grandes possibilités des traitements par bassin ont été jusqu'aujourd'hui négligées par les ingénieurs qui ont étudié le problème.

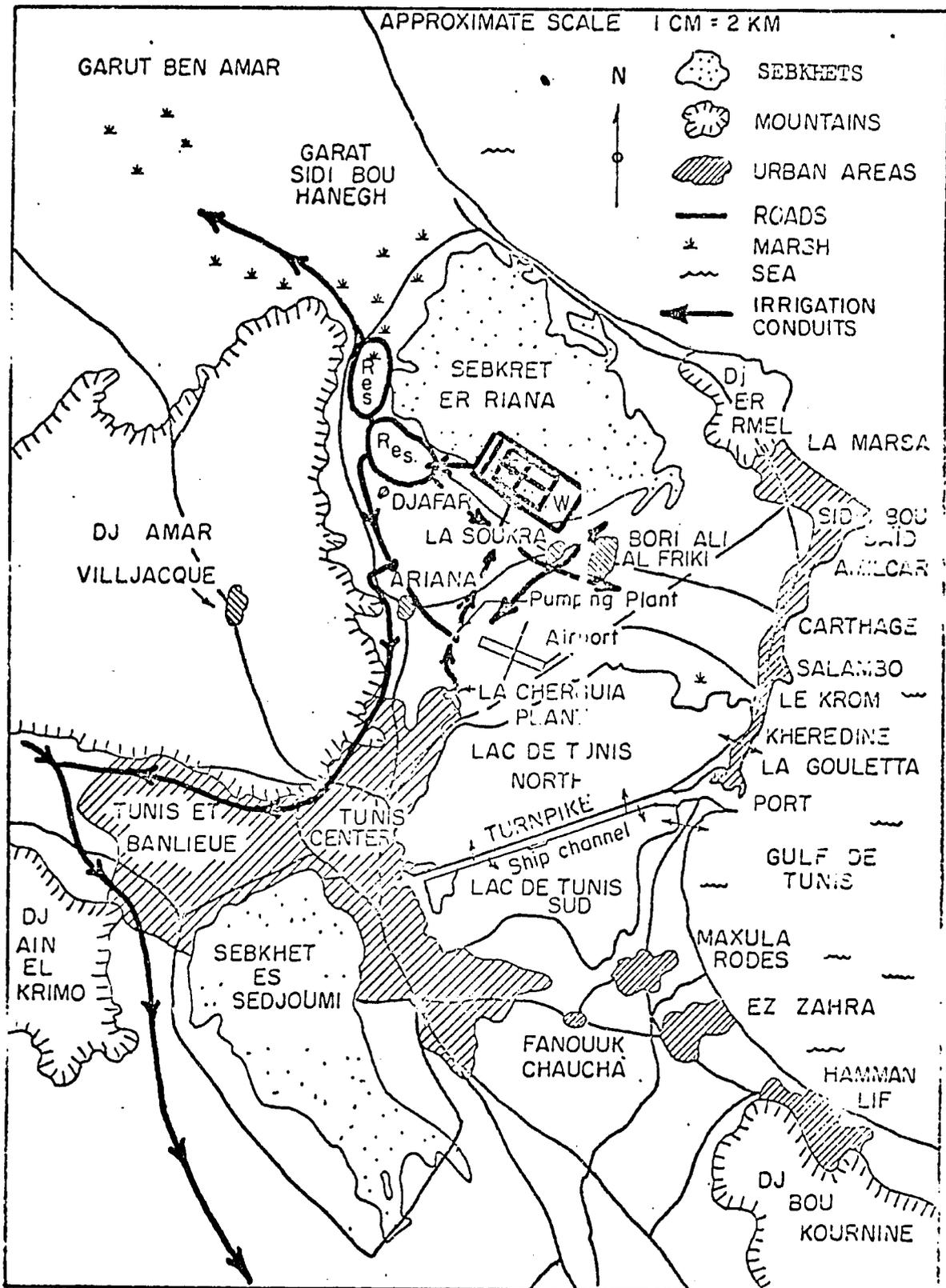
Vu que le plan HAR actuel ne prévoit pas l'utilisation de bassins, un autre projet est proposé. Il est identique au plan HAR et n'en diffère que par le fait que des bassins seraient utilisés pour le traitement. La Cherguia serait le point central de rassemblement et pompage des eaux usées. Le système principal de bassins de traitement serait situé dans le Sebkhet Er Riana. Selon son contenu en sels, l'eau serait, soit traitée dans les bassins ouest pour eaux salées, soit dans

Le bassin est pour eau douce. L'eau traitée destinée à l'irrigation serait surélevée jusqu'au réservoir de Djafar. Dans ce projet, la conduite des eaux brutes de la Cherguia aux bassins de Er Riana se ferait par canalisations. Bien que l'on puisse conduire les eaux de la ligne divisoire des eaux du nord ouest par canaux à ciel ouvert, ce serait peu hygiénique, car les personnes ayant accès aux canaux pourraient utiliser les eaux d'égouts brutes et non traitées. Cela créerait aussi des déchets solides et un problème de mauvaises odeurs. La troisième possibilité est donc d'utiliser la plan HAR Ionifce tout en conduisant les eaux d'égouts de la Cherguia au Sebket Er Riana par la pesanteur et d'utiliser les bassins pour le traitement. Ce plan est montré schématiquement sur la Figure 5.

Un troisième plan possible, montré sur la Figure 6, supposerait le rassemblement de toutes les eaux usées à la station de la Cherguia et leur surélévation jusqu'au système de traitement et de mise en réserve de Djafar entre la ville d'Ariana et de Sebket Ariana. L'effluent de ce réservoir pourrait soit être utilisé directement pour l'irrigation, soit pompé jusqu'à des réservoirs plus élevés où ils seraient soit utilisés ultérieurement pour l'irrigation soit on le laisserait s'écouler par la pesanteur dans le Sebket Ariana où il pourrait être utilisé pour un projet de récupération des terres ou pour la construction de bassin à poissons.

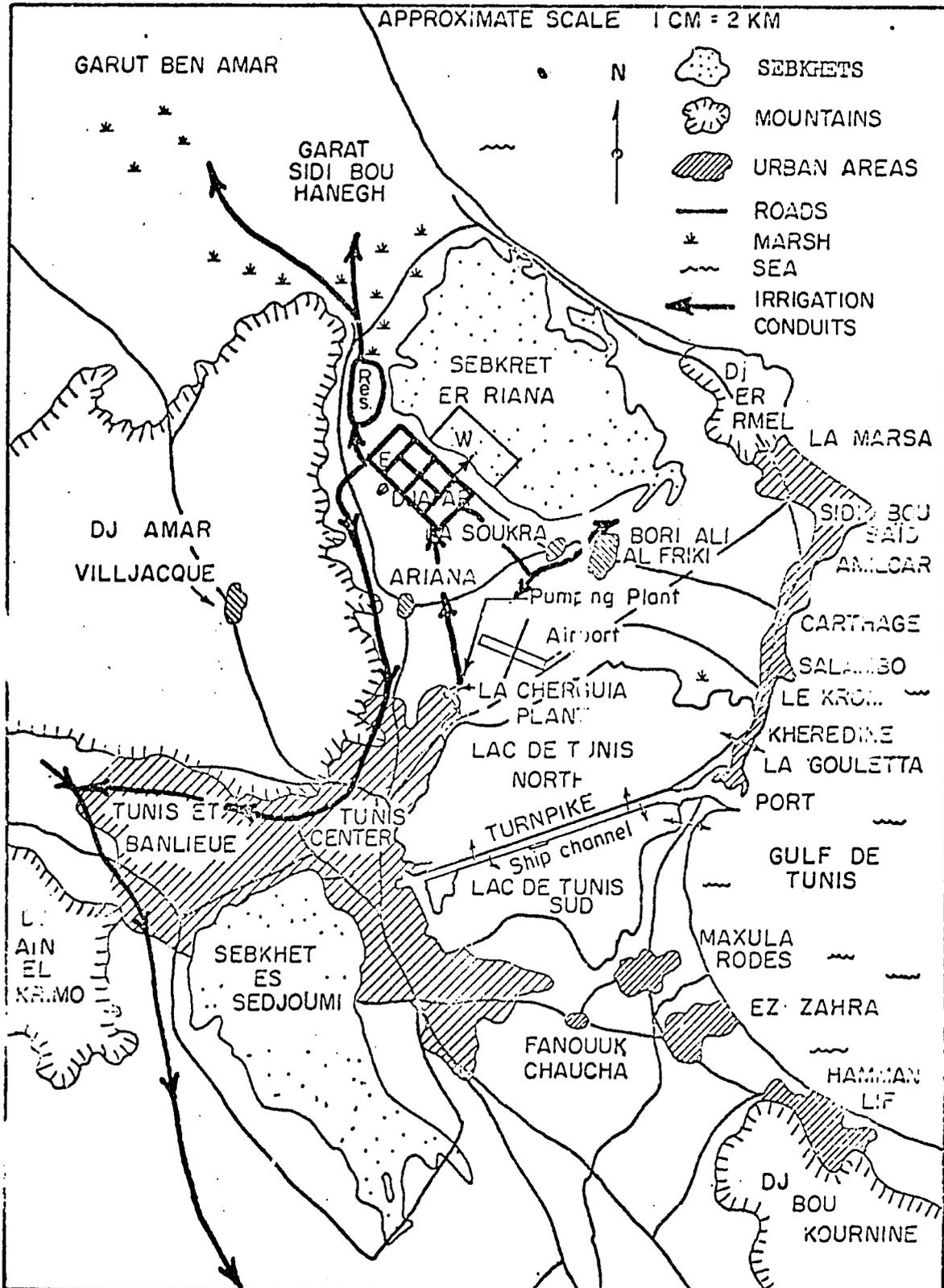
La quatrième alternative, qui met l'emphase sur la décentralisation, suppose le rassemblement des eaux par gravité et maximise le volume de l'eau mise en réserve. On la montre schématiquement sur la Figure 7. Bien entendu, ce projet n'a jamais été considéré auparavant, mais il paraît avoir un grand nombre de caractéristiques désirées.

Ce plan suppose la division du système de rassemblement des eaux usées de Tunis en un certain nombre de zones principales, quatre au moins qui seraient la zone de Es-Sedjoui, la zone du lac de Tunis, la zone d'Ariana et de la côte; la zone sud-est. On rassemblerait les eaux usées surtout par la pesanteur et on les traiterait par bassins dans la zone même, excepté dans le cas du lac de Tunis où on laisserait les eaux s'écouler jusqu'à une station de pompage principale située aux alentours du port ouest où elles seraient relancées dans un siphon d'égout qui longerait la côte d'Es-Sedjoui, et c'est avec les eaux de la zone d'Es-Sedjoui qu'elles pénétreraient dans un système de bassins et de réservoirs où elles seraient traitées et réutilisées. Les eaux usées qui arrivent actuellement à la station de la Cherguia en provenance de la côte seraient, elles conduites de la Cherguia au Sebket Ariana où selon leur qualité elles seraient déchargées dans un bassin spécial situé dans le lit de l'Ariana soit traitées et mises en réserve pour l'irrigation. Les eaux usées de la zone Sud-est seraient traitées séparément par bassins près de Hamman Lif. On



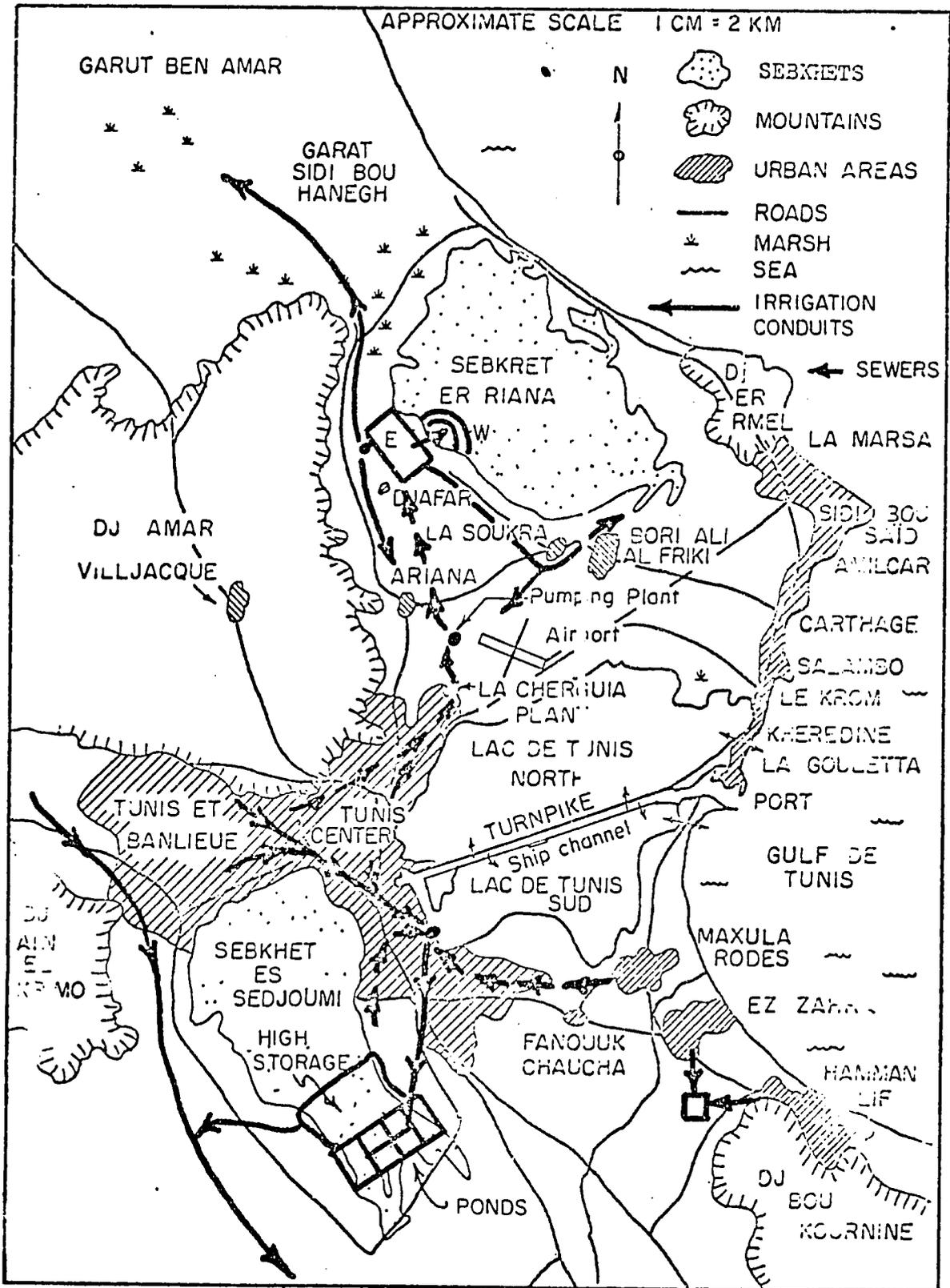
TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJC

FIGURE 6. Le Projet HAR-Bonifica utilisant la Cherguia comme point de rassemblement.



TUNIS B VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 7. Transport par injection de la station de pompage de la Cherguia à un centre de traitement et de mise en réserve situé près de Djafar.



TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 8. Le plan décentralisé de rassemblement, traitement et élimination des eaux d'égouts de Tunis.

construirait donc au moins trois systèmes séparés de bassins qui utiliseraient une terre actuellement perdue. Les bassins seraient à peu près situés comme l'indique la Figure 7. Dans ce plan, on pourrait conserver toute l'eau utilisable et on éliminerait ainsi la décharge des eaux usées à la mer. Du fait de la surélévation de son lit d'à peu près 10 m., il serait important d'utiliser le Sebket Es-Sedjoui comme réservoir. On pourrait donc fournir par gravité de l'eau d'irrigation à une large zone à l'ouest et à l'est.

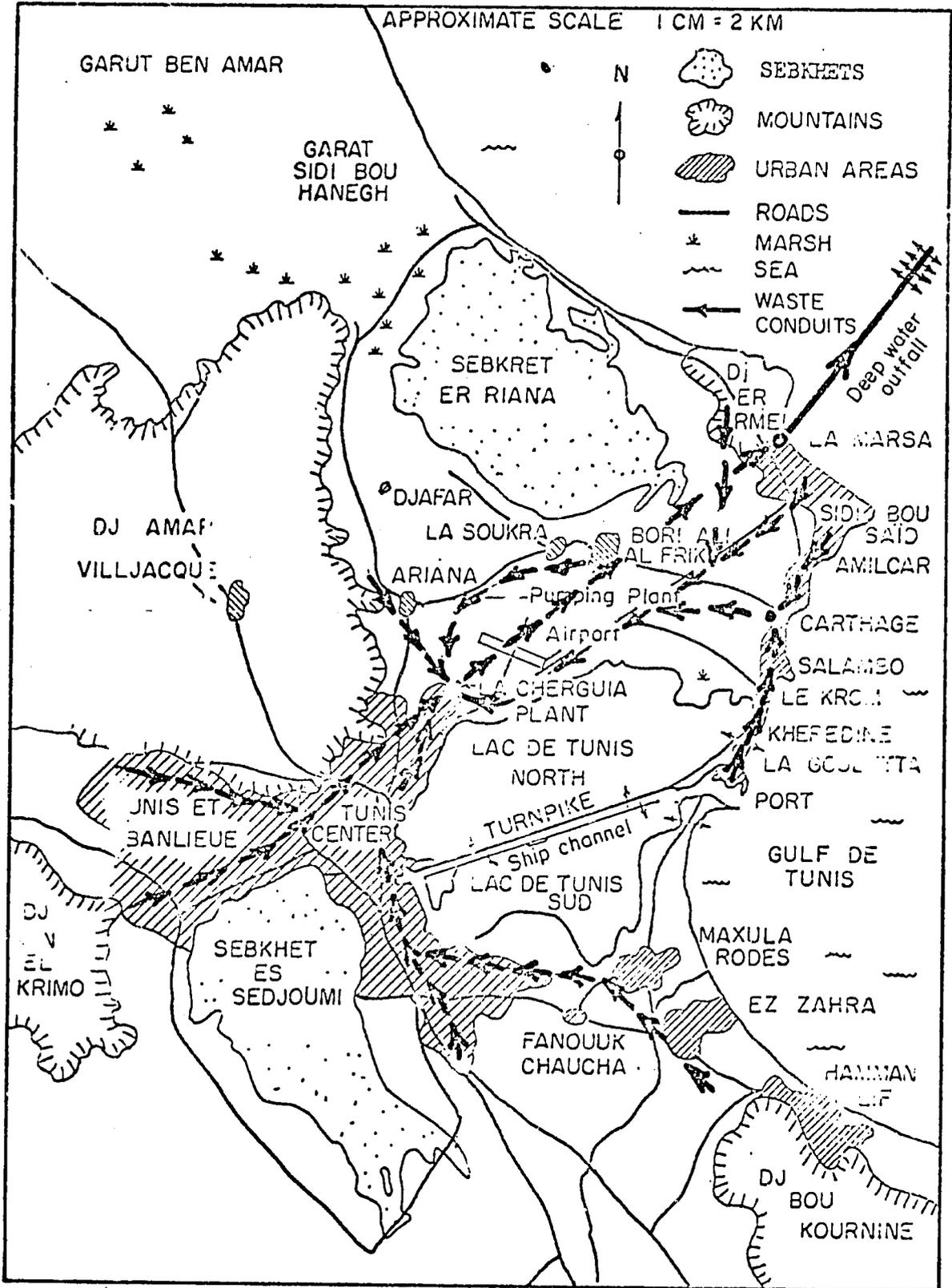
La dernière possibilité que considérait toute communauté côtière serait le rejet en eau profonde. Bien que notre objectif soit de trouver des manières de conserver l'eau (on ne donne à l'eau usée qu'une valeur de cinq millièmes par m<sup>3</sup>), un rejet complet pourrait être considéré comme alternative à son traitement. On estime que pour fournir une dilution de 100,000 pour 1, et donc une bonne dilution; les eaux usées devraient

être déversées dans le golfe de Tunis à au moins 8 km. de la côte et à une profondeur d'au moins 50 mètres. Ce projet supposerait le rassemblement de toutes les eaux d'égouts en un endroit, par exemple la Cherguia, leur traitement primaire complet, l'élimination totale des substances susceptibles de flotter, des huiles et des solides, puis la chloruration des eaux afin d'éviter leur putréfaction et la contamination des plages. Les eaux usées seraient pompées jusqu'à un endroit plus élevé près de la Marsa, d'où soit on les laisserait s'écouler par la pesanteur dans la mer, soit on les y injecterait selon que les coûts du pompage ou les coûts des canalisations soient minimisés. Un diagramme schématique du déversoir à la mer est donné sur la Fig. 9.

#### CRITÈRES D'ÉVALUATION DES DIFFÉRENTS PLANS

Comme je l'ai déjà dit dans l'introduction, pour que l'on déclare réalisable un système complet de rassemblement, traitement et élimination des eaux, de nombreux critères devraient être satisfaits. Ce sont essentiellement des critères d'efficacité et de coût. Les premiers comprennent la possibilité de réaliser techniquement le projet et sa praticabilité de fonctionnement, les problèmes d'hygiène, les problèmes d'environnement y compris sa compatibilité avec les ressources naturelles, les eaux, les terrains et la faune de la région.

Les coûts à considérer sont les coûts de construction et d'opération et le temps entre la décision et la réalisation du



TUNIS & VICINITY 3-11-72 WJO

FIGURE 9. Rassemblement centralisé des eaux usées de Tunis et rejet en haute mer.

projet. On ne fera pas d'évaluation détaillée de l'efficacité et des coûts de différents systèmes de rassemblement, ou d'élimination. Cependant on fera une analyse détaillée pour des systèmes de traitement et d'élimination combinés qui paraissent réalisables.

L'analyse sera faite suffisamment en détail pour que l'on puisse en tirer des conclusions. Avant de présenter les différentes possibilités et de les discuter, il est nécessaire de discuter un peu les critères considérés.

Bien que ce ne soit pas l'objet de ce rapport d'étudier en détail les critères d'efficacité et de coût, on doit cependant en dire quelques mots pour justifier les évaluations faites.

Bien que cette discussion soit générale, on s'est limité au cas de Tunis et on ne traitera donc que des systèmes de traitement mécaniques et par bassins.

#### EFFICACITÉ DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT

Possibilité de Réalisation. Les deux systèmes le sont étant donné qu'ils sont utilisés dans presque tout le monde.

Practicabilité de Fonctionnement. Les systèmes mécaniques sont beaucoup plus sensibles aux changements et aux ennuis que les bassins.

Du fait de leur volume important, les bassins ont un système de sécurité naturel qui les protègent des changements; alors que les systèmes mécaniques n'ont pas de système de sécurité du fait du coût des terrains ou d'autres restrictions. Chaque partie composante d'un système mécanique dépend des autres. Aussi la panne de l'une peut suffire à entraîner la panne

du système entier.

Impact humain. À cet égard, on considérera les problèmes de santé, d'hygiène et les questions d'esthétique.

-Santé- Nous avons déjà remarqué que les bassins jouaient un rôle de tampon dans la transmission des maladies, rôle que ne jouent pas les systèmes mécaniques même quand la désinfection est pratiquée. Aussi doit-on utiliser la chloruration pour que l'effluent mécanique soit de qualité équivalente à celle des bassins.

-Hygiène- On pourrait employer des arguments similaires à ceux donnés pour les substances pathogènes aux substances réfractaires, toxiques et cancérogènes. Il y a une beaucoup plus grande probabilité de transmission de maladies aux humains par effluent mécanique que par l'effluent des bassins. De plus, la chloruration ne peut assurer l'élimination des substances toxiques. En fait, elle peut en créer elle-même par action sur des substances contenues dans les eaux usées.

-Facteurs esthétiques- Bien conçues et bien opérés, les bassins sont agréables. Ils fournissent de l'espace libre, des eaux pétillantes, mettent en valeur la végétation sauvage et ne créent pas de problèmes d'odeurs. On peut trouver une certaine beauté aux appareils, à la peinture, aux cuivres bien polis et au son des systèmes mécaniques, mais à moins de fonctionnement parfait, leurs odeurs font plutôt penser à celles

d'un abattoir qu'à celles d'une station d'eau potable et d'une station d'énergie électrique. Les digesteurs et les tours d'incinération sont très visibles et sont parfois touchées par les avions en vol.

-L'environnement- L'impact sur l'environnement de l'un ou l'autre système dépend de sa fonction. Les bassins utilisent mieux les ressources naturelles en ce qu'ils sont construits avec des matières premières locales, sur des terrains inutilisés et consomment de l'énergie solaire comme ressource primaire d'énergie. Les systèmes mécaniques peuvent utiliser des matériaux rejetés comme source d'énergie mais le coût du système de récupération demandé est souvent plus élevé que celui de l'énergie obtenue. Étant en général construit en acier et béton, des stations mécaniques demandent une infrastructure de prix élevé et qu'on ne peut changer. Leur fonctionnement dépend de machines mobiles sensibles à la corrosion par les eaux usées. Ils supposent donc une surveillance par des techniciens spécialisés et des remplacements partiels pour assurer un fonctionnement prolongé. Les bassins sont conçus pour fonctionner à long terme et les connaissances demandées au personnel sont semblables à celles demandées à des spécialistes de l'irrigation et de l'agriculture.

-Récupération des eaux- Les systèmes mécaniques fournissent un effluent qui contient une même quantité de solides et de substances nutritives que l'influent mais une moindre BOD.

Comme on l'a remarqué plus haut les eaux peuvent contenir des substances pathogènes, toxiques et cancérogènes. La quantité d'eau déchargée par les bassins est moindre dû à des pertes par évaporation et infiltration. L'évaporation des eaux lors de leur séjour dans les bassins crée aussi une augmentation du pourcentage des solides dissous dans l'eau.

Les pertes d'eau par infiltration hors des bassins n'en changent pas la qualité mais l'infiltration d'eau dans les bassins le peut. On évite cette infiltration en conservant la surface du bassin à une pression supérieure à celle des eaux souterraines. Les effluents des bassins sont en général moins riches en substances pathogènes, toxiques et cancérogènes que ceux des stations de traitement mécanique.

Utilisation des terres. Si l'on a besoin de réservoirs pour conserver des eaux nécessaires à l'irrigation, on peut effectuer le traitement pour conserver de substantielles quantités d'eau. On devrait idéalement conserver les eaux d'irrigation en surélévation par rapport aux terres à irriguer mais malheureusement, les bassins fournis en eaux qui s'écoulent par la pesanteur sont situés sur des terrains bas. On devrait donc faire des études détaillées sur les coûts respectifs des terrains et des stations de pompage afin d'atteindre une combinaison raisonnable de réservoirs surélevés ou sous-élevés. Dans les stations mécaniques on a en général besoin de station

de pompage soit pour une application directe soit pour la mise en réserve des eaux. On devrait aussi inclure l'utilisation des terres comme réservoir dans le rôle des terrains dans les stations de traitement mécanique.

La Faune. Les bassins permettent la pisciculture et l'agriculture et peuvent essentiellement être utilisés pour la production de nourritures pour animaux. Les effluents des stations mécaniques, quand ils sont mis en réserve, entraînent souvent la croissance d'algues bleu-vertes qui sont malodorantes et toxiques à la végétation sauvage.

Les effluents secondaires déchargés dans des bassins peu profond d'eaux salées entraînent la prolifération d'algues marines.

Souplesse de fonctionnement. Les systèmes de traitement mécaniques sont en général peu flexibles, aussi peut-on difficilement améliorer les performances initiales du système. D'un autre côté on peut transformer un système fonctionnel en un large espace inutile à la sorte des égouts en l'opérant mal, ou négligemment ou en perdant une pièce essentielle.

Les bassins sont un peu plus flexibles. Les opérations y sont faites en parallèle et non pas en séries. On peut aussi y conserver les eaux moins longtemps pendant l'été et plus longtemps pendant l'hiver. Mais en fait, les stations de

traitement par bassin ne sont guères flexibles. Mais elles sont peu susceptibles de tomber en panne.

Surêté de fonctionnement. Elle est peu élevée dans le cas des stations de traitement mécaniques. Étant peu flexibles, les stations mécaniques ne maintiennent pas leurs performances lors de la panne d'une pièce ou d'une augmentation du volume des eaux ou de la concentration des eaux usées ou de substances toxiques. Bien souvent si un élément du système tombe en panne, on doit laisser passer les eaux sans les traiter jusqu'à sa réparation. Aussi peut-on difficilement compter sur de tels systèmes. Des bassins conçus dans le but d'éviter les courts-circuits des eaux fourniront eaux, un effluent de qualité et de volume constants. Ils sont donc plus sûrs que les systèmes mécaniques.

Les facteurs d'efficacité cités plus haut sont difficiles à évaluer avec précision, mais d'un autre côté on ne peut pas comparer différentes alternatives sans utiliser quelque échelle quantitative. Aussi dans ce projet on a choisi une arbitraire pour juger chaque facteur d'efficacité. Les valeurs s'étagent de faibles performances à d'excellentes performances. Il est bien évident qu'un tel système de classification est très subjectif et dépend de ce qu'on pense et l'on connaît du système.

Les Coûts. Les critères de coûts sont bien moins subjectifs. On possède des données sur les coûts de construction des systèmes concernés et des indices de coûts afin de pouvoir prendre en compte les changements rapides des coûts au cours du temps. On possède aussi des indices de coûts pour différentes régions géographiques. Les coûts nets sont bien sûr fonction des coûts d'investissement du taux d'intérêt et du remboursement des emprunts. Ils dépendent aussi du temps de vie du système. Certains systèmes ont une vie si courte qu'ils doivent être remplacés ou remis en état avant même d'avoir été complètement remboursés. Pour tenir compte de ce fait, on devrait prévoir un remboursement du capital emprunté plus rapide pour les systèmes mécaniques que pour les bassins.

Coûts opératoires et coûts d'entretien. On peut trouver aux États-Unis des données sur ces coûts mais on ne peut les appliquer au cas de Tunis du fait de la différence substantielle du coût de la main d'oeuvre, des matières premières et de l'énergie. On a donc estimé les coûts d'après les données que l'on peut trouver pour Tunis.

Temps entre la décision et la réalisation d'un projet. Ce facteur est important car les coûts changent continuellement lors de l'étude et de la construction d'un système. Un projet de système mécanique complexe peut prendre de deux à trois ans, alors que l'on peut faire un projet de bassins en un ou deux ans. Un système mécanique suppose une connaissance plus

routinière alors qu'on système de bassins peut demander des innovations, des travaux de terrassements, des connaissances géologiques et des prises de position de la part des ingénieurs.

Un système mécanique suppose qu'on ordonne et qu'on fasse livrer des parties composantes complexes alors que les bassins utilise des matières premières locales. C'est pour ces raisons que les frais divers et de génie civil sont plus élevés pour les systèmes mécaniques que pour les bassins. Cependant, dans un souci de simplicité, on supposera que les frais divers et de génie civil sont les mêmes dans les deux systèmes.

Coût. Ce paramètre permettra de juger de l'efficacité des dépenses faites dans cette étude, on divisera les coûts en indices correspondant à leur efficacité. Ainsi, associera-t'on au meilleur projet le nombre le plus élevé.

#### COÛTS DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT

##### Indices des coûts

Se fonder sur les coûts de construction américains est certainement bien aléatoire. Les divergences sont dues aux différences des coûts de main d'oeuvre, d'énergie et de matières premières. Mais il est difficile d'évaluer de telles divergences dans une étude rapide. Aussi se fondera-t'on dans cette étude sur les coûts américains.

Les indices de coûts pour les stations de traitement et les égouts sont publiés par "l'office américain pour la protection de l'environnement" (8) et ceux pour les travaux de terrassement par le "Bureau américain de Récupération". On les trouvera sur la Fig. 10. Les indices prévus pour la mie 1972 sont pour les canalisations 1,88 (les coûts en 1957-58 était de 1,00). Pour les stations de traitement 1.71 coût de 1957-58 et pour le terrassement 1.31 coût en 1971 = 1.00.

Lors de l'utilisation de ces indices, on a effectué un ajustement des coûts en multipliant par le rapport entre l'indice de l'année des données et l'indice correspondant à la mie 1972.

#### Fonction de Coût

On a appliqué ici les fonctions de coût pour traitement primaire, traitement à boues activées, traitement au goutte à goutte et chloruration, telles qu'elles sont publiées par Robert

Smith de l'Agence Américaine pour la protection de l'environnement. Des efforts faits pour obtenir les données de Smith les plus récentes afin de les utiliser dans ce rapport même n'ont pas été fructueux\*. Aussi a-t'on utilisé les données de 1967 en divisant l'indice de 1967 de 1.19 par l'indice de 1972 de 1.71 d'où obtention du rapport de 1.44.

#### Indices comparés et Construction à l'étranger

D'après la société américaine du génie civil, les coûts de construction à Tripoli sont 1.1 plus élevés qu'aux États-Unis. On ne possède pas de données pour Tunis.

On a supposé que les coûts tunisiens sont analogues aux coûts de Tripoli et on a utilisé un indice de 1.1 pour les valeurs américaines ajustées de 1972.

#### Application des indices

Les fonctions de coût de Smith ajustées pour 1972, multipliées par le facteur de 1.1 et converties en système métrique et en dinars sont présentées dans les tableaux 11, 12, 13 et 14 pour le traitement primaire, les boues activées, la filtration au goutte à goutte et la chlorination respectivement.

Les données de Smith sur le remboursement des dettes, sur les coûts opératoires et d'entretien, ne seront pas utilisées ici, car on pense qu'il y aura des différences sur les taux

\*Nous reçûmes les données les plus récentes le 15 avril. Elles semblent analogues aux données de ce rapport.

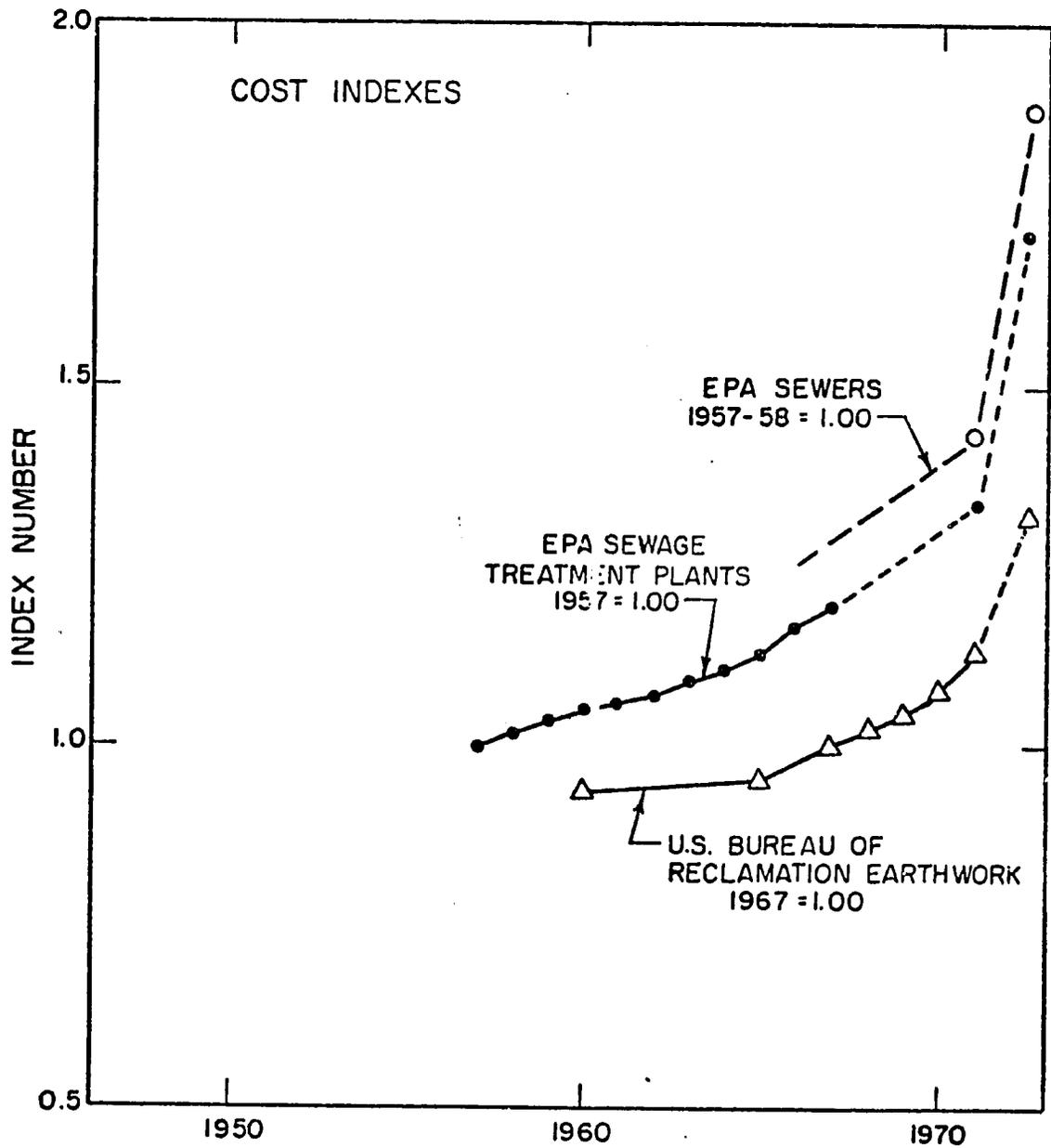
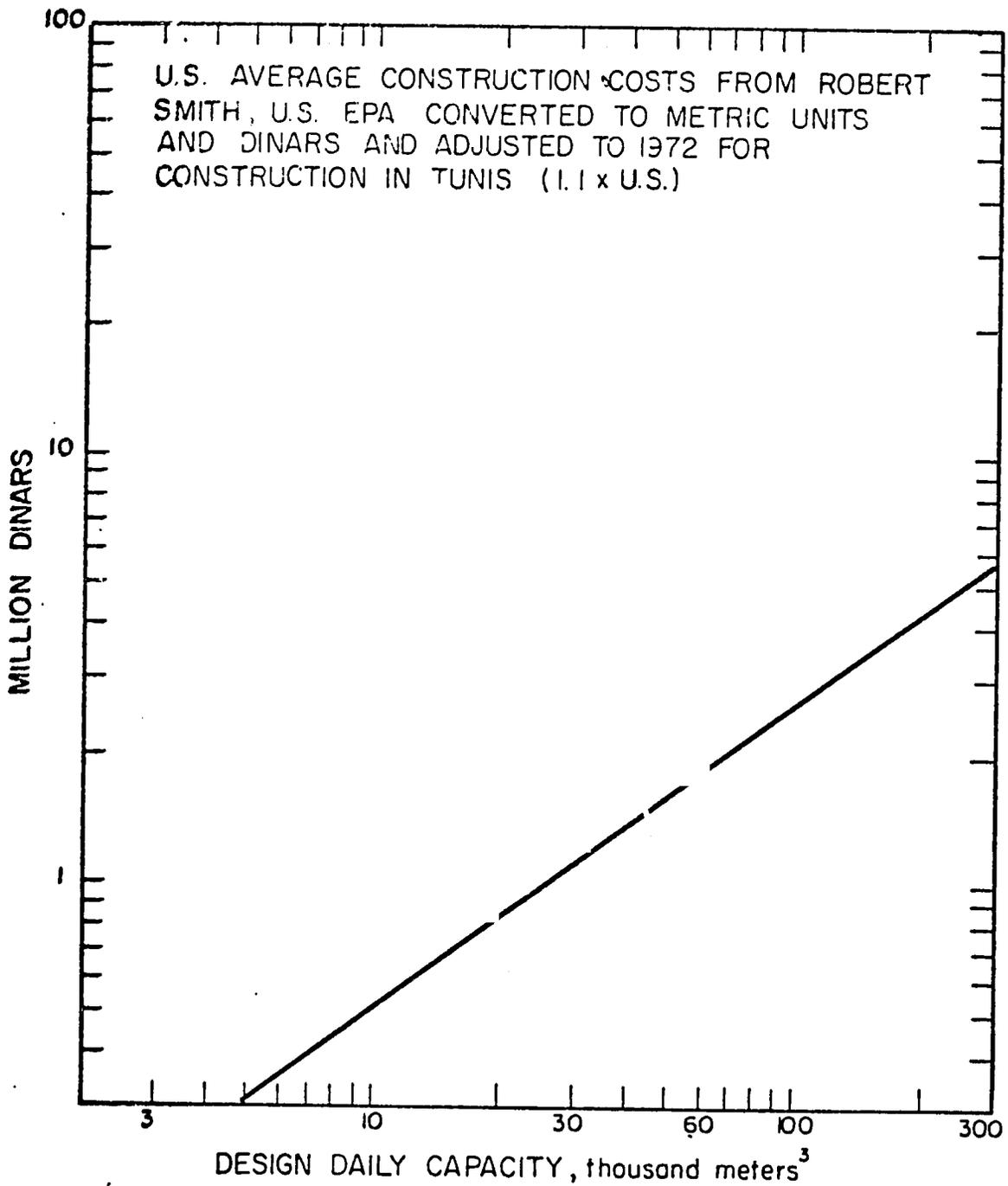


FIGURE 10. Indices des coûts des égouts, des systèmes de traitement des eaux usées et coûts du terrassement, États Unis, 1957-1972.



<+AEO+

FIGURE 11. Estimation des coûts des systèmes primaires de traitement, Tunis, 1972.

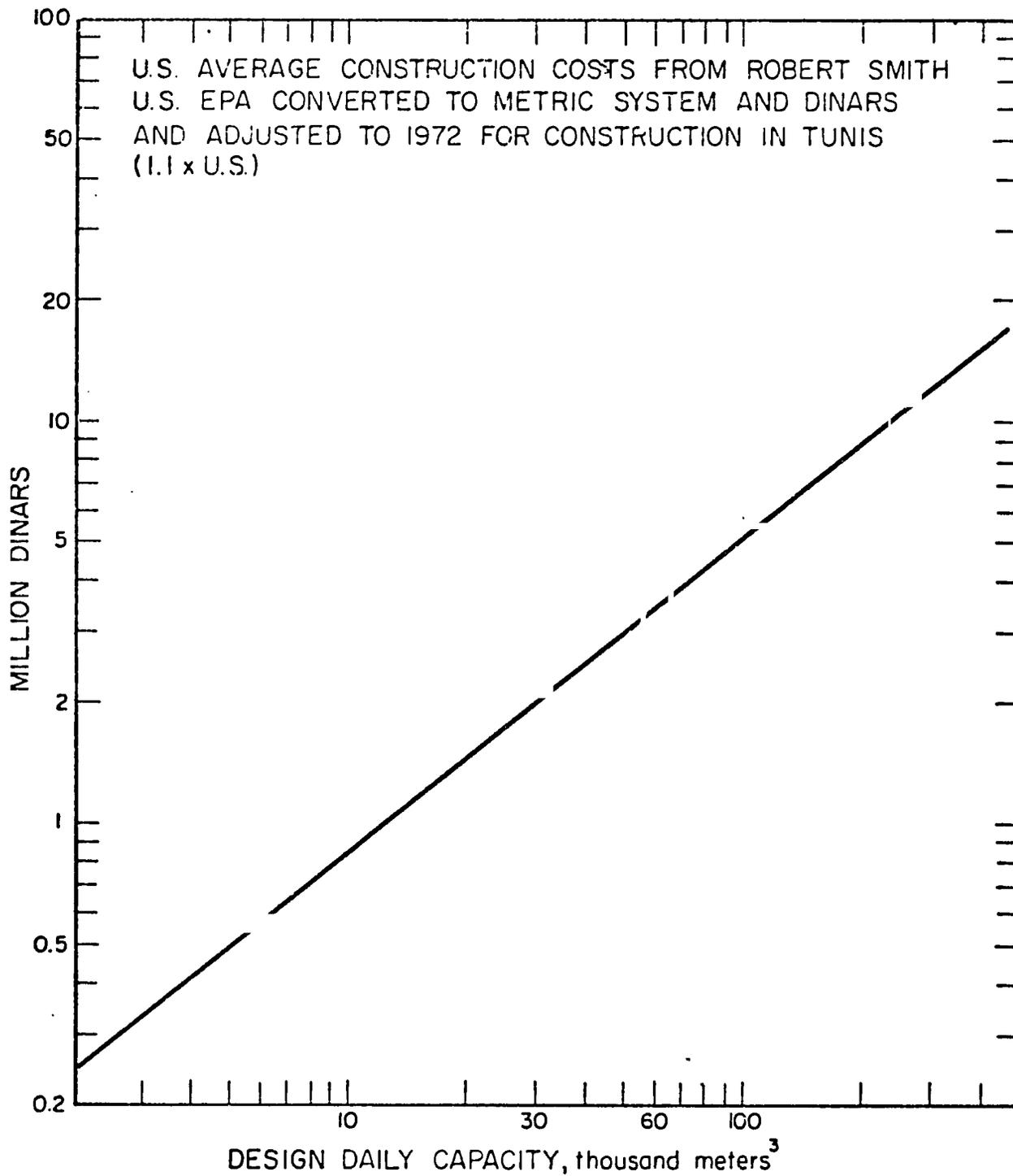


FIGURE 12. Estimation des coûts des systèmes à boues activées, Tunis, 1972.

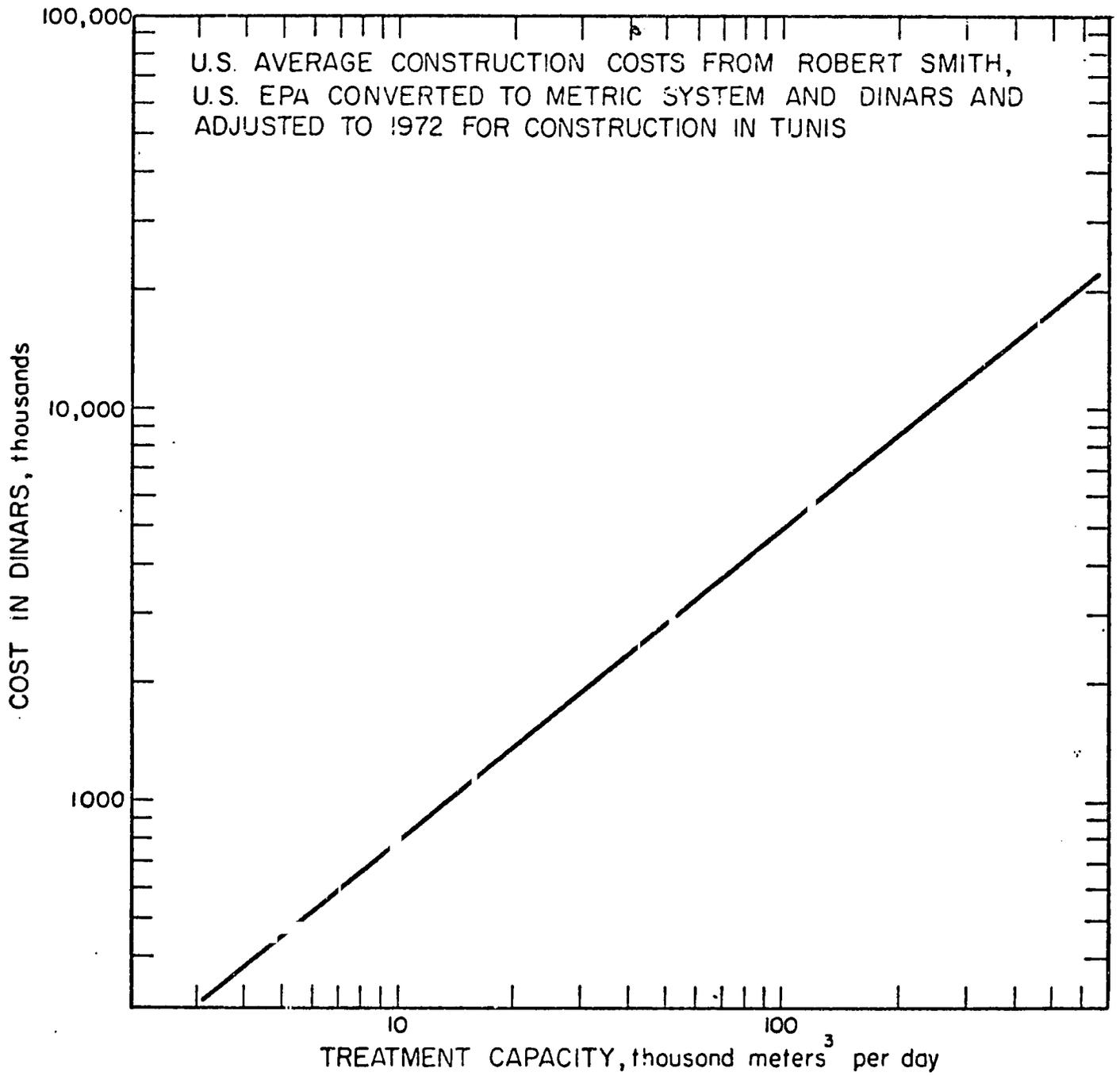


FIGURE 13. Estimation des coûts des systèmes de filtration au goutte à goutte.

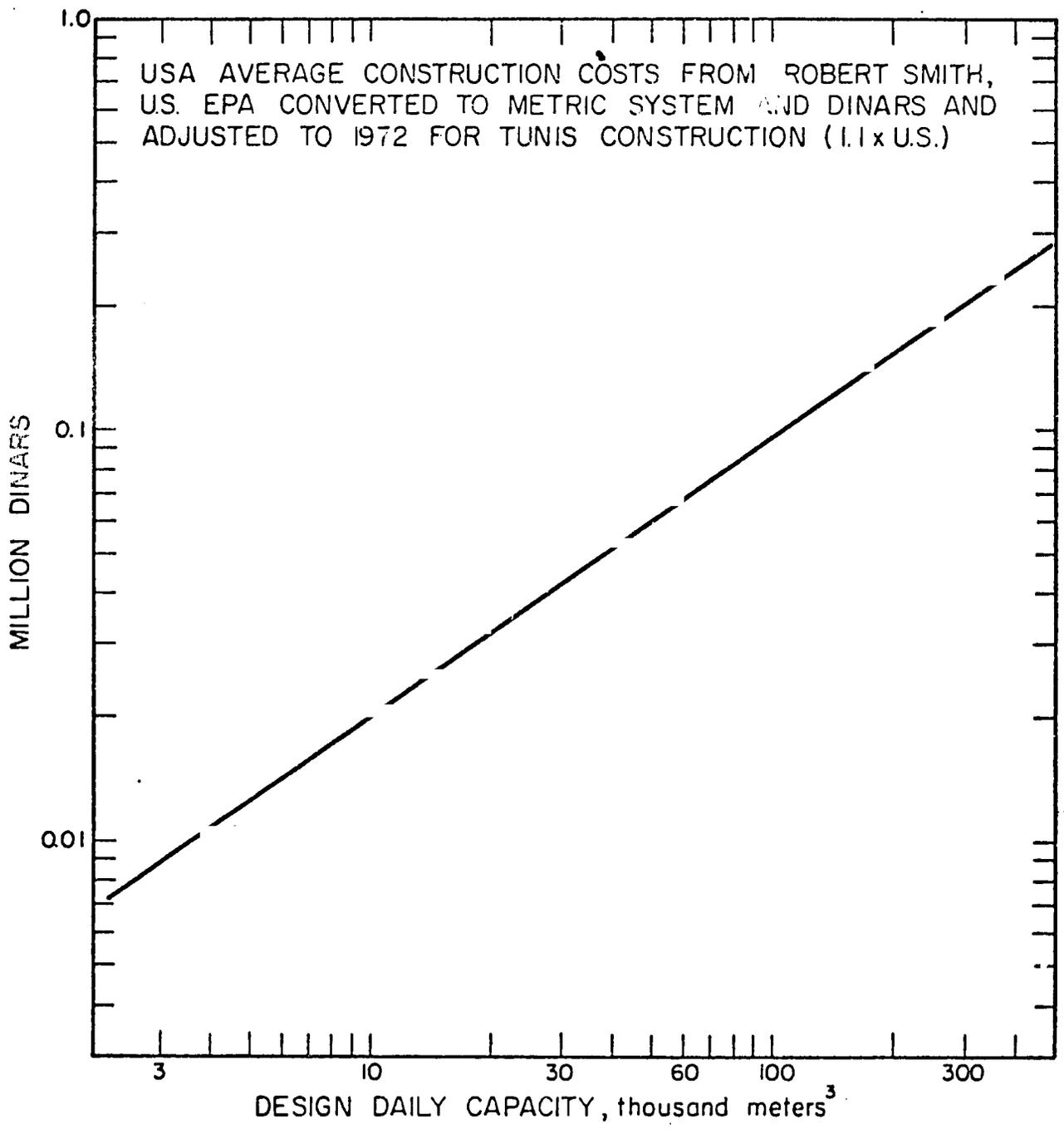


FIGURE 1/ Estimation des coûts de la chloruration, Tunis, 1972.

d'intérêt sur le capital, aussi bien que sur le prix de la main d'oeuvre, des matières premières et de l'énergie.

#### Coûts des Bassins.

Les fonctions montrées sur la Figure 15 ne sont pas des fonctions EPA mais ont été basées sur des coûts de systèmes auxquels l'auteur est familier et pour lesquels on possède des données. Les coûts sont ajustés de l'année de la construction à 1972 par utilisation du rapport de l'indice de 1.71 en 1972 sur l'indice de l'année de construction. Les données sur les bassins proviennent essentiellement de Californie avec un indice ASCE de 1.09. Elles pourraient être appliquées directement à Tunis. Toutefois toutes les données sur les bassins ont été multipliées par un facteur de 1.10 comme dans le cas des autres systèmes de traitement.

#### Coûts de Transport.

On a évalué le coût de transport des eaux usées en fondant sur le prix des canalisations tunisiennes et américaines comme l'indique la Figure 16. On n'a pas pu obtenir de données sur les larges canalisations tunisiennes. Aussi a-t-on déterminé le rapport entre le coût après installation et le coût tout des canalisations peu larges et a-t-on extrapolé aux canalisations plus larges. C'est ainsi qu'on a déterminé le coût d'installation des larges canalisations. On a supposé posséder des données datant du début de 1971 et les a-t-on multipliées par les facteurs de 1.88/1.50 soit 1.50.

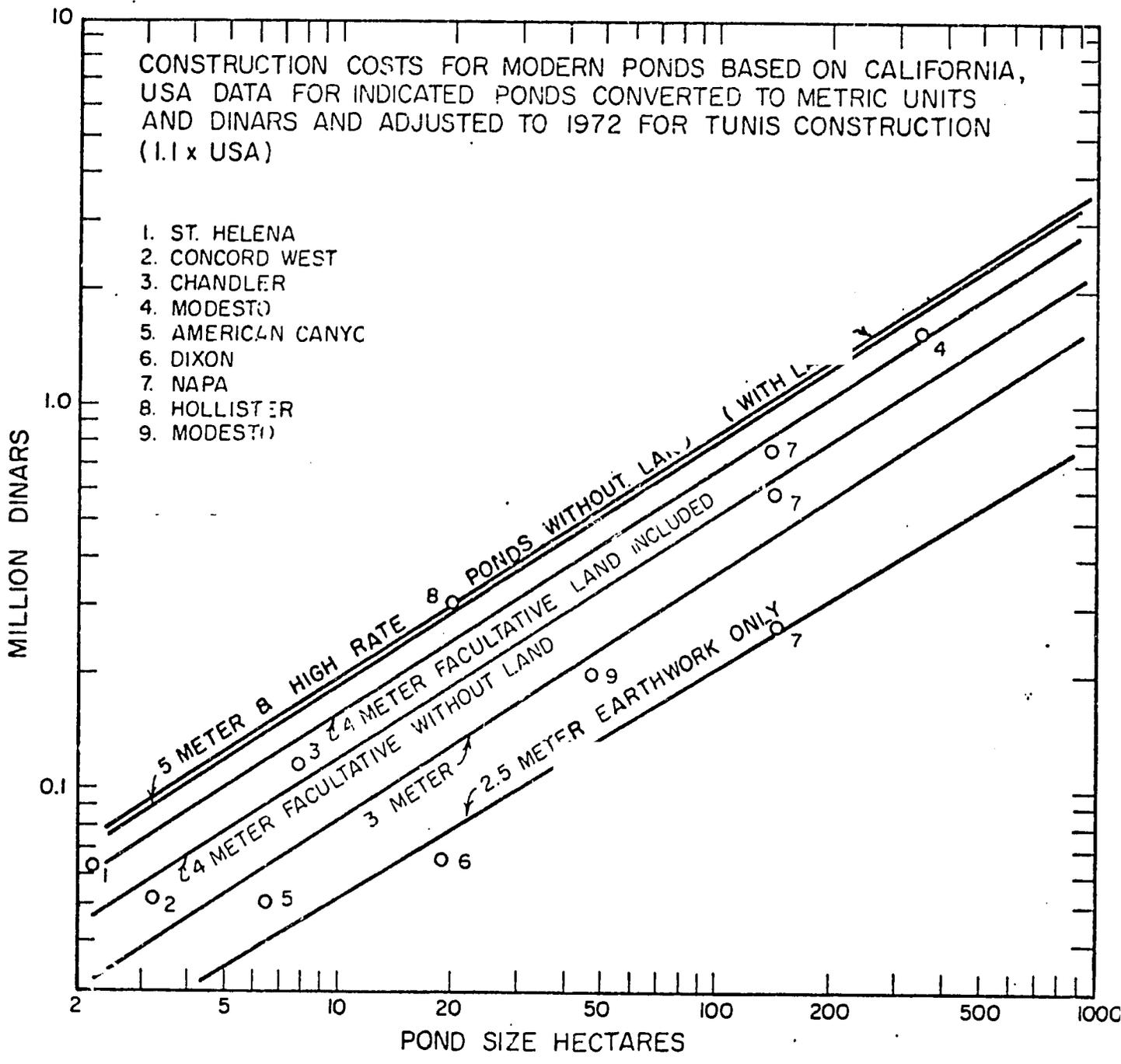
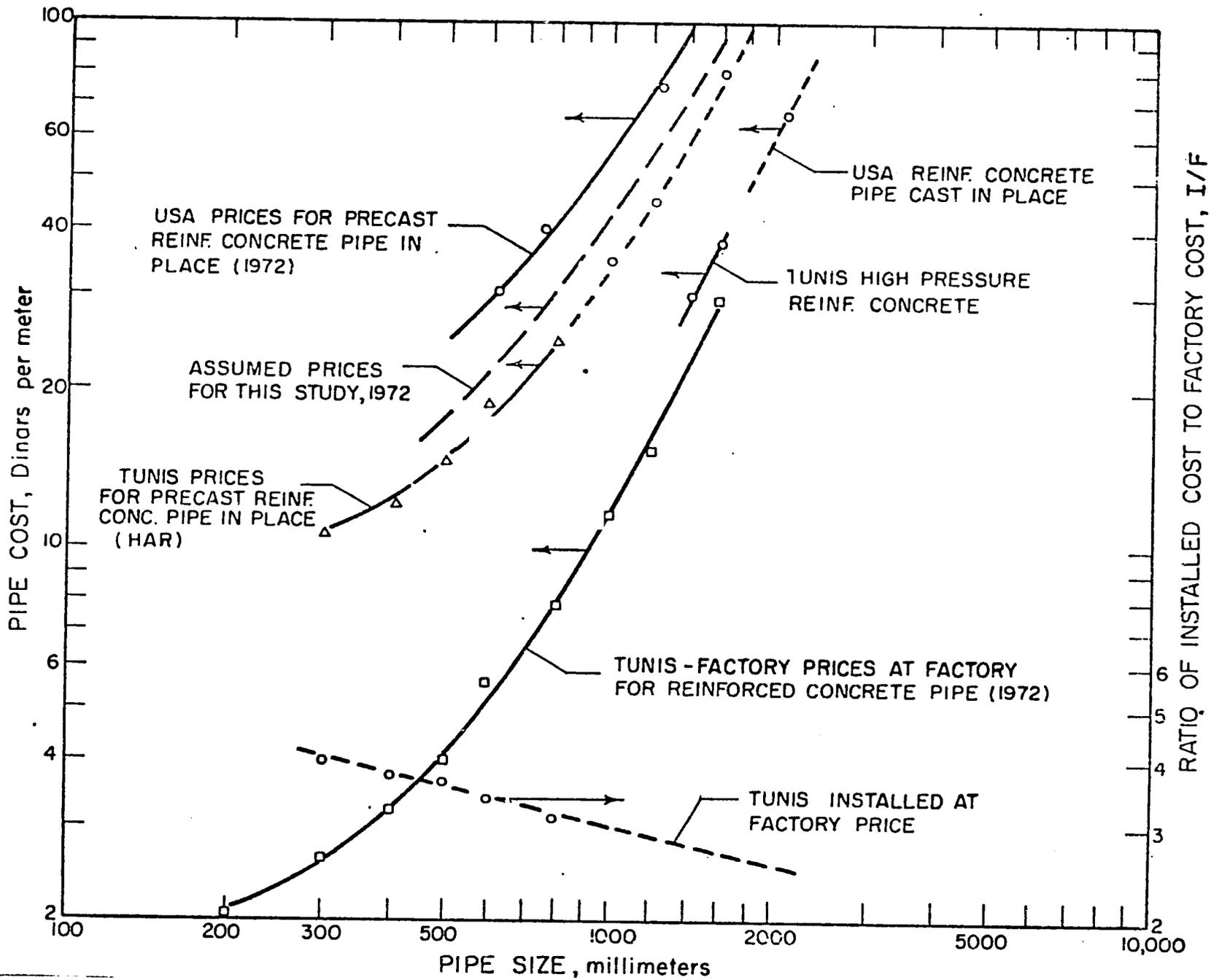


FIGURE 15. Estimation des coûts de bassin, Tunis, 1972 (y compris les coûts américains ajustés à 1972 pour des bassins spécifiques).



Les données qu'on a pu obtenir montrent que le cout d'installation des canalisations peu larges est 60% celui des États-Unis.

### Pompes

On a pu obtenir de Tunis des données récentes (1970) sur les coûts des stations de pompage pour petites canalisations (6). On a converti les coûts de la station de pompage de Napa, Californie (1967) en utilisant les indices de la Fig. 10 en faisant les conversions en système métrique et en dinars et en multipliant par 1.1. On a utilisé alors ces données pour trouver la fonction de coût des stations de pompage comme l'indique la Figure 17. Les coûts concernent seulement des stations de traitement effectuant une surélévation de 10 mètres ou moins.

### Autres facteurs

Aucune des fonctions de coût utilisées ne comprend les frais divers et le génie civil. Aussi, pour calculer les coûts annuels et unitaires pour différents systèmes, devrait-on ajouter un facteur de 20% aux coûts d'investissement.

Aucun des coûts précédents ne comprend le prix des terrains pour stations de pompage et raccordements est normalement peu élevé, on pourra les supposer inclus dans les 20% de frais divers considérés plus haut.

On a supposé un taux d'intérêt uniforme de 7% pour les dépenses d'investissement. Il y a des différences considérables entre le temps de vie des équipements mécaniques et celui des

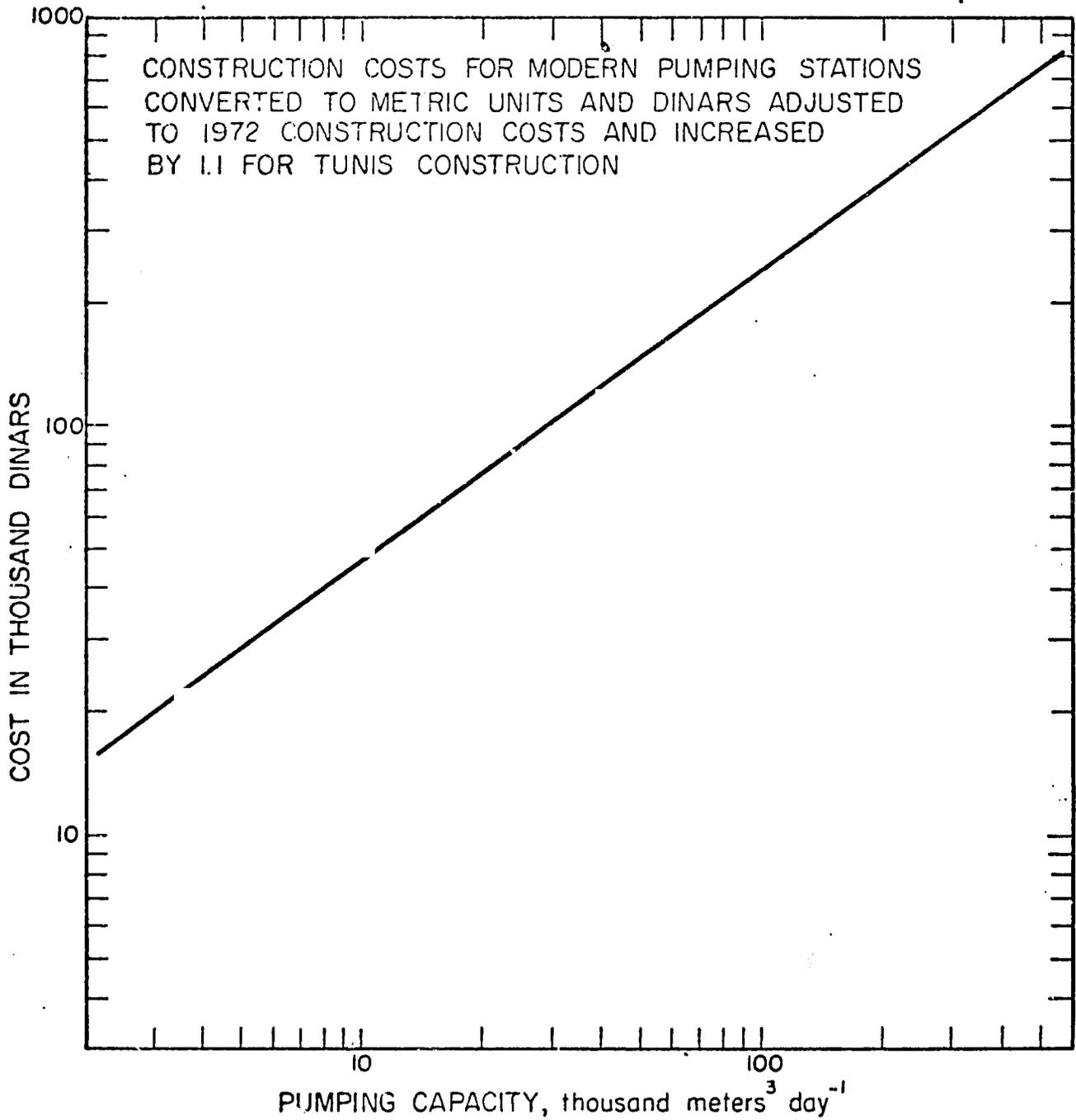


FIGURE 17. Estimation des coûts des stations de pompage, Tunis, 1972.

canalisations et des travaux de terrassement. On supposera ici que l'équipement mécanique devra être changé tous les 15 ans et les canalisations et le terrassement tous les 25 ans. Aussi utilisera-t'on un facteur de 15% pour les systèmes mécaniques et un facteur de 11% pour le terrassement et les canalisations.

On a supposé un coût uniforme de 10 millièmes par kilowatt heure d'énergie électrique et un coût de 150 dinars par mois de personnel. Le chlore est supposé coûter 25 millièmes le kilogramme.

#### Considérations sur les Projets de Station de Traitement

On a évalué dans cette étude le coût des stations de traitement mécanique en se fondant sur leur débit. Les bassins sont eux mieux évalués en se fondant sur leur surface. Celle-ci varie d'ailleurs d'une localité à l'autre, le débit demeurant constant. Aussi a-t-il été nécessaire de faire un projet de bassins pour Tunis. Deux types de systèmes de bassins seraient utilisables à Tunis soient les bassins de désoxydation - puis mise en réserve des eaux, soient des bassins à utilisation facultative d'air. Les premiers comprennent des facilités photosynthétiques appelées "bassins de haute vitesse" comme éléments du système alors que les derniers n'en possèdent pas. Les projets et les évaluations de coût pour chaque type de bassin d'une capacité de 100,000 m<sup>3</sup> sont présentés dans l'annexe 1. Certaines données essentielles

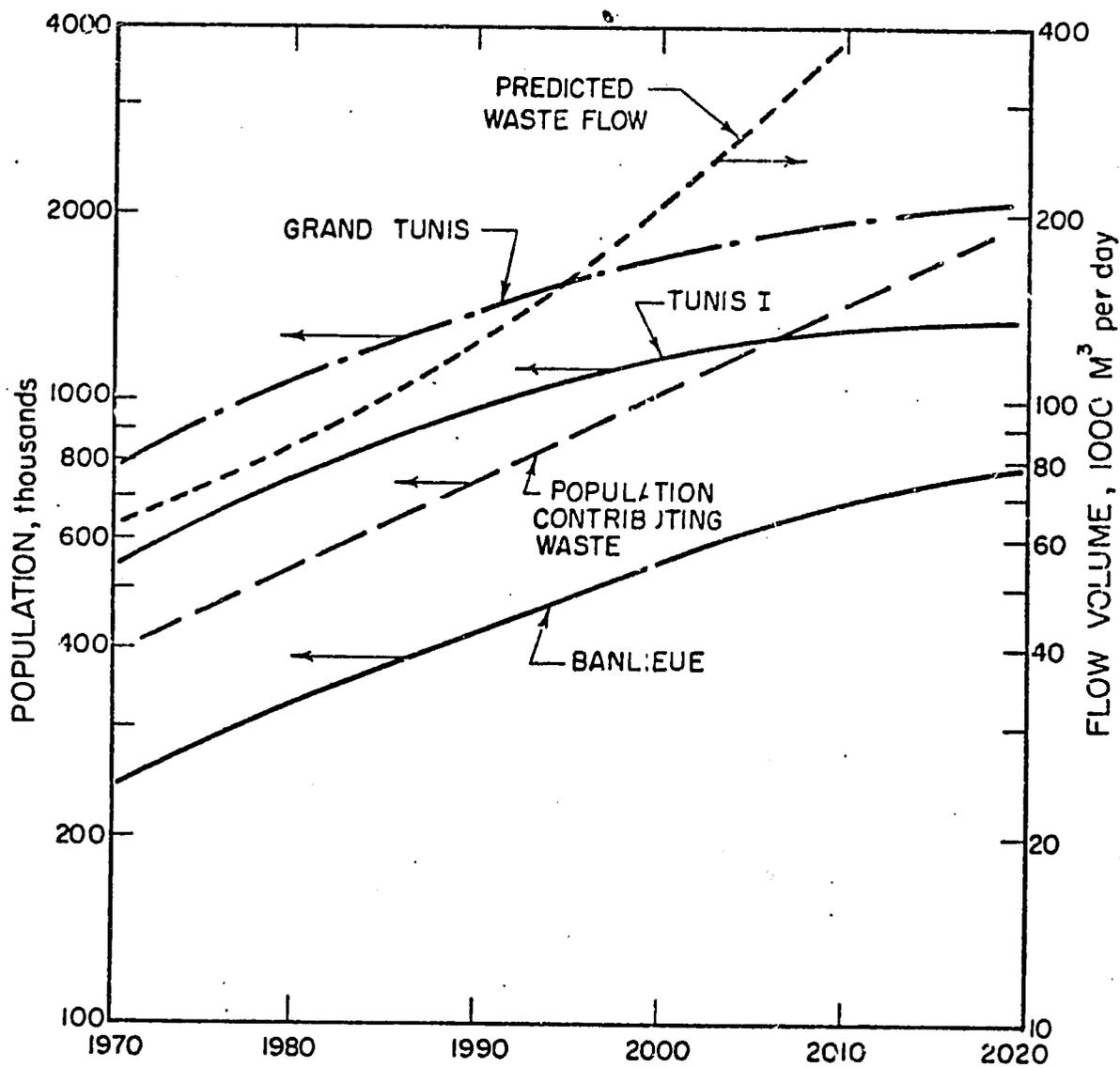


FIGURE 18. Estimation de la population et des débits pour la ville de Tunis et sa banlieue, 1970-2020.

utilisées dans ces projets seront discutées dans la section suivante.

### Population et Débit.

Dans un projet de station de traitement, on se fonde normalement sur les débits et la BOD. Selon le rapport de l'Italconsult de 1970 un débit de 50,000 m<sup>3</sup> par jour a traversé la Cherguia pour une population de 350,000. Le débit par jour et par traitement est donc de 155 litres.

Les données sur la population provenant de rapports de l'HAR sont données en Figure 18. Selon ces données, à peu près la moitié de la population contribue au débit de la Cherguia.

Si la population de 1,216,000 prévue pour 1985 devait contribuer aux eaux domestiques, le débit serait à cette époque de 188,000 m<sup>3</sup> par jour pour le grand Tunis. Toutefois la partie de la population contribuant aux rejets n'étant que la moitié de la population, on ne s'attend qu'à un débit d'un peu plus de 100,000 m<sup>3</sup> pour 1985. Après 1985, une plus grande partie de la population contribuera aux rejets et on s'attend aussi à voir augmenter le débit à eaux usées par habitant. On supposera cependant dans ce rapport un débit fixe de 100,000 m<sup>3</sup> par jour pour effectuer une comparaison des coûts.

### Caractéristiques des Eaux d'égouts.

De récentes études menées par l'HAR ont donné les résultats donnés en Table V. Les expériences ont été faites à l'entrée de la station de la Cherguia.

### DEMANDE EN OXYGÈNE BIOCHIMIQUE DES EAUX USÉES DE TUNIS

Les travaux quantitatifs faits pour déterminer la BOD moyenne pendant les jours de semaine à 20° de l'influent de la Cherguia ont donné pour résultats: 118 mg/l le 3/2/72 et 175 mg/l le 7/2/72. La BOD finale correspondante était probablement de 173 mg/l et 256 mg/l. La BOD finale correspondante par habitant, en supposant un débit de 154 litres par jour et par habitant est de 26.8 gms/jour et 41.3 gms/jour. La moyenne de ces deux valeurs est de 34 gm/jr/hab. Elle correspond bien à la valeur de 30 gms/jr/hab. donnée auparavant par les ingénieurs de Bonifica (3). Elle ne correspond pas cependant aux 75 à 80 gms/jr/hab. auxquels on s'attend habituellement pour l'Europe.

Bien que l'on puisse évoquer des différences culturelles comme une moindre consommation de graisses et moins de rejets à Tunis qu'en Europe ou aux États-Unis, les facteurs de différenciation sont de trois types:

(1) Un taux élevé de sédimentation et de décomposition des matières organiques dans les égouts du fait du climat relativement chaud de Tunis. Les vitesses faibles des eaux d'égouts. (Ceci est mis en évidence par la quantité élevée de H<sub>2</sub>S trouvée dans les égouts.)

(2) La différence qui existe entre les besoins de la population et le nombre de canalisations existantes qui

TABLE V  
ANALYSES DES EAUX USEES DE TUNIS

Lieu de relèvement: Entrée de la station d'épuration  
(Cherguia, déshuileur)

Élément	Concentration	Date de Relèvement	
		2/3/72	2/7/72
Ca	mg/l	144	176
Mg	mg/l	43	43
Na	mg/l	264	230
K	mg/l	50.8	52.8
Ca	me/l	7.20	8.8
Mg	me/l	3.60	3.60
Na	me/l	11.50	10.0
K	me/l	1.30	1.35
Oxygène dissous	mg/l	0.00	0.00
H <sub>2</sub> S	mg/l	4.08	4.08
Chlorures	mg/l	4.90	4.40
	mg/l	13.80	12.39
Sulfates	mg/l	313.12	354.32
	mg/l	6.52	7.38
Résidu Sec Total	mg/l	2,640	2,640
Matériaux Minérales	mg/l	780	800
dans Résidu Sec	%	29.5	32.5
Matériaux Organiques	mg/l	1,860	1,660
dans Résidu Sec	%	70.5	67.5
NH <sub>4</sub> libre	mg/l	40	20
Conductivité		2.45	2.22
BOD <sub>5</sub>	mg/l	118	175
pH		8.50	8.20

tendrait à affaiblir ces égouts.

(3) L'intrusion d'eaux étrangères dans les égouts par infiltration et l'entrée d'eau de mer aux ecluses.

#### BESOINS FUTURS EN OXYGÈNE BIOCHIMIQUE DES ÉGOUTS DE TUNIS

Selon ce plan d'amélioration des égouts de Tunis, on pourrait s'attendre à ce que s'il était réalisé, la vitesse d'écoulement dans les égouts seraient plus grande et qu'une sédimentation et putréfaction moindresse produiraient. Une plus grande fraction de la population contribuerait aux rejets dans les eaux d'égouts et il y aurait moins d'intrusion d'eaux étrangères du sol et d'eau de mer dans les égouts. D'autre part, avec une urbanisation accrue, on devrait s'attendre à ce qu'il y ait plus de déchets. C'est pour ces raisons que l'on devrait s'attendre à une augmentation continuelle de la BOD par hab et à la voir atteindre 50 gm/jour en 1985.

#### Population contribuant et BOD

Une étude de l'HAR qu'indique la Figure 18 prévoit une population contribuant de 650,000 personnes et une décharge totale avec une BOD de 32,500 kg. Aussi supposera que c'est cette quantité qui devra être satisfaite par les systèmes de bassins pour lesquels les calculs ont été effectués dans les années 5 et 6.

#### Débits et Facteurs de Sécurité

Pour éviter de surcharger les différents systèmes, on devrait prévoir pour les heures de pointes et pour les débits

annuels maximaux, des injections, des pompes des stations de pompage et des déversoirs. On peut pour évaluer les variations quotidiennes utiliser la formule de Harmon:

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy}} (1 + 14/4 + p^{0.5})$$

ou P représente la population contributive exprimée en milliers.

On considérera deux populations pour montrer la méthode de calcul, l'une donnant 60,000 m<sup>3</sup> par jour et l'autre 100,000 m<sup>3</sup>.

On supposera que le débit par habitant est de 1.54 l/jour soit 60,000 m<sup>3</sup> par jour. P = 388,000 personnes.

En appliquant la formule de Harmon pour 388,000 personnes on obtient:

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy}} (1 + 14/4 + 388^{0.5})$$

$$\text{d'où } Q_{\max} = 1.54 Q_{\text{moy}}$$

pour 650,000 personnes.

$$Q_{\max} = Q_{\text{moy}} (1 + 14/4 + 650^{0.5})$$

$$Q_{\max} = 1.475 Q_{\text{moy}}$$

Les rapports de l'Italconsult montrent que le débit maximum est atteint en juin et est de 1.24 x débit moyen.

Les corrections correspondantes aux débits maximaux sont pour 60,000 m<sup>3</sup> par jour 1.54 x 1.24 = 1.91 ou 60,000 x 1.91 = 115,000 m<sup>3</sup> par jour soit 1.33 m<sup>3</sup> par seconde. Pour 100,000 m<sup>3</sup> par jour 1.47 x 1.24 = 1.82, ou 100,000 x 1.22 = 182,000 m<sup>3</sup> par jour soit 2.10 m<sup>3</sup> par seconde. Pour tenir compte des discontinuités de pompage et de canalisations, on utilisera dans ce rapport la valeur de 2.5 m<sup>3</sup> par seconde.

On devrait utiliser des facteurs de sureté pour les stations à boues activées, pour celles de filtration au goutte à goutte comme pour les stations de pompage vu qu'elles n'assurent pas un rôle d'effet tampon en volume. Cependant, les ingénieurs projettent habituellement des systèmes de traitements à suffisamment long terme pour que le débit présumé pour la population future couvre le manque de facteur de sureté. Malheureusement lorsqu'on agit ainsi et que le volume moyen atteint le volume du projet, la station est surchargée et ne remplit pas ses fonctions une bonne partie du temps.

On devrait donc prévoir pour les stations à boues activées et à filtration au goutte à goutte un facteur de sureté de 50% afin qu'elles fonctionnent convenablement au débit prévu. C'est seulement dans ces conditions qu'elle fournirait un traitement sur, lors des pointes. Par exemple, pour traiter avec sécurité un volume moyen de 100,000 m<sup>3</sup> par jour, une station de traitement à boues activées devrait être prévue pour traiter 150,000 m<sup>3</sup> par jour.

D'un autre côté, les bassins, bien conçus, ne nécessiteraient pas un facteur de sureté si élevé. Vu leur énorme capacité, il suffit de les prévoir pour le débit présumé.

Bien qu'utiliser un facteur de sureté pour les systèmes de traitements mécaniques aurait été nécessaire, on ne l'a pas fait ici. On n'a donc pas considéré le rendement. Les coûts des bassins et des systèmes à boues activées sont comparés strictement en se basant sur un même volume.

## CHOIX D'ALTERNATIVES POUR EFFECTUER UNE ÉVALUATION

Vu le peu de temps et le peu d'espace disponible pour ce rapport, on n'a pu évaluer toutes les combinaisons possibles de rassemblement, traitement et éliminations mentionnées précédemment selon les critères cités. Les évaluations précises se limiteront au cas de quatre alternatives de traitement pour des débits de 100,000 m<sup>3</sup> par jour.

### Traitement mécanique à Boues activées 1A

Traitement de 100,000 m<sup>3</sup> par jour à la station de la Cherguia par boues activées et chlorination, puis pompage et transport des eaux javellisées jusqu'à un réservoir situé aux environs de Djofar (cf. Fig. 1). On mettrait en jeu une station à boues activées de 100,000 m<sup>3</sup> et une station de pompage de 100,000 m<sup>3</sup> et un système de canalisation de 5.5 kms.

### Traitement mécanique avec filtration au goutte à goutte 1B

Identique au précédent traitement en substituant le traitement des 100,000 m<sup>3</sup> par filtration au goutte à goutte.

### Bassins de Désoxydation - Récupération située dans les Sebkhets 2A

Transport de 100,000 m<sup>3</sup> par jour d'eaux brutes jusqu'au voisinage de la Cherguia jusqu'à un système complet de bassins de désoxydation et de mise en réserve situé dans le Sebket Er-Riana. Traitement des eaux usées dans les bassins et transport des eaux traitées jusqu'à un réservoir près de Djafar.

On utiliserait une station de pompage de  $2.5 \text{ m}^3$  par seconde et un système de canalisations de 7.5 kms. jusqu'à Er-Riana et un système de bassins à Er-Riana d'une capacité de  $100,000 \text{ m}^3$ , une station de pompage de  $100,000 \text{ m}^3$  et un système de canalisations de 3,000 m jusqu'à Djafar.

#### Bassins "facultatifs" d'Eaux brutes dans les Sebkhets 2B

Même chose que pour les bassins de désoxydation et de mise en réserve excepté une utilisation de bassins "facultatifs."

#### Traitement primaire et bassin de désoxydation et de mise en réserve près de Djafar 3A

Transport de  $100,000 \text{ m}^3$  d'eaux usées brutes désablées et deshuilées du voisinage de la Cherguia au voisinage de Djafar afin de les traiter intensivement par bassin dans la zone du réservoir. Dans ce cas, on ne possède pas de profils du trajet de la Cherguia à Djafar. Aussi a-t'on supposé un relèvement d'une hauteur de 10 m. Pour éviter tout problème de substances flottantes dans le réservoir, on transformerait la Cherguia en un système de  $100,000 \text{ m}^3$  pour éliminer les substances flottantes par l'incinération à haute température. Les cendres comme le sable bien lavées pourraient être utilisées pour améliorer les terrains situés au bord du lac dans le voisinage de la Cherguia. On utiliserait une station primaire de  $100,000 \text{ m}^3$  par jour à la Cherguia, une station de pompage 5.5 kms. de canalisations jusqu'à Djafar, et un bassin à Djafar.

### Traitement primaire et Bassins "facultatifs" dans le Voisinage de Djafar

Même chose que pour le traitement primaire et par bassin de désoxydation et de mise en réserve excepté une utilisation d'un bassin "facultatif" près de Djafar.

### Traitement primaire suivi d'un Rejet en haute mer

Suppression et incinération à haute température des substances flottantes de 100,000 m<sup>3</sup> de la Cherguia suivies de la chlorination des eaux brutes. Puis transport de ces eaux qui seraient injectées en haute mer près de la Marsa. On utiliserait une station de traitement primaire de 100,000 m<sup>3</sup> à la Cherguia, une station de pompage, 13 kms. d'égouts de décharge par voie de terre et 8 kms. dans la mer.

### ÉVALUATION DES DIFFÉRENTS PROJETS

Les différents projets comportent des parties composantes en commun. On les a listées en Table VI et on a indiqué dans quel projet elles étaient utilisées. On a calculé dans les années le coût de chaque partie composante en terme de coût d'investissement, de remboursement du capital, des intérêts et des coûts opératoires et de maintien. Le nombre placé devant la partie composante de la Table VI indique le numéro de l'annexe où le projet et les calculs pourront être trouvés.

#### Coûts

On a classé en Table VII les coûts primaires, annuels et unitaires pour chaque projet étudié.

TABLE VI  
LISTES DES PARTIES COMPOSANTES ET DES  
 ALTERNATIVES DANS LESQUELLES ELLES SONT UTILISÉES

No.		Alternative
1	Station à boues activées de 100,000 m <sup>3</sup> par jour et chloruration	1A
2	Filtration goutte à goutte 100,000 m <sup>3</sup> /jour et chloruration	1B
3	Station de pompage de 150,000 m <sup>3</sup> /jour et écoulement forcé sur 7.4 kms. de la Cherguia à Er Riana	2A-2B
4	Station de pompage de 150,000 m <sup>3</sup> /jour et écoulement forcé sur 5.5 kms. de la Cherguia au voisinage de Djafar	3A,3B
5	Bassin de désoxydation - récupération de 100,000 m <sup>3</sup> par jour	2A,3A
6	Bassin "facultatif" de 100,000 m <sup>3</sup> par jour	2B,3B
7	Station de pompage de 80,000 m <sup>3</sup> par jour et écoulement forcé sur 4.0 kms. de Er-Riana au voisinage de Djafar	2A,2B
8	Station primaire de 100,000 m <sup>3</sup> /jour	3A,3B
9	Station de pompage de 100,000 m <sup>3</sup> /jour, 10 kms. d'écoulement forcé, puis 3 kms. par gravité; déversement dans la mer	

TABLE VII  
CLASSIFICATION DES DIFFÉRENTS COÛTS

ALTERNATIVE ET ELEMENTS	COÛTS		
	Premier coût 1000 Dinar	Coût annuel 1000 Dinar	Coût unitaire en milliemes
1A Boues activées <sub>3</sub> et chloruration de 100,000 m <sup>3</sup> Transport jusqu'à Djafar	6,120 <u>960</u>	1,113 <u>165</u>	30.5 <u>4.5</u>
TOTALS	7,080	1,278	35.0
1B Filtration au goutte à goutte <sub>3</sub> et chloruration de 100,000 m <sup>3</sup> Transport jusqu'à Djafar	6,000 <u>960</u>	1,072 <u>165</u>	29.0 <u>4.5</u>
TOTALS	6,960	1,237	33.5
2A Pompage et transport de 100,000 m <sup>3</sup> jusqu'à Er Riana Bassin de désoxydation-récupération de 100,000 m <sup>3</sup> Pompage et transport jusqu'à Djafar de 100,000 m <sup>3</sup>	1,135 2,147 <u>497</u>	193 381 <u>99</u>	5.3 10.5 <u>2.7</u>
TOTALS	3,779	673	13.5
2B Pompage et transport jusqu'à Er Riana de 100,000 m <sup>3</sup> Bassin facultatif de 100,000 m <sup>3</sup> Pompage et transport jusqu'à Djafar de 100,000 m <sup>3</sup>	1,135 1,735 <u>497</u>	193 273 <u>99</u>	5.3 7.5 <u>2.7</u>
TOTALS	3,367	565	15.5
3A Traitement primaire et chloruration de 100,000 m <sup>3</sup> Transport de 100,000 m <sup>3</sup> jusqu'à Djafar Bassin de désoxydation-récupération de Djafar	3,240 960 <u>2,147</u>	631 165 <u>381</u>	17.3 4.5 <u>10.5</u>
TOTALS	6,347	1,177	32.3
3B Traitement primaire et chloruration de 100,000 m <sup>3</sup> Transport jusqu'à Djafar de 100,000 m <sup>3</sup> Bassin facultatif à Djafar	3,240 960 <u>1,735</u>	631 165 <u>273</u>	17.3 4.5 <u>7.5</u>
TOTALS	5,935	1,069	29.3
4 Traitement primaire et chloruration de 100,000 m <sup>3</sup> 100,000 m <sup>3</sup> décharger par voie de terre et rejet à la mer	3,240 <u>4,514</u>	631 <u>530</u>	17.3 <u>14.5</u>
TOTALS	7,764	1,161	31.8

Selon ces données, le projet le plus économique selon les coûts primaires et annuels est un traitement "facultatif" par bassin dans le Er-Riana. Après le plus économique serait un bassin de désoxydation et mise en réserve dans le Er-Riana.

Le projet le plus coûteux est le traitement par boues activées suivi du transport jusqu'à Djafar. Il coûte deux fois plus qu'un traitement "facultatif" par bassin en dépit du fait que ce traitement suppose le transport des eaux usées brutes de la Cherguia à Er-Riana et de Er-Riana à Djafar.

À moins d'attribuer une valeur à l'eau récupérée, rejeter l'eau ayant subi un traitement primaire et une chloruration est plus économique qu'un traitement par boues activées suivi du pompage des eaux pour leur mise en réserve ou par filtration au goutte à goutte suivi de leur mise en réserve ou qu'un traitement primaire par bassin suivi d'une chloruration.

Si l'on suppose un traitement par boues activées et si l'on donne une valeur de 5 millièmes par  $m^3$  à l'eau, il serait nécessaire de récupérer plus de 65% des eaux traitées pour la réutilisation des eaux soit plus avantageuse que le rejet à la mer.

### Efficacité

On a affecté des nombres d'efficacité en Table VIII pour les 11 critères d'efficacité afin de juger les différents projets

vis à vis de ces critères. Bien que subjectifs, ces nombres reflètent très nettement le raisonnement donné auparavant dans la comparaison des traitements mécaniques et la mise en réserve dans des bassins.

#### Rapport des Coûts d'efficacité

Les rapports de coût montrent que le projet le plus efficace est l'indigement des eaux brutes dans le Er-Riana et le moins efficace le rejet en haute mer.

#### Temps entre la décision et la mise en application

En Table VIII on trouvera pour les différents projets une estimation du temps entre la décision et la mise en application dénoté par (DA). La DA la plus faible est celle des systèmes de bassins qui peuvent être construits en matières premières locales.

Les traitements par boues activées et par filtration au goutte à goutte demandent tous deux des pièces préfabriquées et c'est pourquoi on leur a donné une DA de quatre ans. Les bassins de désoxydation et de mise en réserve demanderaient des pompes spéciales ce qui pourrait retarder la construction.

Aussi leur a-t'on attribué une DA de trois années et a-t'on attribué aux bassins facultatifs une DA de 2.5 ans. Le rejet en haute mer pourrait rencontrer des difficultés de construction et être retardé par des conditions climatiques. Aussi la DA pourrait-elle atteindre cinq ans.

TABLE VIII

EFFICACITÉ, CÔUT, RAPPORT DE CÔUTS D'EFFICACITÉ  
TEMPS ENTRE LA DECISION ET L'APPLICATION DE DIFFERENTS PROJETS

CRITERES	ALTERNATIVES						
	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4
<b>Efficacité</b>							
<b>Possibilité</b>							
Technique	10	10	10	10	10	10	10
Flexibilité	5	5	8	8	6	6	1
Sureté	5	5	9	9	9	9	9
<b>Impact humain</b>							
Santé	5	5	8	7	8	7	9
Hygiène	3	3	9	8	9	8	9
Esthétique	5	5	8	8	7	7	9
Occupation	10	10	8	8	8	8	5
<b>Impact sur l'environnement</b>							
<b>Conservation</b>							
Faune	8	8	8	8	8	8	2
Eau	10	10	8	8	8	8	0
Energie	0	0	7	7	5	5	3
Substances Nutritives	7	7	5	5	5	5	1
<b>Facteur d'efficacité</b>	68	68	88	86	84	82	58
<b>Coût</b>							
Coût total primaire en milliers de dinars	7,080	6,960	3,779	3,367	6,347	5,937	7,764
Coût annuel en milliers de dinars	1,278	1,237	673	565	1,177	1,069	1,161
Coût par m <sup>3</sup>	35.0	33.5	18.4	15.5	32.3	29.3	31.8
<b>Rapport des couts d'efficacité</b>	1.94	2.03	4.78	5.55	2.60	2.80	1.83
<b>Temps entre la decision et l'application en années</b>	4	4	3	2.5	3	2.5	5

### Récupération de l'eau

Tous les projets utilisant la terre permettraient une récupération des eaux mais le traitement par bassin serait la méthode la plus sûre. D'un autre côté, la valeur attribuée à l'eau récupérée dépend de la fraction d'eau récupérée. Dans le cas de bassins, la quantité d'eau récupérable est une fonction de l'évaporation nette dans les bassins.

Selon les données fournies par l'HAR (6), les pertes maximales d'eau dans les bassins se produiraient en juillet. À cette époque le taux d'application des eaux usées aux bassins de désoxydation et de mise en réserve serait de 1.3 mètres par mois.

Les pertes par évaporation seraient de 9.25 m. par mois. Les pertes maximales par évaporation seraient de 19.2%. À cette époque l'eau se changerait aussi en solides 1,000 mg/l. à 1,200 mg/l. À d'autres époques, elle se changerait moins et serait donc utilisable toute l'année pour l'irrigation. En tenant compte des pertes par infiltration, la quantité d'eau récupérée par jour serait de 80,000 m<sup>3</sup> par jour pour un débit de 100,000 m<sup>3</sup>.

Dans le cas de bassins "facultatifs", on appliquerait un mètre d'eau par mois et les pertes maximales seraient de 0.25 m<sup>3</sup> par mois. À cette époque, la concentration en solides de l'eau deviendrait de 1,250 mg/l. et la quantité d'eau récupérée serait de 75,000 m<sup>3</sup> par jour.

En attribuant une valeur de 5 millièmes par m<sup>3</sup> à l'eau récupérée et en supposant différents pourcentages de récupération, on obtient les coûts nets des différents projets. Ils sont indiqués sur la Table IX.

#### Le Meilleur Système

Selon la Table IX, le système le plus efficace et le moins coûteux serait le transport des eaux brutes de la Cherguia à Er-Riana, leur traitement "facultatif" par bassin à Er-Riana et le transport des eaux traitées jusqu'au réservoir de Djafar où elles seraient soit mises en réserve soit utilisées directement.

Si l'on pouvait faire un traitement facultatif des eaux brutes à Djafar, cela serait une alternative moins coûteuse. Le coût serait de 12 millièmes sans compter la récupération des eaux et de 8 millièmes avec récupération. Si on attribuait une valeur au réservoir de Djafar, les coûts décroîtraient encore. Cependant, on devrait effectuer des études supplémentaires afin de rendre ce projet réalisable.

Avant de prendre une décision finale concernant le traitement des eaux usées, leur élimination ou leur récupération, on devrait effectuer des études e'ensemble de chacune des alternatives citées en Tables III et IV.

### MESURES D'INTERIM

Deux ans minimum et peut-être cinq ans seront donc nécessaires avant que les modifications nécessaires soient faites et qu'une solution permanente au problème des odeurs du lac de Tunis soit utilisée. Les pertes économiques supplémentaires dues à la décharge d'eaux usées dans le lac pourraient être de l'ordre de 2,000,000 dinars dans les quatre ou cinq années qui viennent. C'est pourquoi il semble important de prendre des mesures d'urgence pour diminuer rapidement les odeurs et les autres problèmes.

On pense qu'il serait possible de prendre des mesures efficaces pour réduire considérablement les odeurs et la mort des poissons dans le lac de Tunis du fait de la décharge des eaux brutes. La suppression de cette décharge n'éliminerait pas les odeurs dues à la décomposition des algues mais celle-ci n'est pas aussi désagréable et aussi rapide que la putréfaction des eaux d'égouts et elle ne se produirait probablement qu'à la fin de l'automne après la saison touristique. Aussi pense-t-on que l'élimination des odeurs et du manque d'oxygène serait déjà un grand progrès et qu'il améliorerait l'industrie touristique et la survie des poissons.

Deux méthodes paraissent réalisables. On pourrait oxyder complètement les eaux d'égouts s'écoulant dans le lac dans un bassin d'oxydation provisoire par utilisation d'aérateurs flottants de surface. On pourrait aussi construire une station

TABLE IX

INFLUENCE DE LA RECUPERATION SUR LES COUTS\* UNITAIRES NERS POUR LES  
DIFFERENTS SYSTEMES DE TRAITEMENT

Alternative	Pourcentage de recuperation					Rapport Max des côuts d'efficacite.
	Nul	25%	50%	75%	100%	
1A Boues activees-Mise en Reserve à Djafar	35.0	33.7	32.5	31.2	30.0	68/30 + 2.26
1B Filtration goutte à goutte Reserve à Djafar	33.9	32.6	31.4	30.1	28.9	68/28.9 + 2.35
2A Bassin de desoxydation-recuperation à Er-Riana et mise en reserve à Djafar	18.4	17.1	15.9	14.6	----	88/14.6 = 6.00
2B Bassin "Facultatif" a Er Riana Mise. en Reserve à Djafar	15.5	14.2	13.0	11.7	----	86/11.7 = 7.36
3A Traitement primaire par bassin de desoxydation-récuperation-Mise en reserve a Djafar	32.3	31.0	29.8	28.5	----	84/28.5 + 2.94
3B Traitement primaire par bassin facultatif et mise en reserve a Djafar	29.3	28.0	26.8	25.5	----	82/25.5 + 3.22
4 Traitement primaire et rejet á la mer à la marsa	31.8	----	----	----	----	58/31.8 + 1.83

\*en Millièmes par m<sup>3</sup>.

de pompage de la Cherguia Er-Riana et conduire par injection forcée les eaux à Er-Riana où un bassin provisoire serait construit.

#### Oxydation des Eaux par des Aérateurs flottants de Surface

On a présenté dans l'annexe 10 une évaluation du coût d'un système temporaire d'aération. Selon cette analyse, pour 100,000 dinars on pourrait aérer complètement les eaux d'égouts avant qu'elles ne s'écoulent dans le lac de Tunis et les odeurs décroîtraient sensiblement.

Ceci ne pourrait être une solution permanente pour les raisons suivantes:

1. Les boues s'accumuleraient dans le système en peu d'années et entraîneraient son échec.
2. Les substances nutritives oxydées des eaux d'égouts continueraient à se déverser dans le lac entraînant une croissance d'algues excessive.
3. On ne récupérerait pas d'eau potable des eaux usées. Donc, l'objectif de récupérer les eaux ne serait pas réalisé.

#### Bassin de Secours

L'installation d'un bassin provisoire dans le Er-Riana demanderait un investissement important pour la construction d'une station de pompage et d'injection forcée. Toutefois ces parties composantes pourraient dans la deuxième alternative devenir partie du futur système permanent et ainsi on n'aurait pas besoin de les éliminer. On a présenté dans l'annexe 1 un projet et une évaluation des coûts pour un bassin temporaire

susceptible de traiter jusqu'à 60,000 m<sup>3</sup> par jour d'eaux usées sans nuisance. Dans cette alternative, on devrait ajouter un capital de 360,000 dinars et un coût d'investissement annuel de 59,000 dinars. Ce bassin temporaire pourrait être utilisé dans l'alternative (2) pour recevoir l'eau salée dans les égouts pendant les orages.

Ce système est légèrement moins coûteux et paraît donc réutilisable dans le futur. Toutefois on ne pourrait le mettre en place aussi rapidement qu'un système d'aérateurs. L'un ou l'autre système est de toute façon préférable aux odeurs et aux pertes économiques.

### DISCUSSION

Bien que les estimations faites dans la Table VII montrent que le coût du traitement par bassins serait de moitié celui d'un traitement par boues activées, le facteur coût n'est pas le seul à considérer. L'effluent des bassins est beaucoup plus hygiénique et plus sûr que celui des boues activées. Les bassins permettent aussi la mise en réserve des eaux. Les terrains qu'ils occuperaient demeureraient libres et la beauté des environs s'en trouverait donc rehaussée.

Si des études détaillées montrent que les Sebkhetts peuvent être effectivement utilisés pour traiter et mettre en réserve les eaux usées, on peut s'attendre à pouvoir utiliser l'excès d'eau pour lessiver les sels dans les parties des Sebkhetts situées au dessous des bassins et à pouvoir ainsi utiliser ces sels pour l'agriculture. Cependant discuter les avantages de choisir un projet d'utilisation des eaux usées pour amender la terre dépasse l'objet de ce rapport.

Il est important de souligner que tous les projets considérés ici suppose l'élimination totale de toute décharge dans le lac de Tunis et permettra donc de retransformer le lac de Tunis en un lac magnifique et non pollué.

Comme on a souligné, le fait que les bassins amélioreraient la qualité bactérienne des eaux, on devrait donc estimer la qualité finale des eaux. Les propriétés bactériennes des eaux

seront probablement les suivantes: on s'attend à ce que le nombre de bactéries du coliforme pour 100 m<sup>e</sup> (MPN) soit de 5,000 maximum pendant l'hiver. En printemps cette quantité décroîtrait jusqu'à 1,000. En été elle devrait être de 10 et en automne de 20. L'eau ne devrait contenir que de faibles quantités de BOD et d'algues. Elle serait aussi peu riche en virus.

### ÉTUDES FUTURES

Il serait important de souligner dans cette conclusion que bien que les bassins semblent être pleins de promesse pour Tunis, on ne possède pas d'expérience sur l'effet de cette méthode à Tunis. Aussi avant de prendre une décision irréversible sur le traitement des eaux usées, devrait-on construire un système complet à petite échelle dans une des petites villes de Tunis, si possible près de Tunis. On devrait utiliser toutes les informations connues. On devrait construire le système selon des données bien précisées et l'étudier pendant près d'un an. Cela permettrait l'apparition de facteurs imprévus. Bien que l'auteur ait une très bonne expérience des bassins et pense qu'ils devraient s'étendre avec succès au cas de Tunis, il n'a pas d'expérience quant à la mise en réserve d'eaux riches en sulfate. Les eaux usées de Tunis contiennent plus de 350 mg. par litre de sulfate qui s'il était réduit, fournirait d'énormes quantités de H<sub>2</sub>S.

(Comme on a pu faire l'expérience au lac de Tunis.) Dans la station de traitement "test", on devrait prévoir une croissance d'algues, une production d'oxygène et une fermentation alcaline afin de prévenir la formation et l'émission de  $H_2S$ .

Bien que l'on puisse prévoir chimiquement que  $H_2S$  ne serait pas libéré, une mauvaise prédiction pour une petite ville serait de loin préférable à la production de  $H_2S$  sur 300 hectares. C'est pourquoi on recommande la construction d'un système à petite échelle.

On pourrait suggérer aussi l'utilisation d'un système pilote qui ne testerait qu'une faible fraction des eaux usées mais l'expérience a prouvé que c'était une mauvaise méthode. Il est très difficile de maintenir des valeurs stables pour de faibles quantités d'eaux d'égouts; aussi la plupart des études pilotes se sont-elles terminées dans le chaos, ou en désastre amenant le gaspillage de fonds publiques. En conséquence, une station complète pour une petite ville est de loin préférable pour une étude détaillée.

On pourrait mener en même temps une étude détaillée sur l'utilisation des Sebkhetts comme sites de bassins. Pour déterminer leurs propriétés physiques et chimiques, on devrait faire des études hydrologiques, géologiques, et des études de terrains. Si on ne les trouvait pas utilisables comme bassins, on pourrait utiliser d'autres zones comme le réservoir près de Djéfar et les terrains situés près de l'aéroport qui fourniraient des sites excellents pour des bassins.

## REFERENCES

1. Ingenieurs Conseils Neerlandais ICN, Lac De Tunis Nord Assainissement Republique Tunisienne, Sous Secretariat D'Etat a L'Agriculture (1966).
2. Rudis; Association Miniere et Industrielle, Trbovlje, Jugoslavia, Lac De Tunis Nord Assainissement and Lac De Tunis Sud Assainissement. Report to Republique Tunisienne, Sous Secretariat D'Etat a L'Agriculture (1966) (1967).
3. Bonifica, Rome, Assainissement Des Lacs De Tunis, Papport de Rentabilite, Republique Tunisienne, Secretariat D'Etat au Plan et a L'Economie Nationale, Sous Secretariat D'Etat a L'Agriculture (1969).
4. Assignment Due Lac De Tunis, Definition De La Solution Deformitive Premier Franch Des Travous, Ministere De L'Agriculture Direction Hydraulique et De L'Amenagement Rural (1971).
5. Italconsult, "Northern Tunisia Water Master Plan Study," Appendix D-- Other Water Sources, Report to the International Bank for Reconstruction and Development, Government of the Republic of Tunis, Rome, 1970.
6. L'Hydraulique et De L'Amenagement Rural, Basin De Stabilisation Des Eaux Usees De La Ville De Tunis, Preliminary Report, Tunis (1972).
7. Plummer, A. W., Agricultural Engineering Adviser, U.S.A.I.D., Tunis, Personal communication (1972).
8. Environmental Protection Agency, U.S.A. Office of Research and Monitoring, Advanced Waste Treatment Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, 1972.
9. United States Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, U.S.A., 1972.
10. Smith, Robert, Cost of Conventional and Advanced Treatment of Wastewaters, Environmental Protection Agency, Advanced Waste Treatment, Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, 1968.
11. American Society of Civil Engineers, Relative Costs Around the World, Civil Engineering, Oct. 1971.
12. Harmon, W. G., Engineering News Record, 80, 1233, 1918.

ANNEXE :

CÔÛTS DES BOUES ACTIVÉES ET DE LA CHLORURATION

Table AI-1

Coût d'une Station à Boues activées de 100,000 m<sup>3</sup>

Capital - Figure 12, sans surplus. . . . .	5,000,000 D
Ingénieurs et Imprévus (20%). . . . .	<u>1,000,000 D</u>
Total . . . . .	6,000,000 D

Coût annuel:

Capital (15%) par an . . . . .	900,000 D
Energie électrique - 750,000 kw hrs/an et 10m/kw hr . . . . .	75,000 D
Main d'oeuvre - 12 @ 150 x 12 . . . . .	21,000 D
Frais divers . . . . .	<u>50,000 D</u>
	1,046,000 D

Coût quotidien . . . . .	2,860 D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	28.6 D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	28.6 m
Coût de la chloruration . . . . .	<u>1.8 m</u>
	30.4 m

Coût d'une Station à Boues activées de 30,000 m<sup>3</sup> par Jour

Capital. . . . .	2,000,000 D
Ingénieurs et Imprévus (20%) . . . . .	<u>400,000 D</u>
Total . . . . .	2,400,000 D

Coût annuel:

Capital (15%) par an . . . . .	360,000 D
Energie électrique - 2,190,000 kw hrs @ 10 m. Main d'oeuvre - 6 @ 150 x 12 . . . . .	22,000 D
Frais divers . . . . .	10,800 D
	<u>25,000 D</u>
	418,000 D

Coût quotidien . . . . .	1,150 D/jour
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	38.2 D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	38.2 m
Coût de chloruration . . . . .	<u>1.8 m</u>
Coût total du Traitement par Boues activées et de la Chloruration . . . . .	40.0 m

(A-1-2)

Table AI-2

COÛT DE LA CHLORURATION DE L'EFFLUENT  
DES BOUES ACTIVEES OU DE LA FILTRATION  
AU GOUTTE A GOUTTE

Capitol (Figure 14) . . . . .	100,000 D
Ingénieurs et Imprévis @ 20% . . . . .	<u>20,000 D</u>
Total . . . . .	120,000 D
Coût fixe - 15% par an de 120,000 D . . . . .	18,000 D
Chlore - 365,00 kg. a 120 milliemes . . . . .	45,000 D
Main d'oeuvre . . . . .	2,000 D
Frais divers . . . . .	<u>2,000 D</u>
Coût total annuel . . . . .	67,000 D
Coût quotidien . . . . .	183 D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	1.83 D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	1,83 m

Table AI-3

COÛT DE LA CHLORURATION DE L'EFFLUENT  
PRIMAIRE 100,000 m<sup>3</sup>/JOUR

Les seules différences de coût seraient une plus grande utilisation de chlore 20mg/l. au lieu de 10 mg/l. et de main d'oeuvre. On aurait:

Coût fixe . . . . .	18,000 D
Chlore . . . . .	90,000 D
Main d'oeuvre et frais divers . . . . .	<u>4,000 D</u>
Coût total annuel . . . . .	112,000 D
Coût quotidien . . . . .	308 D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	3.08 D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	3.08 m

## ANNEXE 2

COÛT DE LA FILTRATION AU GOUTTE À GOUTTE  
ET DE LA CHLORURATION

Table A2-1

Coût d'une Station de Filtration de  
100,000 m<sup>3</sup> par Jour

Capital (Figure 13) . . . . .	4,900,000 D	
Ingénieurs et Imprévus @ 20% . . . . .	<u>980,000 D</u>	
Total . . . . .	5,880,000 D	
 Coût annuel:		
Capitol - 15% par an . . . . .	884,000 D	
Energie électrique - 5,000,000 kw. heures et 10 m/kw. hr. . . . .	50,000 D	
Main d'oeuvre 12 @ 150 x 12 . . . . .	21,000 D	
Imprévu . . . . .	<u>40,000 D</u>	
Total	1,005,000 D	
Coût quotidien. . . . .	2,720	D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	27.20	D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	27.20	m
Chloruration d'après l'Annexe 1 . . . . .	<u>1.8</u>	m
	29 0	m

ANNEXE 3TRANSPORT DES EAUX DE LA CHERGUIA  
AU SEBKHET ER RIANA - COÛTS

Transporter les eaux du voisinage de la Cherguia au Sebkhet Er Riana représente une alternative raisonnable, les terrains des Sebkhets étant plats et pouvant être utilisés comme bassins gratuitement. La différence de hauteur entre ces deux points est à peu près de 5 mètres.

On a montré sur la Figure A3-1 le profil des terrains situés entre la Cherguia et Er Riana. La distance totale, en tenant compte d'une tuyau d'alimentation de 600 m. est de 7,400 m. On a conduit une étude pour comparer les coûts de transport par canalisations à pression et pesanteur et canalisations à pression de différentes dimensions. L'écoulement par gravité serait peu économique si on utilisait des bassins, car il supposerait l'utilisation de deux stations de pompage, l'une pour élever les eaux de la Cherguia au sommet et l'autre du bord du lac aux bassins. La pente d'autre part n'est que de 0.001. La canalisation nécessaire a un écoulement de  $2\text{m}^3/\text{sec}$  devrait être de 1,600 mm minimum.

On a rejeté l'idée d'une canalisation à ciel ouvert partant du lit du lac, car cette méthode supposerait l'utilisation de deux stations de pompage et que l'on clôture et fasse garder la canalisation afin d'éviter que toute utilisation d'eaux brutes avant son traitement.

On n'a donc qu'un choix possible: transporter les eaux brutes par canalisations sous pression. On devrait en déterminer la dimension optimale.

(A-3-2)

La hauteur minimale des eaux de la Cherguia serait de 0 mètres et la hauteur maximale de 4 mètres. D'où une différence de hauteur de 4 mètres.

La capacité de pompage, bien que faible au début, devrait atteindre 182,000 m<sup>3</sup> par jour. En tenant compte de variations prévues de volume, Q max devrait être de 2.1 mètres par seconde mais pour tenir compte des imprévus, on devrait la prévoir pour 2.5 m<sup>3</sup> par seconde. Aussi la canalisation pourrait parer à d'éventuelles augmentations de volume à peu de frais.

Bien qu'il soit plus économique de couler les canalisations sur place, on a supposé que l'on utiliserait des canalisations standard coulées d'avance. Les dimensions qui paraissent possibles sont 800 mm, 1,000 mm, 1,200 mm, 1,400 mm, 1,600 mm. On a effectué pour chaque dimension un calcul des coûts des stations de pompage, de transport et d'énergie. Ils sont indiqués sur la Figure A3-1. La courbe d'optimisation correspondante est donnée sur la Figure A3-1.

Cette courbe possède un minimum évident pour la dimension de 1,400 mm, mais les différences avec les dimensions de 1,200, 1,400, 1,600 mm sont peu sensibles. La dimension 1,600 utiliserait la quantité minimale d'énergie électrique et celle de 1,200 mm aurait le coût initial le moins élevé. La taille 1,400 minimise la somme des deux.

Table A3-1

## Transport de la Cherguia à Er Riana: Calculs de coût pour un système sous-pression

ELEMENT	DIMENSION DES CANALISATIONS mm				
	800	1000	1200	1400	1600
Q m <sup>3</sup> /sec	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Surface m <sup>2</sup>	0.5	0.756	1.13	1.54	2.05
Vitesse en mm/sec	5.0	3.18	2.22	1.63	1.22
V <sup>2</sup> /2 g	1.28	0.51	0.25	0.135	0.076
l/d	9,300	7,400	6,170	5,280	4,630
*	0.016	0.015	0.015	0.014	0.013
h m	190	56.5	23.4	10.0	4.6
Total de l'énergie thermique	194	60.5	27.4	14.0	8.6
Q h/550 e (U.S. hp)	7,970	2,480	1,130	575	352
kw	5,950	1,850	845	430	262
Temps hrs/jour	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
kw hrs/jour	65,500	20,700	9,470	4,820	2,930
Dinar/jour	240,000	99,000	34,600	17,600	10,700
Coût unitaire des canalisations, Dinar/m	31	43	58	75	93
Dinar/7,400 m	230,000	318,000	429,000	555,000	685,000
Eng. et imprévus 20%	46,000	68,000	86,000	111,000	137,000
Coût total canal	276,000	386,000	515,000	666,000	823,000
Coût annuel canal, 11% du capital	30,500	42,600	56,700	73,000	91,000
Main d'oeuvr et frais divers	45,000	40,000	36,000	32,000	28,000
Station de pompage dette et interet en din/an.	**86,000	81,000	76,000	71,000	66,000
Total coût annuel, dinar	401,000	262,000	203,000	193,000	195,000
Coût quotidien en dinar	1,100	72.0	555	528	534
Coût en dinar/1000 m <sup>3</sup>	11	7.2	5.55	5.28	5.34

\* Facteur de friction d'après: Davis, V. D., Handbook of Applied Hydraulics, p. 7

\*\* On a supposé que l'énergie thermique plus faible utilise dans des canalisations plus larges feront densitre le coût des stations de pompage de l'ordre de 2500 dinars par an pour un accroissement de 100 mm.

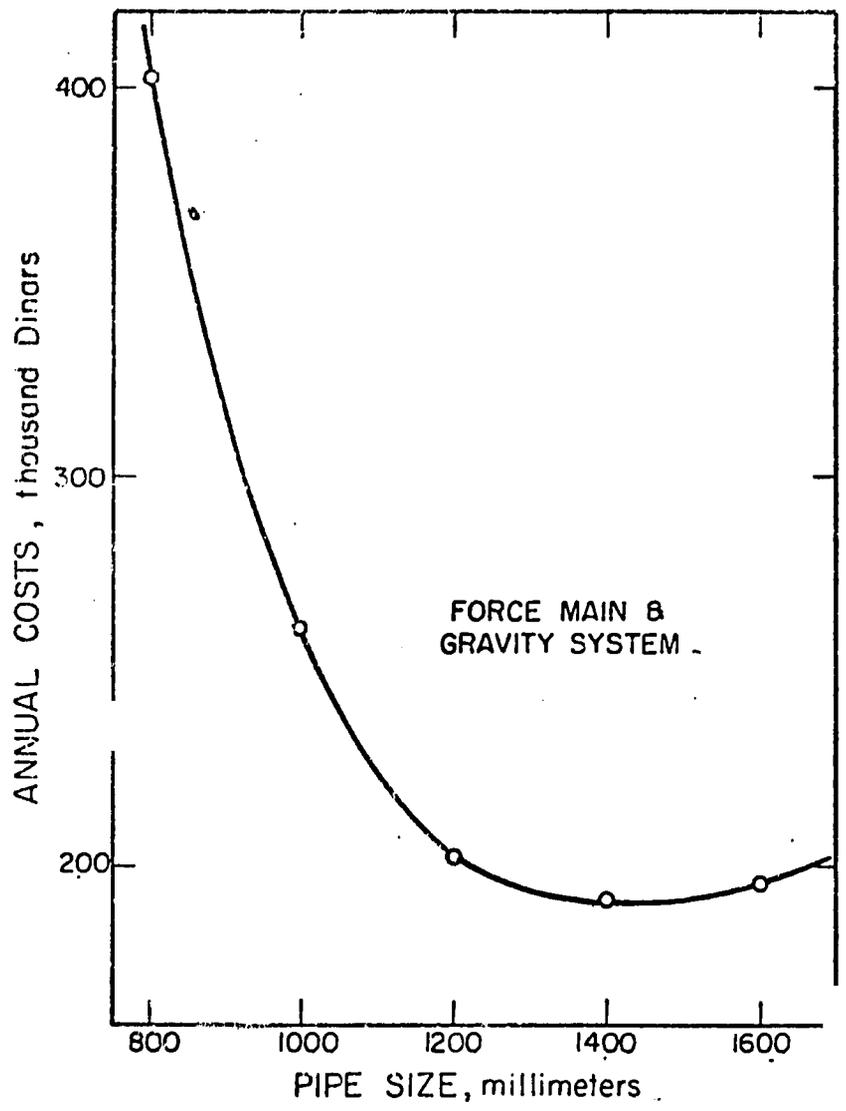
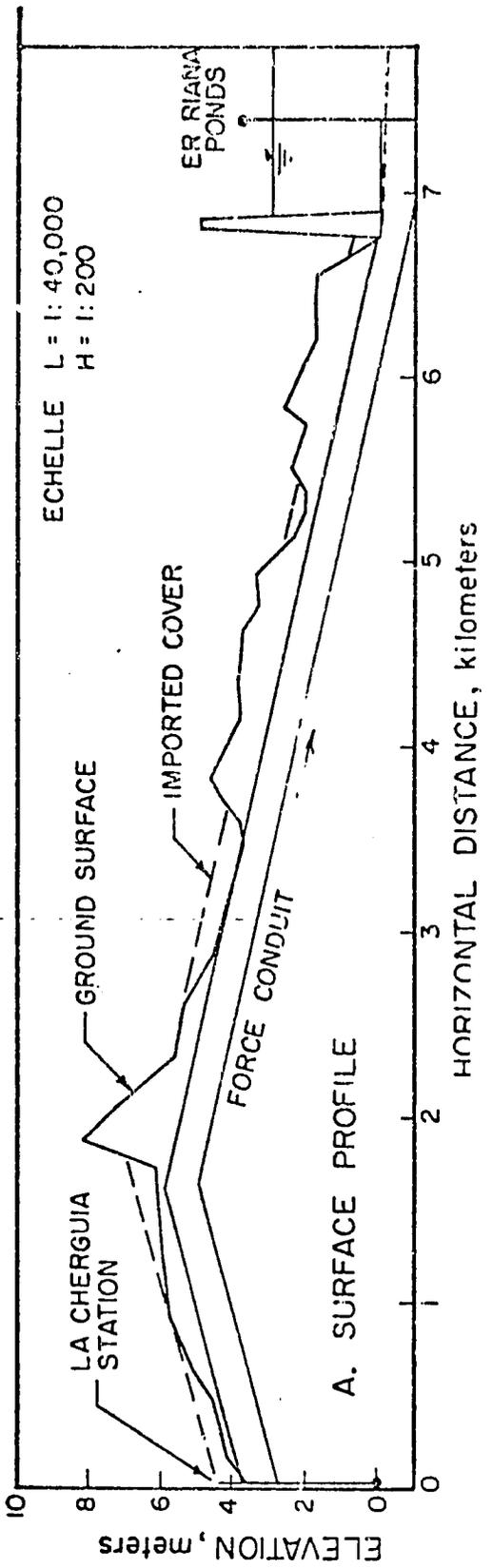


FIGURE A3-1. CONVEYANCE PROFILE, LA CHERGUA TO ER RIANA PONDS AND PIPE SIZE OPTIMIZATION

ANNEXE 4

TRANSPORT DE LA CHERGUIA A DJAFAR--COUTS

Évaluation des coûts des stations de pompage et des canalisations de transport des eaux ayant subi un traitement primaire de la Cherguia à Djafar.

Distance présumée - 5.5 kms.

Perte d'énergie, à la fois par friction et pompage de 20 mètres pour une Q max de 2.50 m<sup>3</sup>/sec, utilisation d'une canalisation de 1,200 mm.

Table A4-1

<u>Canalisation</u>	
Canalisation 5,500 m. 1,200 mm. à 58 D/m. . . . .	320,000 D
Ingénieurs et Imprévus @ 20% . . . . .	64,000 D
Coût total. canalisation . . . . .	<u>384,000 D</u>
<u>Station de pompage</u>	
180,000 m <sup>3</sup> par jour (50% de surplus) . . . . .	360,000 D
Ingénieurs et Imprévus @ 20% . . . . .	72,000 D
Coût total du pompage . . . . .	<u>432,000 D</u>
Coût total . . . . .	816,000 D
<u>Coûts annuels</u>	
Dette sur les canalisations et intérêt, 384,000 @ 11% . . . . .	42,000 D
Dette sur la station de pompage et intérêt, 432,000 @ 15% . . . . .	64,000 D
Énergie électrique - 6,000 kw hr/jour @ 10 m/kw hr, 365 jours . . . . .	22,000 D
Main d'oeuvre . . . . .	12,000 D
Dépenses diverses . . . . .	<u>25,000 D</u>
	165,000 D
Coût quotidien . . . . .	450 D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> . . . . .	4.5 D
Coût par m <sup>3</sup> . . . . .	4.5 m

ANNEXE 5

Projet et Évaluation du Coût des Bassins de  
Désoxydation-Récupération

Les bassins primaires de ce système devraient être prévus d'après la durée de détention. On a pu établir qu'une durée de détention de 40 jours était adéquate à une excellente fermentation du méthane et au traitement. En conséquence, le volume demandé de bassins primaires serait pour un débit de  $100,000 \text{ m}^3$  par jour de

$$100,000 \times 40 = 4 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Pour permettre et protéger la fermentation du méthane, on aurait besoin d'une profondeur de 3 mètres. La surface est donc  $1/3$  de  $4 \times 10^6 \text{ m}^2$  soit  $1.33 \times 10^6 \text{ m}^2$  et à raison de  $10^4 \text{ m}^2$  par hectare soient 133 hectares. On devrait utiliser 4 unités de 33 hectares chaque unité ayant 600 m de côté. La charge de BOD appliquée devrait être de 227 kg par hectare soit 70% de la charge utilisée actuellement avec succès à St. Helena, Californie. On devrait supprimer la BOD à 75% de ces unités. Pour se conformer aux contraintes de dimension, chaque côté devrait avoir 600 mètres à la flottaison. La dimension des bassins devrait être de 36 hectares à la flottaison.

Des sections typiques des digues et leurs types sont données sur la Figure A1. Étant donnée la force des vents, on devrait enrocher et prévoir un franc-bord de 1.6 m. Les

digues des bassins auront un volume de  $4.33 \times 6 = 17.3 +$   
 $4.33 \times 13 = 74\text{m}^3$  par mètres ou  $74 \text{ m}^3/\text{m}$ . La longueur des  
digues d'un même côté de deux bassins est de 1,224 m. Six  
digues,  $7,355 \times 74\text{m}^3/\text{m}$  soit un volume de  $540,000 \text{ m}^3$  l'enroche-  
ment et le graver le diminueront un peu. Enrochement d'une  
épaisseur de 0.25 m, d'une largeur de 4 mètres soit  $10,000 \text{ m}^3$ .

(A-5-2)

Projet de Digesteur (Volumes dans les Bassins)

Volume du digesteur: en supposant que 75% de la BOD a été supprimée, soit 250 mg/l. Le digesteur recevra

$$\frac{100,000,000 \text{ litres} \times 250 \text{ mg/l}}{1,000,000 \text{ mg/kg}} = 25,000 \text{ kgs}$$

de BOD par jour. La charge permise est de 400 gms/m<sup>3</sup>/jour.

À raison de 0.4 kg/m<sup>3</sup>, on aura besoin de 25,000/0.4 = 62,500 m<sup>3</sup>.

On utilisera un digesteur d'une profondeur de 1.5 mètres pour protéger les boues. On a besoin de 41,800 m<sup>2</sup>, ou d'une surface de mètres sur 100 mètres. Mais on utilisera en fait dans chaque bassin 200 mètres par 200 mètres pour conserver les boues.

On utilisera trois cellules à angle droit avec le vent. Selon la Figure A5-1, type VI, les digues submergées contiendront 12m<sup>3</sup>/m, 4,800 m @ 9 = 58,000 m<sup>3</sup>.

Bassin d'aération et de mélange (HRP)

Durée de détention 5 jours, près des bassins de désoxydation afin d'obtenir de bonnes caractéristiques hydrauliques. Longueur du HRP = 5,200 m, largeur, 100 m.; profondeur - 1m. Surface totale - 52 hectares. Les digues devraient avoir au moins 2.3 mètres de hauteur, 32 m<sup>3</sup> par mètre de longueur de digues basses, 4,200 mètres (voir Figure A5-1, type VI). Le volume total des digues basses est 3.2 x 4.2 x 10<sup>3</sup> = 134,000 m<sup>3</sup>. Avec l'enrochement de l'intérieur, 11,200 m<sup>3</sup>.

Bassins de décantation (2 unités)

Largeur, 150 m., longueur, 1,200 m. Profondeur - 3 m. 3 digues, 1,250 m. a 74 m<sup>3</sup>/m. 266,000 m<sup>3</sup> + 300 (74) = Total 288,000. Enrochement, 6,000 m = 6,000 m<sup>3</sup>. Voir Figure A5-1, type II.

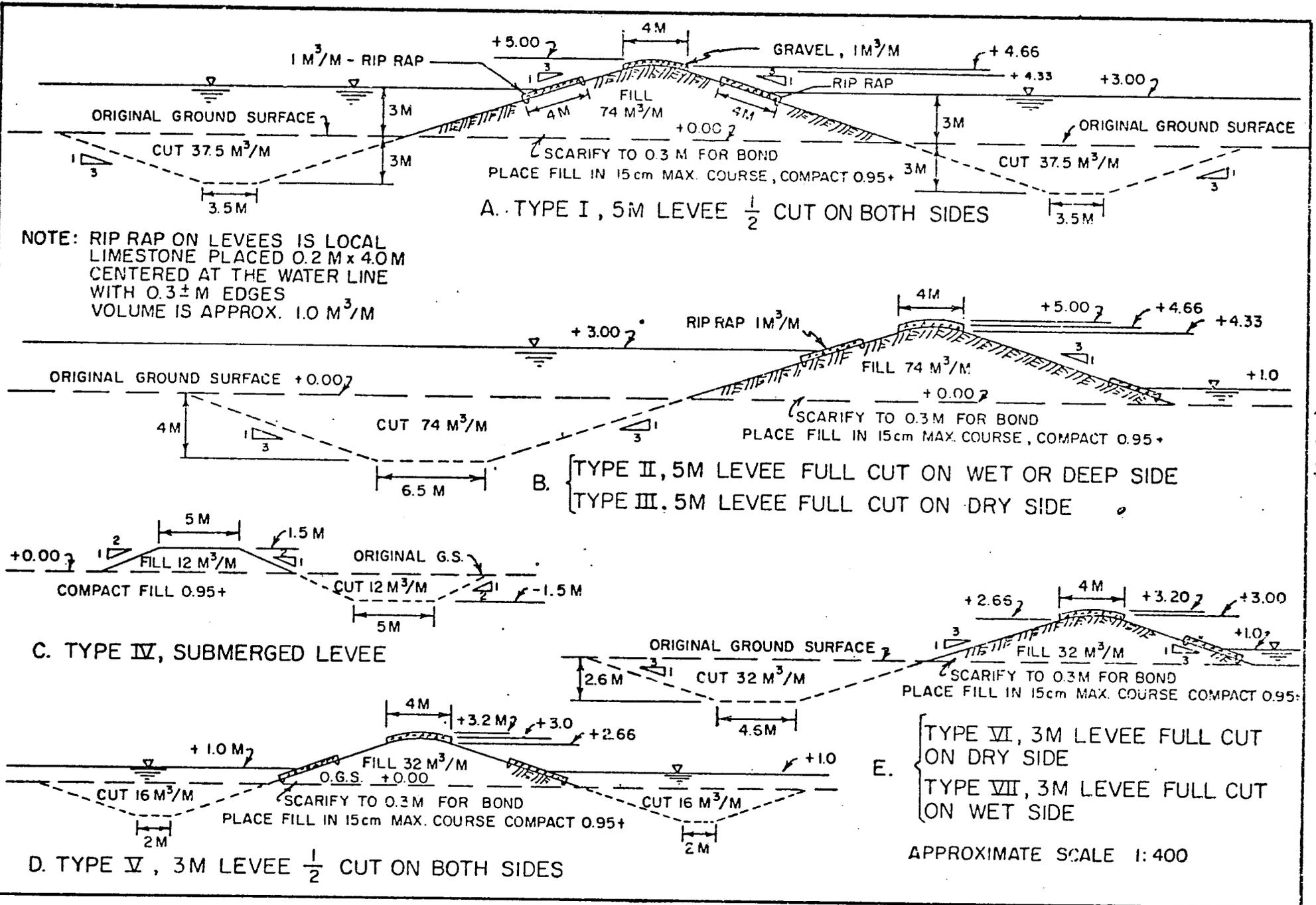


FIGURE A5-1. Profils des digues des bassins.

(A-5-3)  
-107-

Bassin final

Largeur, 150 m., longueur, 300 m., profondeur - 3 m.,  
digues, 67,000 m<sup>3</sup>.

Enrochement de l'intérieur, 900 mètres de longueur soit  
900 m<sup>3</sup> (Voir Figure A5-1).

Table A5-1Résumé des Travaux de Terrassement

Bassin de désoxydation	540,000 m <sup>3</sup>
Digesteurs	43,200 m <sup>3</sup>
Bassin d'aération	105,000 m <sup>3</sup>
Bassin de décantation	252,000 m <sup>3</sup>
Bassin final	63,000 m <sup>3</sup>
Total	<u>1,003,000 m<sup>3</sup></u>

Table A5-2Résumé des Travaux d'Enrochement

Bassin de désoxydation	10,000 m <sup>3</sup>
Bassin d'aération	11,200 m <sup>3</sup>
Bassin de décantation	6,000 m <sup>3</sup>
Bassin final	900 m <sup>3</sup>
Total	<u>28,100 m<sup>3</sup></u>

Canalisations (les prix comprennent les frais d'installation)

Conduit de dérivation des eaux salées, 1,400 mètres de  
longueur, 1,000 mm de dimension à 430 mm soit 60,000 D. Cana-  
lisation, 1,700 mètres de longueur, 800 mm de canalisations  
à 31 dinars/m soit 52,000 dinars.

Distributeur: 10,000 dinars.

Canalisations de transport: 12 x 5,000 = 60,000 dinars.

Table A5-3Résumé des Travaux de Canalisation

<u>Élément</u>		
Conduit de dérivation - 1,400 m, 1,000 mm		60,000 D
Conduits des bassins		52,000 D
Distributeurs		10,000 D
Unités de transports - 12 x 5,000		<u>60,000 D</u>
Coût total de la canalisation		182,000 D

(A-5-5)

Table A5-4Station de Pompage de Circulation

4 stations de pompage propulseur de 125 HP - Installation	125,000 D
Station de pompage intermédiaire 100,000 m <sup>3</sup>	155,000 D
Installation électrique et contrôles	<u>100,000 D</u>
Total de la station de pompage	380,000 D
Divers	
Aménagement des pentes, nettoyage final et installation des digues	100,000 D

Le système complet de bassin

Une vue d'ensemble est donnée sur la Figure A5-2.

Table A5-5

Résumé du Coût d'Investissement estimé  
pour un Système de Bassin de Désoxydation et Récupération

Terrassement, 1,087,000 m <sup>3</sup> @ 1.0 Dinar	1,087,000 D
Enrochement à 2.0 dinars par m <sup>3</sup>	56,000 D
Canalisation	182,000 D
Ingénieurs et Imprévus à 20%	<u>265,000 D</u>
Total pour digues et canalisations	1,590,000 D
Station de pompage et station électrique	380,000 D
Ingénieurs et Imprévus à 20%	77,000 D
Nettoyage et installation, gravier	<u>100,000 D</u>
Totaux	<u>557,000 D</u>
Total du coût de construction	2,147,000 D

(A-5-6)

NOTE: ROMAN NUMERALS INDICATE TYPE OF LEVEE  
SEE FIGURE A5-1 FOR TYPE DETAILS

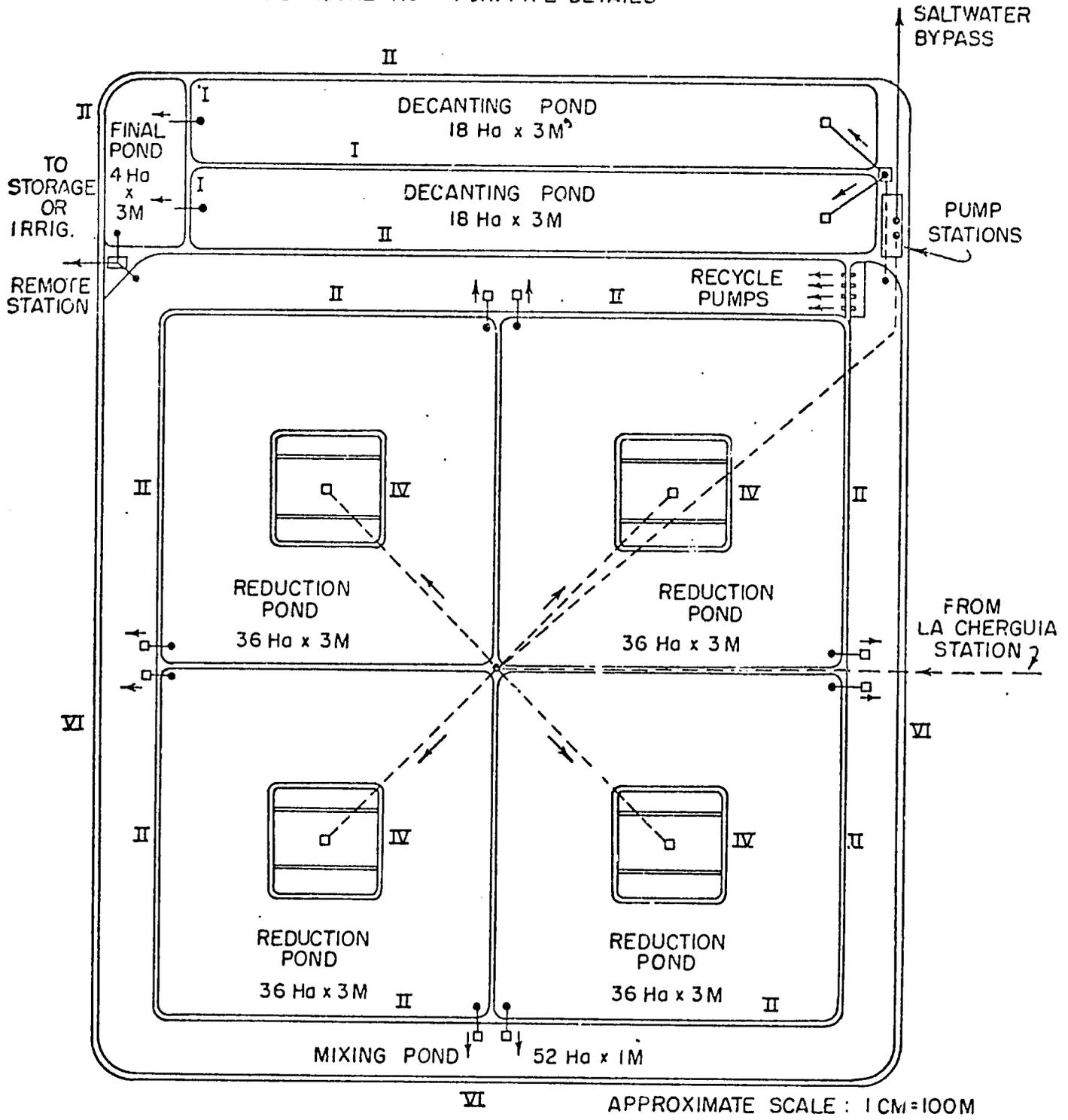


FIGURE A5-2. Système de bassin de désoxydation - mise en réserve proposée de 236 hectares, capacité = 100,000 m<sup>3</sup>/jr.

(A-5-7)

Coût annuel d'un Système de Bassin de Désoxydation - Réduction

Intérêt et dépréciation des canalisations, bassins, 11% de 1,489,000	164,000 D
Intérêt et dépréciation de stations de pompage, 15% of 658,000	99,000 D
10 hommes @ 150D/mois	18,000 D
Energie électrique - 500 KVA, 0.5 facteur d'utilisation à 10 mill/kv hr	20,000 D
Équipement divers	20,000 D
Fournitures diverses	10,000 D
Dépenses diverses	<u>50,000 D</u>
<b>Total</b>	<b>381,000 D</b>
Coût quotidien	
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup>	
Coût par m <sup>3</sup>	

Autre méthode d'évaluation de ce coût basée sur les courbes de coût de la Figure 15.

184 hectares de digues de 5 m. de hauteur et 52 hectares de bassin de haute vitesse.

Table A5-6

Établie d'après la Courbe Supérieure de la Figure 15

184 hectares, bassin de 3 m. de profondeur, sans le terrain	1,200,000 D
52 hectares de bassins de haute vitesse	560,000 D
Ingénieurs et Imprévus	<u>350,000 D</u>
<b>Total</b>	<b>2,110,000 D</b>

Ceci correspond bien aux 2,147,000 estimés d'après données tunisiennes. Aussi utilisera-t-on la valeur plus élevée de 2,147,000 D.

## ANNEXE 6

### PROJET ET ÉVALUATION DU COÛT D'UN BASSIN "FACULTATIF"\*

#### Projet et Évaluation du Coût

Ce projet cherche à minimiser les systèmes mécaniques. Il ne peut toutefois éviter autant les court-circuits et atteindre un aussi bonne désinfection que les bassins de désoxydation et de récupération. Il fournira, cependant, un bon degré de désinfection et un traitement adéquat aux eaux d'irrigation.

Les bassins de désoxydation primaires de 4-36 hectares seront identiques à ceux qui ont été proposés dans l'alternative 5. À la suite des 4 bassins de désoxydation, on a projeté une série de bassins dépendent de la charge.

#### Bassins secondaires

Charge initiale - 32,500 kg.

Suppression de la BOD à 75% par traitement primaire

BOD restante - 8,300 kg.

On utilisera une charge de 80 kg. par hectare. On aura besoin de 100 hectares. On utilisera deux bassins. La longueur sera de 1,200 mètres et la largeur totale sera de 850 mètres ou de la largeur des bassins soit 425. En utiliser 400.

#### Bassins tertiaires

50% de la BOD appliquée sera supprimée lors du traitement secondaire. La BOD restante sera donc  $8,300 - 8,300/2 = 4,150$  kg. On utilisera une charge de 80 kg. par hectare. Pour se conformer aux autres bassins, on utilisera une surface de 50 hectares.

\*"Facultatif": bassin aérobie ou anaérobie.

(A-6-1)

On utilisera une longueur de 1.625 mètres et une largeur de 307 mètres. On utilisera 300 m.

(A-6-2)

50% de la BOD sera supprimée lors du traitement tertiaire. Les bassins quaternaires recevront 2,125 kg. On utilisera 80 kg./hectare. On aura besoin de 27 hectares. La longueur est de 1,625 m. La largeur est de 165 mètres. Utiliser 150.

Pour éviter les courts circuits on utilisera une série de petits bassins. La disposition du système est montrée sur la Figure 6-1. On a cherché à maximiser le potentiel de désinfection du système en utilisant un grand nombre de cellules

Table A6-1

Travaux de Terrassement dans le Bassin Facultatif

7,344 M Type 1 @ 74 m <sup>3</sup>	540,000 m <sup>3</sup>	
10,850 M Type 4M @ 57 m <sup>3</sup>	619,000 m <sup>3</sup>	
<u>14,800 M Type IV @ 12 m<sup>3</sup></u>	<u>58,000 m<sup>3</sup></u>	
Totaux 22,994 M	1,217,000 m <sup>3</sup>	
Si le coût du terrassement est de 1 din/m <sup>3</sup> , enrochement 28,600 m <sup>3</sup> à 2 dinars . . . . .		1,217,000
		<u>57,000</u>
Structures de transfert		1,274,000
23 Transfers à 1,000 D	23,000 D	
Canalisations, 1,700 m. de 800 mm. à BOD	51,000 D	
Bétons 50 m <sup>3</sup> à 50D	2,500 D	
Totales	<u>1,355,300 D</u>	
Nettoyage et Installation, gravier	104,000 D	
Ingénieurs et Imprévus @ 20%	<u>280,000 D</u>	
Total		1,735,000 D

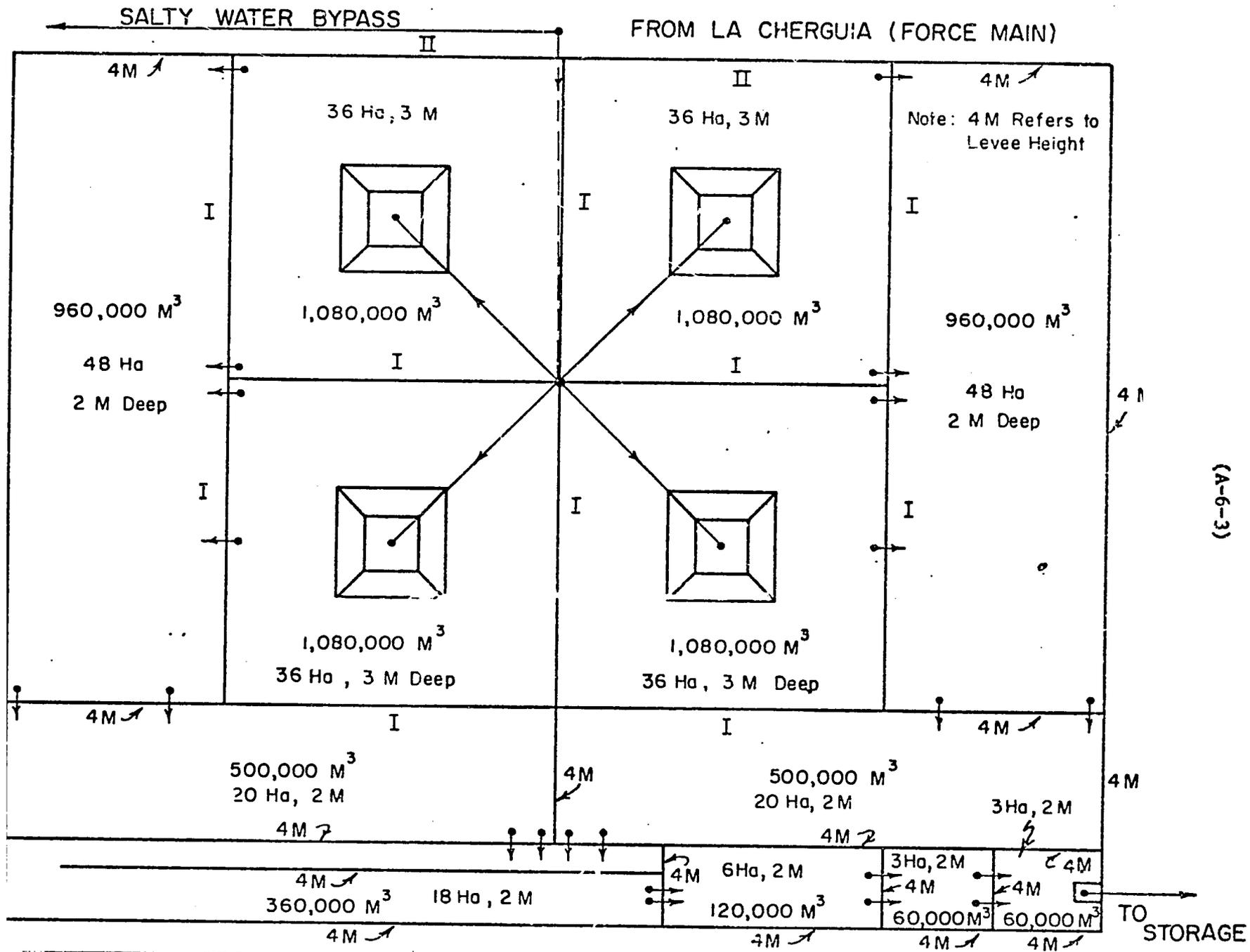


FIGURE A6-1. Système de bassin facultatif proposé de 320 hectares, 7,800,000 m<sup>3</sup>.

(A-6-4)

Coûts annuels:	
11% de 1,735,000	191,000 D
Main d'oeuvre	12,000 D
Fournitures diverses	25,000 D
Ingénieurs et Imprévus @ 20%	<u>45,000 D</u>
	273,000 D
Coût quotidien	750 D
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup>	7.5 D
Coût par m <sup>3</sup>	7.5 m

Autre méthode d'évaluation des coûts par utilisation des courbes de coût de la Figure 15.

Table A6-2

144 hectares, bassins de 5 mètres	950,000 D
176 hectares, bassins de 5 mètres	<u>500,000 D</u>
Total	1,450,000 D
Ingénieurs et Imprévus	<u>290,000 D</u>
	1,740,000 D

Ceci est suffisamment proche des 1,735,000 dinars obtenus pour l'autre méthode de calcul, pour qu'il ne soit pas nécessaire d'effectuer un nouveau calcul.

ANNEXE 7

ÉVALUATION DU COÛT DE POMPAGE DE L'EFFLUENT  
DES BASSINS D'ER RIANA AU RÉSERVOIR DE DJAFAR

La quantité maximale d'eau est 100,000 m<sup>3</sup>/ jr, la quantité minimale est de 80,000 m<sup>3</sup>/jr. On n'aura besoin d'aucun facteur de sécurité à cause de la capacité des bassins. On a supposé que la station de pompage serait capable de transporter les eaux à une distance de 3,000 mètres et de les injecter dans le réservoir. Les canalisations mesureront 1,200 mm. On supposera une différence de hauteur de 5 m.

Table A7-1

3,000 mètres, canal de 1,200 mm à 58 D/m	174,000 D
Ingénieurs et Imprévus à 20%	<u>35,000 D</u>
Total	209,000 D
Station de pompage, 100,000 m <sup>3</sup> /jr	240,000 D
Ingénieurs et Imprévus à 20%	<u>48,000 D</u>
Total	288,000 D
Total de Coût du Capital	497,000 D
Coûts annuels:	
Canalisation, 11% de 209,000D	23,000 D
Station de pompage, 15% de 288,000 D	43,000 D
Énergie - diff. de hauteur de 7 m.	
100 kw continu	9,000 D
Main d'oeuvre - 5 hommes - 5 x 150 x 10	9,000 D
Dépenses diverses	<u>15,000 D</u>
Total	99,000 D
Coût par jour - 270 D/jr	
Coût pour 1,000 m <sup>3</sup> - 2.70D/1,000 m <sup>3</sup>	
Coût par m <sup>3</sup> - 2.7D/m <sup>3</sup>	

ANNEXE 8

Table A8-1

Évaluation du Coût d'une Station primaire de 100,000 m<sup>3</sup>/jr.

Coût d'après la Figure 11 (sans surplément)	2,600,000 D
Ingénieurs et Imprévus @ 20%	<u>520,000 D</u>
Total	3,120,000 D

Coûts annuels:	
Coûts fixes, 15% de 3,120,000	470,000 D
Énergie - 1,000,000 kw hrs	10,000 D
Main d'oeuvre - 8 x 150 x 12	14,400 D
Imprévus	<u>25,000 D</u>
Total	519,400 D

Coût quotidien - 1,420 D  
Coût pour 1,000 m<sup>3</sup> - 14.2 D  
Coût par m<sup>3</sup> - 14.2 m  
Chloruration (voir Annexe 1) - 3.08  
Total - 17.3 millièmes

ANNEXE 9ÉVALUATION DU COÛT DE LA DÉCHARGE À L'OCEAN

Station de pompage de 100,000 m<sup>3</sup> par jour et écoulement forcé sur 10 kms de la Cherguia à la Marsa. En supposant des canalisations d'une dimension de 1,600 mm, temps de vie 50 ans. L'écoulement par gravité de la Marsa à la mer se fera dans une canalisation de 1,600 mm, opéré de manière à assurer une vitesse de décapage et à éviter l'entraînement de gaz.

Table A9-1

Station de pompage (Figure 17, sans surplus)	320,000 D
Ingénieurs et Imprévus	<u>64,000 D</u>
Total des stations de pompage	384,000 D
Déversoir:	
Canalisation, 10,000 m, 1,600 mm, 94D/m	940,000 D
Station réceptrice de la Marsa	100,000 D
Egouts de décharge à la mer, 8,000 m., 1,600 mm, 300D/m*	2,400,000 D
Ingénieurs et Imprévus	<u>690,000 D</u>
Total	4,130,000 D
<u>Coûts fixes</u>	
Station de pompage, 15% par an de 384,000 D	58,000 D
Déversoir, 9% par an de 4,130,000	370,000 D
Energie, 75 KVS, 43,500 hr à 10 millièmes	34,000 D
Main d'oeuvre - 10 hommes, 12 mois	18,000 D
Divers	<u>50,000 D</u>
Total	530,000 D

Coût quotidien - 1,450 D  
 Coût pour 1,000 m<sup>3</sup> = 14.5 D  
 Coût par m<sup>3</sup> = 14.5 millièmes

\*Aucunes données ne sont disponibles pour un égout de décharge à la mer à ou près de Tunis. Les coûts américains sont 3 à 5 fois plus élevés.

ANNEXE 10STATION TEMPORAIRE D'AÉRATION DE LA CHERGUIA--COÛTS

Le manque de BOD à la Cherguia est à peu près de 10,000 kg/jr et on peut s'attendre à obtenir une capacité d'oxygénation de 1 kg. par kw hr. On devrait installer un système de 10,000 kw hr. S'il opérerait 24 heures sur 24, sa capacité serait de 400 kw. Ceci serait fourni par des aérateurs flottants de 11-50 hp. En tenant compte d'une unité de réserve, on devrait en acheter 12. 12 unités coûteraient 100,000 dinars. Ces unités seraient installées dans un bassin provisoire d'une durée de détention de 4 jours et un volume de 210,000 m<sup>3</sup>. En supposant une profondeur de 2.5 m., la surface requise devrait être 9.6 hectares. Consolidée de chaque côté par une digue de 310 m. En supposant que les digues mesurent 3 mètres de hauteur et 3 mètres au sommet, et ont une longueur de 3 mètres par 1 mètre de hauteur, on aurait un volume de terrassement de 36 m<sup>3</sup>/m de longueur soit pour 1,240 mètres de digues, avec 10% inutilisé 50,000 m<sup>3</sup>.

En supposant le prix du terrain nul, le coût capital serait:

Table A-10-1

<u>Item</u>	<u>Coût/Dinar</u>
12 aérateurs flottants de surface	100,000 D
Installation de 11 aérateurs électriques	50,000 D
Digues du bassin 50,000 m <sup>3</sup> à 1D/m <sup>3</sup>	50,000 D
Station de pompage temporaire	10,000 D
Canalisation et commandes	10,000 D
Ingénieurs et Imprévus @ 20%	<u>44,000 D</u>
Total	264,000 D

(A-10-2)

<u>Élément</u>	<u>Coût annuel/Dinar</u>
Énergie électrique .	20,000 D
Fonctionnement et entretien	20,000 D
Dépréciation et intérêt	55,000 D
Ingénieurs et imprévus	<u>10,000 D</u>
Total.	105,000 D

ANNEXE 11PROJET D'UN SYSTÈME PROVISOIRE DE BASSINS

Le bassin de secours devrait être construit soit dans le Sebkheth Er-Riana soit dans la zone de Djafar afin de conserver et traiter les eaux d'égouts temporairement. Il n'y aurait pas de partitions dans ce bassin, mais on aurait un digesteur central et une canalisation centrale afin de protéger le voisinage des odeurs et de protéger les digues. La durée de détention devrait être de 60 jours. Le bassin devrait se déverser dans l'Er-Riana. Ceci serait un système temporaire et traiterait le débit actuel de 60,000 m<sup>3</sup>/jr. Son volume serait 3,600,000 m<sup>3</sup>. Sa profondeur serait de 1.5 m. La surface serait de 240 hectares. La longueur des côtés 1,550 m., la longueur totale de la digue périphérique serait de 6,200 mètres. Les digues auraient 3 m. de hauteur avec l'enrochement. Selon la Figure A5+1 les digues de 3 mètres auraient un volume de 32 m<sup>3</sup>/m ou un volume total de 198,400 m<sup>3</sup>. Enrochement 6,200 m à 1m<sup>3</sup>/m = 6,200 m<sup>3</sup>. Pour le digesteur faire un excavation de 2 hectares 1 mètre - soit 20,000 m<sup>3</sup>. Construire dans la berme basse une digue submergée de type IV.

Canalisation d'alimentation - utiliser une canalisation centrale à partir de la station réceptrice pour les futurs bassins. 1,400 mètres de canalisations de 1,000 mm, à 43 D soit 60,000 D - débit d'effluent 10,000 D.

Table A-11-2Coût du système temporaire de bassin

Digues, 198,400 m <sup>3</sup> à 1D/m <sup>3</sup>	198,400 D
Enrochement, 6,200 l/m à 2D/m <sup>3</sup>	12,400 D
Digesteur, 20,000 m <sup>3</sup> à 1D/m <sup>3</sup>	20,000 D
Canal d'alimentation, 1,400 L/m, 1,000 mm	60,000 D
Tuyau d'écoulement	<u>10,000 D</u>
Totaux	300,800 D

(A-11-2)

Ingenieurs et Imprévus @ 20%	<u>60,000 D</u>
Coût total	360,800 D

Cette unité pourrait dans le futur recevoir de l'eau salée; c'est pourquoi le taux annuel de récupération serait de 11%.

Coûts fixes, 360,000 @11%	40,000 D
Main d'oeuvre - 5 hommes @ 150 D, 12 mois	9,000 D
Frais divers	<u>10,000 D</u>
Total	59,000 D

Coût quotidien - 162 D  
 Coût pour 1,000 m<sup>3</sup> - 2.7 D  
 Coût par m<sup>3</sup> - 2.7 millièmes

Ces coûts ne comprennent pas le coût de transport de la Cherguia à la station réceptrice qui a été calculé en Annexe 3.