



école polytechnique de thiès

**PROJET
DE
FIN D'ETUDES**

GC.0471

titre Etude pour l'amélioration
de la qualité de l'eau à
THIES

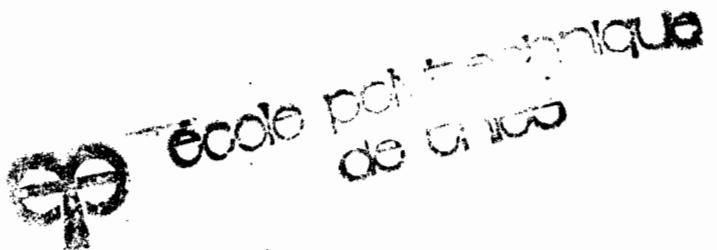
auteur : Sembé NGOM

génie : civil

date : mai 1979

PROJET DE FIN D'ETUDES

"ETUDE POUR L'AMELIORATION DE LA
QUALITE DE L'EAU DE THIES"



Auteur : Demba N'GOM

Matricule : 078

Année : 4^{ème} Civil

Mai 1979

R_E_M_E_R_C_I_E_M_E_N_T_S

Je tiens à remercier tous ceux qui ont eu à m'aider à la réalisation de ce présent mémoire.

En particulier, j'exprime ma gratitude à :

- Monsieur Raymond DESJARDINS, Professeur à l'E.P.T.
Directeur du projet, pour son soutien, ses conseils éclairés et sa disponibilité.
- Monsieur Martin G. SY, Chef de région de la SONEES pour les renseignements fournis sur la situation actuelle du réseau de Thiès.
- Mademoiselle BA, responsable du Laboratoire national du traitement des eaux à la SONEES de Dakar.
- Messieurs BLAIS et René CANTIN Techniciens à l'E.P.T. pour leur disponibilité et leurs suggestions fort pertinentes.

Enfin, je tiens à adresser mes vifs remerciements à Mademoiselle Assiétou GAYE, Secrétaire à l'E.P.T. qui a bien voulu assurer la présentation finale de ce projet d'une manière particulièrement soignée, malgré ses contraintes de travail.

S O M M A I R E

Ce présent projet de fin d'études est inspiré de celui de Mr Abdoulaye SENE sur une étude de l'alimentation de l'eau à Thiès dans laquelle il avait observé un état agressif des eaux .

Nous avons fait des expériences dans ce sens, et au cours de notre analyse, il s'est avéré que l'eau de Thiès est potable et ne présente aucun degré d'agressivité.

Arrivé à ce stade, au lieu d'arrêter notre étude nous avons simulé une eau aggressive, fait des essais pour connaître le traitement requis afin d'avoir l'équilibre ; par la suite, nous avons fait un "design" d'une station de traitement pour la mise en oeuvre de nos résultats, ceci pour une ville de l'importance de Thiès.

Pour mener à bien tous ces travaux, nous disposions du Laboratoire de Génie Sanitaire de l'E.P.T., de différents manuels de génie sanitaire et des notes de cours de l'Hydraulique urbaine.

Le projet de Mr Abdoulaye SENE, les entretiens eus avec le directeur de la SONEES de Thiès et des responsables du Laboratoire d'analyse des eaux de Dakar ainsi que les visites des équipements d'alimentation d'eau nous ont permis de mieux connaître la situation.

Enfin, nous nous sommes appuyés sur les normes internationales sur l'eau de boisson (O.M.S.) pour établir nos critères de qualité.

T A B L E D E S M A T I E R E S

pages

Remerciements i

Sommaire ii

Introduction 1

Chapitre I : Relevé et description des équipements
de captage et de distribution 3

I Points d'approvisionnement 3

II Conduites de refoulement 3

III Réservoir 4

IV Réseau de distribution 5

V Conclusion 6

Chapitre II : Analyse de l'eau

I Généralités 8

II Caractéristiques 9

III Normes 13

IV Résultats obtenus 19

V Interprétation des résultats 25

VI Discussion et conclusion 27

Chapitre III : Estimation de la demande en eau

I Généralités 30

II Facteurs 30

Chapitre IV : Théorie concernant le traitement
requis 35

I Evaluation du PH de saturation 36

II Lutte contre la corrosion 38

III Effets de la chaux 39

IV Simulation d'une eau agressive 41

.../...

<u>Chapitre V</u>	: Design des équipements de traitement	
I	Introduction	47
II	Enoncé du problème	48
III	Considérations générales	50
IV	Données techniques	51
V	Enoncé de la solution proposée	54
VI	Mise en oeuvre	57
	Schéma de la station	60
	Graphiques	61
<u>Chapitre VII</u>	: Conclusion et discussions	65
Annexe 1	Description des forages	68
Annexe 2	Description des pompes	72
Annexe 3	Schéma du réseau	74
Annexe 4	Prescriptions pour les analyses	76
Annexe 5	Evolution de la population	77
	"Bibliographie"	80

I N T R O D U C T I O N

De tout temps, les hommes ont su distinguer l'eau propre et l'eau sale, l'eau limpide et l'eau trouble, l'eau agréable à boire et l'eau nauséabonde.

Cependant, on sait qu'une eau parfaitement limpide peut être dangereuse, même mortelle. En effet les eaux peuvent provoquer des épidémies de maladies dites hydriques, telles que la fièvre typhoïde, le choléra etc...

Aussi des recherches ont-elles été faites pour connaître les différents éléments qui peuvent être présents dans une eau ; par la suite on a défini des critères de pureté.

Cependant, la notion de "pureté" de l'eau est sujette à discussion, car une eau vraiment "pure" ne doit pas contenir autre chose que le composé chimique de formule H_2O . Or nous savons qu'on considère communément comme de l'eau pure, simplement de l'eau dite "potable", contenant des sels minéraux dissous, non toxiques, ainsi que des matières organiques non toxiques non plus, et des micro-organismes inoffensifs, le tout dans des limites admissibles.

On ne peut avoir une eau contenant seulement l'élément H_2O . On doit donc être en mesure, pour une eau donnée, de déterminer les sels minéraux dissous, les matières organiques et de déterminer les seuils au-delà desquels chaque élément peut être à lui seul dangereuse d'une part, et considérer l'effet de la combinaison des différents éléments (effet de synergie), d'autre part.

C'est dans ce sens que plusieurs organismes ont exécuté des recherches pour établir des critères sur la potabilité des eaux, entre autres, l'Organisation Mondiale de la Santé.

.../...

Cependant, à ce niveau-ci, un autre problème surgit : l'eau n'est pas un bien illimité. Certaines régions possèdent des sources d'eau, toutes contenant des éléments toxiques ; dès lors il conviendrait de trouver des solutions pour neutraliser ces dits éléments c'est-à-dire pour chaque substance, un "contre poison", car les habitants seront obligés de boire cette eau, quelque soit le danger, parce qu'elle sera la seule disponible.

Des études ont permis de résoudre ce problème ; la tâche est d'autant plus facile que les réactions chimiques nous permettront d'arriver à la solution pour la plupart des cas. L'étape finale pratique consistera à faire un design approprié pour mettre en oeuvre le système pour rendre l'eau potable.

Dès lors apparaît l'importance de l'analyse qui doit être l'objet de beaucoup de soins, car si le résultat est faux, on fera boire à toute une région une eau toxique ou bien on obligera à faire construire un équipement de traitement, qui est pour la plupart très cher, alors que c'était inutile.

C H A P I T R E I

RELEVÉ ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS DE CAPTAGE ET DE
DISTRIBUTION (1)

Certaines eaux peuvent être potables à leur source et ne pas l'être une fois arrivées chez le consommateur. Ceci est dû à une contamination qui se fera au sein des équipements de distribution et de captage. Aussi, devrons-nous, avant tout, connaître ces éléments pour tirer des conséquences si besoin sera.

Dans un système d'alimentation en eau, nous rencontrons :

- Un ensemble de captages de sources ou de nappes aquifères.
- Une conduite de dérivation conduisant les eaux captées au réservoir.
- Un réservoir
- Un réseau de distribution
- Des réserves.

I - POINTS D'APPROVISIONNEMENT

Thiès dispose de quatre forages : F₁, F₂, F₃, F₄ avec des débits respectifs de 72 m³/h, 82 m³/h, 60 m³/h et 40 m³/h.

L'eau est captée dans la nappe des sables maestrichiens. La description détaillée de ces forages est faite en annexe. (1)

Cependant, à l'heure actuelle, il se pose un grand problème car la demande croissante en eau et la longue sécheresse qui caractérisait ces dernières années font que les niveaux statiques accusent une très grande baisse. Par exemple, le forage F₄ accuse durant la période allant de 1967 à 1975 une baisse de 21,95 m, soit 2,74 m par an. voir annexe (1)

II - CONDUITE DE REFOULEMENT

Il n'existe pas de station de pompage à proprement parler ; les quatre forages sont équipés chacun d'une pompe qui refoule dans les différents réservoirs comme suit :

.../...

- 4
- F₁, F₂, F₄ dans le chateau d'eau C₁ installé dans les locaux de la SONEES.
 - F₃ dans le chateau d'eau C₂ dans le quartier de NGuinthe.

Les caractéristiques principales des différentes pompes sont donnés en annexe (2)

Les caractéristiques des conduites d'amenés des eaux non traitées sont indiquées sur le schéma du réseau de distribution joint en annexe (3)

III - RESERVOIR

A l'heure actuelle, seul le traitement bactériologique, par injection d'eau de javel, est réalisé au niveau de Thiès.

A la sortie de la pompe du forage F₂, une pompe doseuse se envoie à la conduite de refoulement vers le réservoir C₁, une solution d'eau de javel ; il en est de même sur la pompe du forage F₃ pour la stérilisation de l'eau qui transite par le chateau d'eau C₂.

Pour les eaux traitées, il n'existe pas de station de reprise. L'eau est stockée dans les deux chateaux d'eau déjà cités : C₁ et C₂ de capacités respectives de 1500 m³ et 1000 m³. Ces deux réservoirs sont en bon état, sans fuite apparente, et sont nettoyés à la brosse tous les six mois. L'entretien des équipements en tuyaux et vannes se fait correctement. Les deux réservoirs se partagent inégalement la distribution : Le réservoir C₁ transite 3880 m³/J pour toute la partie Sud, alors que C₂ distribue 1200 m³/J en moyenne dans la partie Nord de la ville.

Les conduites sont sectionnées par des vannes au niveau de la voie ferrée.

.../...

Les radiers des réservoirs sont aux côtés IGN 62.5 pour C2 et 77,5 pour C1.

IV - RESEAU DE DISTRIBUTION

Les bornes fontaines fonctionnent, bien qu'on observe parfois un manque d'eau dans les zones périphériques, notamment vers les quartiers Grand Thiès, Cité Lamy et Cité Senghor. Ceci est dû au fait que le château d'eau C1 est construit sur une cuvette, donc suivant un design qui ne tenait pas compte de l'occupation rapide de ces quartiers battis sur une élévation. Au sein de la ville, le réseau est entièrement maillé. Les bouches d'incendie ne sont ni entretenues, ni essayées périodiquement.

En tenant compte des conduites de refoulement, nous arrivons à une longueur de 18 km de développement total.

Ces conduites sont décrites dans le tableau suivant.

RESEAU

	Diamètre intérieur (mm)	Longueur (m)	Matériel	Etat
Conduites Principales	Ø500	1400	Fonte standard	Bon
	Ø400	400	"	"
	Ø300	4900	"	"
	Ø250	5800	"	"
	Ø150	5400	"	"

.../...

EQUIPEMENT PUBLIC

	Nombre	Type	Construction	Remarque
Bouches d'incendie	25	Ø100 trottoir	P.A.M	Sans entretien
Edicules	4	WC et douches	Béton	mauvais état
Bornes fontaines	31	Béton	SONEES 3 robinets	Bon état général
Puits	-			

Le réseau ne comporte aucun compteur secondaire qui puisse permettre de mesurer les cubes distribués par quartier.

A l'heure actuelle, nous assistons à une demande en eau qui est fortement supérieure à l'offre ; problème qui sera étudié dans le chapitre (3)

V - CONCLUSION

Outre la sécurité qu'ils assurent en cas de défaillance momentanée de la production, les réservoirs interviennent dans l'exploitation courante comme régulateurs à la fois du débit et de la pression.

D'après plusieurs auteurs américains, la capacité requise des réservoirs est approximativement égale à la consommation journalière.

Le volume des deux réservoirs disponibles est de 2500 m³. Or d'après les données relevées à la SONEES et une étude faite dans le chapitre (3), la demande en eau pour 1978 s'élève à 13010 m³ donc $2500/13010 = 19 \%$.

.../...

Nous voyons donc l'insuffisance notoire de la capacité des réserves aussi, pour les jours de grande consommation, voit-on souvent les réserves complètement vides. Il faut aussi déplorer le fait que les bouches d'incendie ne sont pas entretenues et sont inexistantes dans les zones périphériques, là où les risques d'incendie sont les plus accentués.

C H A P I T R E I I

ANALYSE DE L'EAU

I - GENERALITES

Une eau est dite non potable si elle présente en son sein des éléments à une dose pouvant entraîner des maladies graves, voire mortelles.

On peut donc s'attendre à ce que les qualités d'une eau potable ne se définissent pas dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle. Aussi, voyons-nous les normes des pays se différencier les unes les autres. Cependant, à l'heure actuelle toutes les normes se rapprochent de celles de l'O.M.S. Dans notre cas ponctuel, à défaut de normes sénégalaises sur l'eau de boisson, nous nous appuyerons sur celles de l'O.M.S. Cependant, nous suggérons fortement une étude détaillée des normes sur l'eau de boisson adaptable à notre milieu car les normes internationales ne peuvent pas tenir compte des exigences très diverses des usagers et de leur localisation très dispersée.

Comme nous l'avions mentionné plus haut, Thiès peut-être subdivisé, dans le problème que nous intéresse, en deux zones distinctes dont la démarcation se situe au niveau du chemin de fer. Or, pour une bonne analyse, il faut que les échantillons analysés soient représentatif et homogènes. Aussi, avons-nous estimé, pour la prise des échantillons, de rayonner les secteurs tout au tour des châteaux d'eau C₁ et C₂ d'une part, et de faire des comparaisons à l'entrée et dans le réseau d'autre part..

.../...

II - CARACTERISTIQUES

a) Caractéristiques organoleptiques.

1) Couleur.

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution, Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. En général, les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (

Cependant, dans le cas qui nous intéresse, la couleur présente un intérêt mineur car son seul inconvénient est la susceptibilité de rebuter l'utilisateur. Nous

Nous soulignerons d'ailleurs que la belle couleur d'une eau ne garantit pas l'absence de germes pathogènes.

2) Odeur

L'odeur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles ;
ou bien
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances. Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de la présence de matières organiques en décomposition (5)

Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler.

.../...

b) Caractéristiques physico-chimiques

Ces caractéristiques sont nombreuses. Cependant, pour avoir une idée assez précise sur la potabilité d'une eau, il serait plus intéressant de passer seulement en revue les grands points qui forment les états critiques et qui sont les plus susceptibles de faire rejeter une eau. En effet si on passait en revue toutes les caractéristiques, le travail dépasserait largement le cadre de ce projet de fin d'études.

1) pH

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydride carbonique liée à la minéralisation totale. Etant donné le pouvoir tampon de l'eau, et sauf le cas de rejets industriels particuliers, il est rare que l'eau ait un pH qui soit une contre-indication à la potabilité.

Cependant le pH est une indication importante dans la détermination de l'agressivité de l'eau vis-à-vis du ciment et des métaux, ainsi que pour la stérilisation de l'eau par le chlore.

2) Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, grains de silice, matières organiques etc... L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

Cependant, la mesure de la turbidité aura ici une faible importance ; en effet l'intérêt des mesures de turbidité se fait surtout sentir dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes.

.../...

c) Alcalinité

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité est généralement due à la présence de carbonates et de bicarbonates de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium.

Lorsqu'elle n'est pas excessive, l'alcalinité, bien que négligeable du point de vue sanitaire est extrêmement importante pour les opérations de coagulation, d'adoucissement et pour les mesures de prévention de la corrosion.

Dans la majeure partie des cas, l'alcalinité et le PH renseignement sur un grand nombre de propriétés de l'eau.

d) Dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté se manifeste par une difficulté dans la cuisson des légumes et dans la production de mousse avec le savon.

e) Agressivité - équilibre carbonique

L'équilibre des carbonates constitue un moyen d'inhiber la corrosion des parois métalliques en contact avec les eaux. Un film de CaCO_3 sera déposé à la surface métallique et par ailleurs l'eau étant en équilibre, il n'y aura pas de formation d'un dépôt volumineux ayant pour conséquence de diminuer le diamètre d'une conduite ou de diminuer le transport de chaleur de certains accessoires.

.../...

L'agressivité provoque une corrosion des métaux, des calcaires, du ciment et des produits qui en dérivent (maçonneries, béton etc...)

Nous reviendrons sur la notion d'"agressivité" dans le chapitre (**IV**)

f) Dosage

Certains éléments représentent un danger à eux seuls, s'ils dépassent une dose déterminée ; c'est pourquoi on procède à des examens appelés "dosages" qui permettent de déterminer la constitution de chaque échantillon d'eau en matières dissoutes (calcium, fer...)

Par ailleurs, ces éléments peuvent agir par effet synergique en devenant toxiques, bien qu'inoffensifs, si pris individuellement.

g) Bactéorologie

Les examens bactériologiques visent à déterminer le degré de pollution des eaux de consommation par les eaux d'égout au moment du prélèvement des échantillons, ils renseignent ainsi sur les possibilités de transmission de maladies par l'eau examinée.

L'examen bactériologique courant d'une eau consiste à déterminer approximativement le nombre total des bactéries qu'elle contient et à déceler les bactéries d'origine intestinale ou résiduaire. Contrairement à l'impression générale, on ne recherche pas les microorganismes pathogènes spécifiques, car cela serait pratiquement impossible. On ne dénombre que les microorganismes non pathogènes caractéristiques de l'évacuation intestinale des espaces à sang chaud (y compris l'homme) et par conséquent, de pollution par les égouts ou le fumier.

III - NORMES (5)

1) Conditions générales

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S.) a accompli plusieurs recherches dans le domaine de génie sanitaire et en a tiré des critères (normes) de potabilité des eaux, dépendant de l'usage qu'on veut en faire. Ces études sont faites en collaboration avec les gouvernements des états membres de l'O.M.S. et avec l'assistance d'un certain nombre d'experts. Le manuel "Normes internationales pour l'eau de boisson" traite de plusieurs problèmes ; cependant, dans le cas qui nous intéresse, nous retiendrons surtout notre attention sur le chapitre traitant la qualité et la salubrité de l'eau.

2) Normes pour l'eau de boisson

Il existe principalement quatre normes.

- bactériologique ;
- chimique et physiques
- radiologiques
- biologiques.

2.1) Normes bactériologiques.

2.1.1 Considérations générales

Quelle soit traitée ou non, l'eau qui circule dans le réseau de distribution ne doit contenir aucun organisme susceptible d'avoir une origine fécale.

La présence de germes du groupe coliforme, doit être considérée comme l'indication d'une contamination fécale récente ou ancienne. La présence de coliformes fécaux, doit être considérée comme le signe certain d'une pollution fécale récente et, partant d'une situation dangereuse qui exige une intervention immédiate.

.../...

Un traitement efficace par le chlore donne une eau pratiquement exempte de coliformes, c'est-à-dire dont la teneur en coliformes est inférieure à un germe par 100 ml.

On appelle "indice MPN" le nombre le plus probable (Mort Probable Number en anglais) d'organismes présente dans 100 ml d'eau.

2.1.2 Eau traitée

Dans 90 % des échantillons examinés au cours d'une année, les bactéries coliformes devront être absentes ou l'indice MPN devra être inférieur à 1.0. Dans aucun des échantillons, cet indice ne devra dépasser 10.

On ne devra pas trouver un indice MPN compris entre 8 et 10 dans deux échantillons consécutifs, c'est-à-dire que, si l'on ensemence cinq volumes de 10 ml par échantillon il ne faudra pas que, dans deux échantillons consécutifs, trois des ensemencements donnent un résultat positif (indice MPN de 9.2)

Si on emploie la technique de la membrane filtrante, comme c'est le cas au laboratoire de l'école, la moyenne arithmétique du nombre des coliformes mis en évidence dans 100 ml devra être inférieure à 1 et ne pas dépasser 4 dans deux échantillons consécutifs ou dans plus de 10 % des échantillons examinés.

L'eau de Thiès étant traitée avec de l'eau de Javel, nous n'aurons pas à étudier les normes sur l'autre alternative.

.../...

2.2 Normes chimiques et physiques pour l'eau de boisson

On trouve dans les eaux de boisson des substances :

- dangereuses pour la santé du consommateur
- qui peuvent présenter des risques pour la santé
- composés chimiques susceptibles de rendre l'eau impropre aux usages domestiques
- substances utilisables comme indicateurs auxiliaires de pollution.

2.2.1 Substances toxiques

Substance	Concentration maximum admissible (mg/l)
Plomb	0.05
Arsenic	0.05
Séleninm	0.01
Chrome (en Cr hexavalent)	0.05
Cyanures	0.20
Cadmium	0.01
Baryum	1.00

Si la concentration de l'une quelconque de ces substances dépasse la limite indiquée, l'eau devra être considérée comme impropre aux usages domestiques.

2.2.2 Autres substances qui peuvent entraîner un risque pour la santé.

Diverses substances chimiques peuvent aussi porter atteinte à la santé lorsqu'elles sont présentes dans l'eau de boisson en quantités dépassant un maximum donné. Certaines, cependant, sont considérées comme des constituants essentiels de l'eau potable et, si elles ne s'y trouvent pas en proportion suffisante, la santé du consommateur risque de s'en ressentir.

.../...

2.2.2.1 Fluorures

Les fluorures existent à l'état naturel dans de nombreuses eaux. A des doses dépassant 1,0 - 1,5 mg/l, ils peuvent provoquer une fluorose dentaire chez certains enfants. Si la concentration est beaucoup plus forte, il peut même se produire une fluorose endémique par accumulation avec atteinte du squelette chez les adultes et chez les enfants. C'est le cas de l'eau de KAOLACK.

D'autre part, la présence de fluorure dans l'eau de boisson est jugée indispensable, en particulier pour prévenir les caries dentaires chez les enfants. Il est probable que ces caries seront extrêmement fréquentes si l'eau distribuée à la population contient moins de 0.5 mg/l de fluorures.

2.2.2.2 Nitrates

Les nitrates ne sont dangereuses pour la santé que chez certains enfants âgés de moins d'un an. La consommation d'une eau contenant plus de 45 mg/l de nitrates (exprimés en NO_3) peut provoquer une méthémoglobinémie infantile.

Cependant, à l'heure actuelle, on ne connaît aucune méthode simple et économique permettant d'éliminer les nitrates en excès.

2.2.3 Substances et propriétés chimiques qui influent sur la potabilité de l'eau.

(voir tableau page suivante.)

L'analyse biologique de l'eau est un moyen de contrôle de la qualité de l'eau et de son traitement. Elle a l'avantage de mettre en évidence la pollution et les facteurs qui rendent l'eau impropre à la consommation.

.../...

Substance ou traitement	Maximum souhaitable	Maximum admissible
Matières solides totales	500 mg/l	1 500 mg/l
Couleur	5 unités (échelle Pt-Co)	50 unités
Turbidité	5 unités turbidimétriques	25 unités
Goût	Limite subjective d'acceptabilité	-
Odeur	Limite subjective d'acceptabilité	-
Fer (Fe)	0,1 mg/l	1,0 mg/l
Manganèse (Mn)	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Cuivre (Cu)	0,05 mg/l	1,5 mg/l
Zinc (Zn)	5,0 mg/l	15 mg/l
Dureté totale	2 még/l	10 még/l
Calcium (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium (Mg)	30 mg/l	150 mg/l
Sulfates (SO ₄)	200 mg/l	450 mg/l
Chlorures (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
pH	7,0-8,5	moins de 5,5 ou plus de 9,2
Sulfate de magnésium + sulfate de sodium	500 mg/l	1 000 mg/l
Composés phénoliques (en phénol)	0,001 mg/l	0,002 mg/l
Huiles minérales	0,01 mg/l	0,30 mg/l
Alcoylbenzène - sulfonates (ABS : détergents anio- niques)	0,2 mg/l	1,0 mg/l

Le tableau ci-dessus indique nombre de substances utilisées dans le traitement des eaux; il peut donc servir de résumé des objectifs qu'il convient de se fixer pour obtenir de l'eau potable.

Substances	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire
Détergents anioniques ^a Ammoniaque (NH ₄) Anhydride carbonique libre (CO ₂)	Goût désagréable et formation de mousse Prolifération d'organismes, risque de corrosion des canalisations. Difficultés de la chloration Dégâts aux canalisations. Danger de dissolution des métaux toxiques	0,2 mg/l 0,05 mg/l ^b Pour l'anhydride carbonique agressif, zéro ^c
Oxygène dissous ^d Dureté totale	Goût et odeur désagréables. Corrosion. Prolifération d'organismes. Si la concentration d'oxygène dissous est inférieure à 5 mg/l, la formation d'un dépôt protecteur dans les canalisations sera entravée et tout l'anhydride carbonique libre d'une eau non agressive sera susceptible de corroder les conduites de fonte ou d'acier. Dépôt calcaire excessif. Danger de dissolution des métaux lourds si le degré de dureté est inférieur à la limite recommandée.	De préférence un minimum de 5 mg/l ^e Entre 2 et 10 még/l (100 à 500 mg/l de CaCO ₃) ^f

^a Les substances de référence utilisées varient selon les pays.

^b Cette limite peut être exceptionnellement dépassée dans le cas d'eaux souterraines profondes contenant du fer.

^c Le dosage de l'anhydride carbonique libre doit de préférence être effectué sur place.

^d Pour l'oxygène dissous, la concentration donnée représente le taux minimal conseillé.

^e Ce test exige un échantillon spécial, que l'on prélèvera dans un flacon de 200 à 300 ml, à col étroit, bouché hermétiquement à l'émeri.

^f Il est recommandé d'exprimer la dureté en unités : milliéquivalents d'ion dureté par litre. Un még/l = 50 mg/l de CaCO₃ = 5,0 degrés de dureté français = 2,8 (environ) degrés de dureté allemands = 3,5 (environ) degrés de dureté anglais.

2.4 Normes radiologiques

Ces normes abordent la question de la contamination de l'eau par les déchets radioactifs et celle du degré de radioactivité admissible dans l'eau destinée aux usages domestiques. A défaut de la disponibilité du matériel d'analyse et vue l'importance très secondaire des risques radiologiques dans notre cas, nous n'examinerons pas ce problème.

IV - RESULTATS OBTENUS

1) Remarque

Avant d'aborder précisément ce sous-chapitre, il conviendrait de parler des difficultés rencontrées sur les prélèvements d'échantillons.

En effet, les soins apportées au cours de la prise d'échantillons sont déterminants sur les résultats obtenus car une certaine négligence pourrait modifier les caractéristiques de l'eau, conditionnant ainsi les résultats et l'interprétation donnée.

Dans les manuels d'Analyse de l'Eau, pour chaque type d'essais, des indications sont données concernant les contraintes de température et de temps de conservation de la température, ainsi que des précautions à prendre sur la prise même de l'échantillon. Nous reproduirons en Annexe (4) quelques indications concernant les précautions à prendre

(Rodier P.5)

Cependant, dans certains cas, il est pratiquement impossible de suivre ces prescriptions, surtout quand il s'agit de faire des essais in situ.

.../...

Certains essais n'ont pu être réalisés, faute de matériel de laboratoire ; s'il s'agit d'essais importants pour notre projet, nous avons eu recours aux données du laboratoire d'Analyse des eaux de Dakar. Tous les résultats que nous avons obtenus concordent avec ceux du dit laboratoire ; aussi, avons-nous jugé la possibilité d'y cueillir nos données manquantes, ayant vérifié la concordance de leurs résultats avec les nôtres.

Nous ne mentionnerons pas les différentes phases suivies pour chaque type d'essai.

Il faut se refaire aux manuels de laboratoire (J.R AWWA).

Les essais ont été faits à différents intervalle de temps sur plusieurs points qui sont indiqués sur le plan en annexe.

2) Résultats

a) Couleur

Toutes les mesures de couleur exécutées ont des valeurs comprises entre 5 et 10 unités (échelle colorimétrique au platino cobalt).

b) Trubidité

Toutes les analyses concernant la turbidité ont donné des valeurs comprises entre 10 et 18 unités turbidimétriques.

c) PH

Vue l'importance du PH, nous reproduirons exactement, en chaque point et à chaque temps, les valeurs obtenues.

.../...

	P ⁰ int	PII	CE ⁵	PIII	PIV	PI'	PII'	CEII	PIII'	PIV'
Janv.	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.5	7.7	7.7	7.6
Févr.	7.6	7.5	7.7	7.8	7.7	7.7	7.8	7.7	7.7	7.7
Mars.	7.7	7.4	7.6	7.7	7.6	7.5	7.7	7.6	7.6	7.7

d) Dureté totale en mg/l de CaCO₃

PI	PI	PII	CEI	PIII	PIV	PI'	PII'	CEII	PIII'	PIV'
Janv.	250	255	253	260	264	285	270	257	283	272
Févr.	255	245	248	260	275	270	268	265	275	275
Mars.	276	280	267	270	258	244	250	245	272	268

e) Alcalinité complet en mg/l de CaCO₃

PI	PI	PII	CEI	PIII	PIV	PI'	PII'	CE2	PIII'	PIV'
Janv.	283	278	280	276	283	270	275	275	276	278
Févr.	280	284	285	282	281	281	290	293	287	289
Mars.	282	281	283	275	279	273	280	279	280	280

.../...

f) Analyse bactériologique

- Les examens bactériologiques effectués sur la membrane filtrante ont montré une eau exempte de bactéries. Ceci du fait que le traitement du chlore est pratiqué à Thiès.

3) Agressivité

C'est à ce stade des analyses que s'est posé le plus grand problème de ce présent projet.

En effet pour déterminer l'équilibre ou le degré d'agressivité de l'eau nous avons plusieurs méthodes.

a) Graphique de Hoover et Langelier

Ce graphique est déterminé à partir de l'équation de Langelier :

$$i = PH_0 - PH_s = PH - \left\{ Pk'_2 - Pk'_s - \text{Log}[(Ca^{++})] - \text{Log Alc} \right\}$$

avec : PH_0 le PH initial

PH_s le Ph de saturation

$$Pk'_2 - Pk'_s = \text{extrait sec en mg/l (voir Annexe)}$$

$[(Ca^{++})]$ = concentration en calcium en mg/l

Alc = Alcalinité totale en mg/l de $CaCO_3$

Cette formule s'applique pour un PH compris entre 7.0 et 9.5 donc valable dans notre cas (voir tableau PH)

Si $i =$ indice de Langelier

Si $i < 0$ eau agressive

Si $i = 0$ eau inerte

Si $i > 0$ eau incrustante

.../...

Donc il nous faut connaître $[Ca^{++}]$ et $[HCO_3^-]$, $[Mg^{++}][Cl^-]$.
Cependant, nous ne disposions pas du matériel nécessaire pour évaluer la concentration de chacun de ces éléments.

b) Graphique de Hallopeau et Dubin

Cette théorie est aussi basée sur le PH, l'alcalinité et la teneur en calcium.

Nous nous trouvons dans l'impossibilité d'exploiter ce graphique dans la mesure où $[Ca^{++}]$ ne pouvait être évaluée.

c) Table de TILLMANS

Les conditions imposées pour déterminer l'agressivité ne pouvaient être réalisées dans notre cas faute de matériel.

d) Essai au marbre

Principe : Lorsqu'une eau atteint son équilibre, elle peut, soit déposer des sels : elle est alors dite "incrustante", soit en fixer : elle est dite alors "agressive".

L'essai au marbre a pour but de déterminer cette propriété. Si elle ne manifeste aucune de ces propriétés, elle est alors dite "inactive".

On mesure le PH et l'alcalinité. Ensuite on met du marbre et au bout de 48 heures, refaire les mêmes mesures.

Soit A_0 l'alcalinité initial

PH_0 le PH initial

PH_s le PH de saturation ou d'équilibre

A_s l'alcalinité

.../...

Alors

Si $PH_s > PH$ et $As > A_0$: eau agressive

$PH_s = PH$ et $As = A_0$: eau inerte ou en équilibre

$PH_s < PH_0$ et $As < A_0$: eau incrustante.

Les mesures des PH et de l'alcalinité pouvaient s'effectuer dans notre laboratoire, cependant il nous manquait l'élément essentiel à savoir le marbre pur, et ceci malgré des efforts considérables tant au niveau de l'école qu'au laboratoire de la SONEES.

Dès lors, pour mener à bon terme ce projet, nous nous sommes limités aux données du laboratoire de la SONEES pour déterminer l'indice d'agressivité.

Date et lieu	CO_3^-	PH	HCO_3^-	Ca^{++}	Cl^- °F	Alc°F	Mg^{++} mg/l
20/11/78 CEI	0	7.7	354 mg/l	100 mg/l	6°F	29°F	11.5
12/04/78 CEI	0	7.2	287	68	6	23	21
19/04/78 F2	0	7.1	329	24	3	27	14
19/9/78 CEI	0	7.5	354	84	7.5	29	24
19/9/78 F2	0	7.6	305	76	12	25	23
20/11/78 CEI	0	7.7	305	84	8.5	25	21

.../...

V - INTERPRÉTATION DES RESULTATS

- Nous n'allons pas nous étendre longtemps sur des considérations inutiles. En fait, pour interpréter les résultats obtenus, nous allons comparer les résultats obtenus et les prescriptions des Normes de l'O.M.S. Cette confrontation nous permettra d'arriver aux conclusions suivantes :

- Eau bactériologiquement pure.

- Couleur

La couleur dépasse le maximum souhaitable, mais n'atteint pas celui admissible. Elle tend plutôt vers le maximum souhaitable. Ceci dénote une couleur assez bonne,

- Turbidité.

Résultats obtenus : turbidité comprise entre 10 et 18 unités turbidimétriques.

D'après les normes, le maximum souhaitable est de 5 et le maximum admissible = 25.

Ainsi, nous sommes dans les limites admissibles.

- PH

à la lumière des normes internationales, nous voyons que nous nous trouvons dans les limites souhaitables.

- Dureté

La comparaison avec les normes nous permettent de conclure à une dureté tolérable.

Alcalinité : Les résultats obtenus nous permettront d'avoir une idée sur notre traitement proposé.

Il nous apparaît donc qu'avec tous les essais qui pouvaient être exécutés, l'eau présente aucun inconvénient pour la boisson.

.../...

Cependant, il ne faut pas oublier que notre projet est principalement axé sur l'évaluation du degré d'agressivité de l'eau. A partir des résultats cueillis au sein du laboratoire de la SONEES de Dakar, évaluons les indices de Langelier :

Analyse de l'eau du chateau d'eau II le 20 - 11 - 78 :

Bases de calcul : voir chapitre (4)

Composantes	mg/l	Poids moléculaire	moles/l
HCO_3^-	305	61	0.0050
Ca^{++}	84	40.1	0.0021
Mg^{++}	21	24.3	0.00086
Cl^-	60.35	35.5	0.00171

PH = 7.7

Charge ionique :

$$[(\text{HCO}_3^-)] = (0.5) (1)^2 (0.0050) = 0.00250$$

$$[(\text{Ca}^{++})] = (0.5) (2)^2 (0.0021) = 0.00420$$

$$[(\text{Mg}^{++})] = (0.5) (2)^2 (0.00086) = 0.00172$$

$$[(\text{Cl}^-)] = (0.5) (1)^2 (0.00171) = \frac{0.000855}{0.00927}$$

$$\text{Charge ionique} = I = 1/2 \sum Z_i^2 / C_i$$

où Z_i = Charge sur ion

C_i = Concentration en moles.

.../...

$$i = PH - PH_s = PH - \left\{ (Pk'_2 - Pk'_s) - \text{Log } [Ca^{++}] - \text{Log Alc} \right\}$$

ici $\text{Log Alc} = \text{Log } [HCO_3^-]$ car $[CO_3^{--}] = 0$

à $T = 25^\circ C$, 0.00927 $Pk'_2 - Pk'_s = 2.28$

(voir page ())

$$\text{Log } [Ca^{++}] = - 2.68$$

$$\text{Log alc} = - 2.60$$

$$\text{Alors } i = 7.7 - (2.28 + 2.68 + 2.60) = 0.14$$

Les mêmes calculs nous donneront pour les données obtenues à la SONEES :

Date	lieu	i
20/11/78	CEI	0.91
12/04/78	CEI	0.14
19/04/78	F2	-0.3
19/09/78	CEI	0.60
19/09/78	F2	0.59

Nous remarquons donc que l'eau n'est pas agressive sur les 4 échantillons. En fait on pourrait même conclure qu'elle a une tendance incrustante.

VI - DISCUSSION ET CONCLUSION

D'après les résultats des analyses exécutées au Laboratoire de l'E.P.T. et ceux de la SONEES, on serait "tenté" de dire que l'eau de Thiès est potable.

La restriction que nous faisons provient essentiellement du fait que la contamination est souvent intermittente et n'est pas forcément révélée par l'examen de quelques échantillons.

.../...

L'analyse d'un échantillon n'indique que les conditions existant au moment du prélèvement ; un résultat satisfaisant ne peut garantir que la situation se maintiendra à l'avenir ; il en est de même pour un mauvais résultat : c'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous nous trouvons bloqués pour la continuation de notre projet car, comme nous l'avions mentionné, notre objectif était de vérifier la conclusion de Mr SENE sur l'agressivité de l'eau de Thiès. Or il s'est trouvé que les calculs sur lesquels il s'était basé proviennent des cas exceptionnels qui ne se sont plus produits depuis lors.

Par ailleurs, dans les calculs de Mr SENE, les PH étaient 6,6 et 6,2 ; or dans ces conditions, d'après Mr LANGELIER, la formule employée par Mr SENE ne s'adapte plus (formule de l'indice de saturation : il faut que le PH soit supérieur à **7.0**).

En fait, le but du projet de Mr SENE était un planing pour un système d'alimentation d'eau de la ville de Thiès ; il était sujet à certaines contraintes de temps qui ne lui permettaient pas d'étudier à fond la qualité de l'eau ; d'autre part la collecte de données au niveau des services est extrêmement difficile, et nous fûmes, durant l'élaboration du présent projet, sujets aux mêmes problèmes.

Ce n'est donc qu'à partir des deux seules données à sa disposition qu'il a pu faire des interprétations ; malheureusement elles ne reflétaient pas un état durable.

En conclusion, nous disons que durant toute la période où nous analysions l'eau de Thiès, nous ne nous sommes jamais confrontés à un phénomène qui pourrait représenter un critère de non potabilité. Le traitement unique qui se fait dans la ville est celui du chlore ; nous pouvons affirmer qu'il est bien fait dans la mesure où sur tous nos échantillons relevés, aucun ne présentait des traces d'infection.

.../...

Arrivé à ce stade, notre projet de fin d'étude, comme mentionné sur le titre, était terminé. Cependant nous proposerons un désign, d'une station de traitement d'eau, adaptable à une population donnée, servant à éliminer l'agressivité d'une eau donnée.

Nous nous baserons sur les statistiques de la ville de Thiès pour pouvoir avoir des données précises afin de déterminer les besoins et le dimensionnement de la station.

C H A P I T R E I I I

ESTIMATION DE LA DEMANDE EN EAU

I GENERALITES

L'estimation de la consommation pour un design demeure un grand problème. En effet, il nous faut avoir des données sur les conditions sociaux économiques et démographiques qui ne sont pas souvent disponibles et quand bien même qu'elles le seraient, elles ne garantiront pas nécessairement un résultat exact.

En fait, le but de l'ingénieur ne sera pas d'avoir un chiffre exact, mais d'obtenir des valeurs qui s'approcheront de la réalité et qui lui permettront de faire un jugement pour exécuter son désign.

Nous n'irons pas faire les études démographiques de la ville de Thiès, moins encore procéder à des enquêtes pour connaître l'évolution de la consommation. Nous appuyerons notre étude sur des statistiques qui ont été établis soit au niveau national, soit au niveau international.

A ce propos, une étude bibliographique sérieuse a été effectuée par Mr Abdoulaye SENE dans le cas de son projet de fin d'études. Les références sont des auteurs très connus et dont les recherches ont été à la base de plusieurs planifications ou bien des résultats de recensement ou des rapports de plans quinquennaux.

II- FACTEURS QUI INFLUENCENT LA DEMANDE

Pour une population comme celle de Thiès, deux facteurs essentielles sont à considérer :

- L'évolution de la consommation
- L'évolution de la population

1) L'évolution de la consommation.

La consommation peut varier indépendamment de la population dépendant de l'augmentation du niveau de vie et des infrastructures en place.

.../...

La consommation moyenne par jour et par habitant varie selon les villes. Dans les grandes villes industrialisées elle peut atteindre 2000 l, y compris les besoins commerciaux et industriels. Cependant, d'après Mr OVERNAN (1), un naufragé peut survivre sur un îlot en ne disposant que d'un seul litre d'eau par jour et cinq litres suffiraient à lui assurer un certain confort.

Entre ces deux extrêmes, il serait très difficile d'estimer le besoin journalier en eau pour la population de Thiès.

Aussi allons-nous nous baser sur une étude du BCEOM pour le compte du ministre français de la Coopération. Dans cette étude le BCEOM estimait les besoins domestiques journaliers pour les agglomérations d'Outre-Mer (1) comme suit :

- boisson	2 à 3 litres
- cuisson des aliments	2 à 4 litres
- propreté corporelle	20 litres
- nettoyage maison-W.C	10 à 20 litres
- lavage du linge	10 à 14 litres

Soit 50 à 60 litres/personne par jour

Cette valeur ne refléterait pas la réalité si nous considérons que la consommation globale concerne :

- La consommation domestique
- La consommation commerciale
- La consommation industrielle
- La consommation collective

Pour évaluer la proportion de ces différentes utilisations, nous allons nous référer aux résultats publiés par le comité AQTE en 1974 (1)

.../...

REPARTITION DE LA CONSOMMATION (%)

AQTE - MISE A JOUR

USAGE

Domestique	57 %
Commercial	8 %
Industriel	12 %
Collectif	3 %
Pertes	20 %

Dès lors, si nous prenons une moyenne de 57 litres par pers/jour, pour la consommation domestique, nous trouverons une consommation globale de $57 \times \frac{100}{57} = 100$ litres/per-jour

A l'heure actuelle, la consommation par personne-jour est de 40 l (cf. Laye SENE) ; donc notre valeur peut paraître très grande. Cependant, ceci peut s'expliquer par le manque d'infrastructure de la ville.

Notre objectif n'est d'ailleurs pas de faire un design sur l'offre actuelle, mais sur la base de la demande en eau de la population.

Cette valeur est suffisamment correcte si l'on sait qu'en 1964, les projets d'adduction d'eau établis pour 20 ans des villes d'Afrique étaient basés sur une consommation moyenne de 115 litres/hbt-jour (1), ce qui concorde bien avec notre résultat.

S'agissant de l'évolution de la consommation, Mr Michael OVERNAN, s'appuyant sur les statistiques des pays développés, note que la consommation urbaine (y compris les besoins industriels) augmente régulièrement de 1 % par personne et par an.

.../...

2) Période de design

Par souci de ne pas prévoir au-delà du possible, nous allons restreindre notre période de design à 12 ans.

En effet, sur une plus longue période, les valeurs de la demande en eau estimées deviendront moins précises

3) Estimation de la population : voir annexe 54) Evolution de la demande en eau.

Soit D_n la demande à l'année n

r = taux d'évolution de la population = 5.3 %

i = taux d'évolution de la consommation = 1 %

D_{1978} = demande en eau en 1978 = 13140 m³/pers/J d'après

le graphique alors :

$$D_n = D_{1978} (1 + i)^{n-1978} (1 + r)^{n-1978}$$

$$= 13140 (1.01) (1.053)^{n-1978}$$

$$= 13140 \times 1.063^{n-1978}$$

pour $0 < n - 1978 < 12$

Année	Demande en eau (m ³ /Pers-jour)
1979	14000
1980	14800
1981	15800
1982	16800
1983	17800
1984	19000
1985	20200
1986	21400
1987	22800
1988	24200
1989	25700
1990	27400

.../...

Ici nous sommes confrontés à un problème très complexe : celui de la capacité des deux châteaux d'eau.

En effet, la capacité des deux réservoirs égale $2500 \text{ m}^3/\text{J}$, au total, alors que la demande en eau pour 1979 s'élève à $14000 \text{ m}^3/\text{J}$.

Il faudrait donc, pour un traitement à la mesure de la demande, trouver une solution qui répondrait à la satisfaction du traitement approprié.

Pour ce faire, nous allons adopter la solution de Mr Abdoulaye SENE :

- le réservoir de 1000 m^3 de capacité = C_2
- le réservoir de 1500 m^3 de capacité = C_1
- le réservoir proposé de 3700 m^3 de capacité = C_3

Soit un total de 6200 m^3 de capacité total. Proportionnellement :

$$C_2 \text{ desservira } \frac{1000 \times 100}{6200} = 16 \% \text{ de la demande}$$

$$C_1 : \quad \quad \quad 24 \% \text{ de la demande}$$

$$C_3 : \quad \quad \quad 60 \% \text{ de la demande}$$

Pendant nous ne pourrons faire un design pour un réservoir qui n'est pas encore construit. Aussi ferons-nous un dimensionnement pour C_1

Année	Demande totale	Demande satisfaite par C_1
1979	14000	3360
1980	14800	3550
1981	15800	3800
1982	16800	4030
1983	17800	4270
1984	19000	4560
1985	20200	4850
1986	21400	5140
1987	22800	5470
1988	24200	5800
1989	25700	6160
1990	27400	6580

C H A P I T R E 4

THEORIE CONCERNANT LE TRAITEMENT REQUIS

Comme nous l'avions mentionné plus haut, une eau agressive peut corroder à froid les métaux, les calcaires, le ciment et même le béton.

L'agressivité dépend principalement de 3 facteurs :

- l'anhydride carbonique libre
- l'alcalinité
- le PH.

Bien qu'il puisse exister d'autre comme les sels, les acides humiques etc..., mais à des degrés moindres.

Une teneur en bicarbonate de calcium et de magnésium correspond à une concentration d'anhydride carbonique libre qui est la quantité indispensable pour que les bicarbonates ne soient pas décomposés avec précipitation des carbonates correspondant. Cette quantité nécessaire est appelée anhydride carbonique équilibrant.

En considérant une eau contenant du CO_2 et mise en contact avec du carbonate de calcium solide en excès, ce CaCO_3 est attaqué par le CO_2 .

Au bout d'un certain temps, un équilibre physico-chimique se produit alors qu'il reste encore du CaCO_3 solide et du CO_2 dissous:

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca CO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca} (\text{CO}_3 \text{ H})_2$$

Il existe donc un équilibre de saturation du CaCO_3 et un PH de saturation du CaCO_3 puisque le PH dépend du rapport :

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ libre}}{\text{CO}_2 \text{ des bicarbonates}}$$

BIBLIOTHÈQUE
ÉCOLE NATIONALE D'INGÉNIEURS
DE BRUXELLES

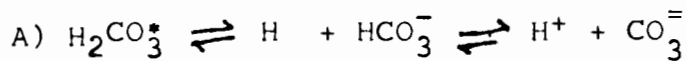
.../...

Schématiquement, on situe le problème de la façon suivante :
 CO_2 libre \rightarrow CO_2 équilibrant \rightarrow présence de CO_2 agressif \rightarrow

Eau agressive.

La vitesse de dissolution du métal est inversement proportionnelle à l'alcalinité, à la dureté (teneur en calcium) et au PH de l'eau ; elle est directement proportionnelle au contraire à sa teneur en oxygène et en gaz carbonique dissous, à sa température et à sa vitesse de circulation (4)

I - EVALUATION DU PH DE SATURATION (10)



$$(1) \quad k_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}$$

$$(3) \quad k_w = 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

$$(2) \quad k_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{--}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$$(4) \quad \text{Alcalinité} \\ = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{--}] + [\text{OH}^-] \\ - [\text{H}^+]$$

B) de (2) $[\text{CO}_3^{--}] = \frac{k_2[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]}$

de (3) $[\text{OH}^-] = k_w / [\text{H}^+]$

utilisant ces valeurs dans l'équation (4), on obtient :

$$(5) \quad \text{Alc.} = [\text{HCO}_3^-] + \frac{2 k_2 [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} + \frac{k_w}{[\text{H}^+]} - [\text{H}^+]$$

d'où on obtient, en isolant HCO_3^- ,

$$(6) \quad \text{Alc} + \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+]} - \frac{k_w}{[\text{H}^+]} = [\text{HCO}_3^-] \left(1 + \frac{2k_2}{[\text{H}^+]} \right)$$

.../...

d'où

$$(7) [\text{HCO}_3^-] = \frac{\text{Alc.} + [\text{H}^+] - k_w/[\text{H}^+]}{1 + 2 k_2/[\text{H}^+]}$$

$$= A$$

alors :

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{k_2}{[\text{H}^+]} A ; \quad \text{H}_2\text{CO}_3^* = \frac{[\text{H}^+]}{k_1} \cdot A$$

Enfin :

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{++}][\text{CO}_3^{2-}]$$

$$= [\text{Ca}^{++}] \frac{k_2}{[\text{H}^+]} \cdot \frac{\text{Alc} + [\text{H}^+] - k_w/[\text{H}^+]}{1 + 2 k_2/[\text{H}^+]}$$

N.8. pour une alcalinité de l'ordre de 10^{-3} ,
 10^{-4} , $[\text{H}^+]$ et $k_w/[\text{H}^+]$ sont négligeables.

$$K_{sp} = \frac{k_2}{[\text{H}^+]} \frac{[\text{Ca}^{++}] \text{Alc}}{1 + 2 k_2/[\text{H}^+]}$$

$$\log K_{sp} = \log k_2 - \log [\text{Ca}^{++}] + \log \text{Alc} + \log$$

$$\left\{ \frac{1}{1 + 2 k_2/[\text{H}^+]} \right\} - \log [\text{H}^+]$$

$$-\log K_{sp} = \log k_2 + \log [\text{H}^+] - \log [\text{Ca}^{++}] - \log \text{Alc}$$

$$- \log \left\{ \frac{1}{1 + 2 k_2/[\text{H}^+]} \right\}$$

$$p K_{sp} = pK_2 - p\text{H} - \log [\text{Ca}^{++}] - \log \text{Alc} + \log I'$$

$$\text{où } I' = 1 + 2 k_2/[\text{H}^+]$$

et $p\text{H} = p\text{H}$ de stabilité

$$= p\text{H}_s$$

$$p\text{H}_s = p K_2 - pK_{sp} - \log[\text{Ca}^{++}] - \log \text{Alc} + \log I'$$

.../...

si $pH > pH_s$ l'eau tend à être incrustante

$pH < pH_s$ l'eau tend à être agressive

C) Facteurs à considérer

charge ionique (créée par les solides dissous) et température

- charge ionique $I = 1/2 \sum Z_i^2 C_i$

où Z_i = charge sur ion

C_i = concentration en moles

Nous sommes donc conduits à considérer l'indice de Langelier :

$$i = pH - pH_s$$

$i < 0 \Rightarrow$ eau agressive

$i > 0 \Rightarrow$ eau incrustante

II LUTTE CONTRE LA CORROSION

Les aspérités et les boursoufflures que la corrosion provoque sur les parois intérieures des conduites d'eau à base de métaux ferreux réduisent notablement la capacité de débit de ces conduites comme le montre le tableau ci-dessous

pH de l'eau	Réduction de capacité en 30 ans (%)
6.0	85
6.5	60
7.0	45
7.5	35
8.0	30

Réduction de la capacité des conduites de fonte par corrosion et tuberculisation

(D'après COX (1952)

P.182

.../...

A la lumière de ce tableau, apparaît l'importance de l'effet corrosif de l'eau. Aussi, plusieurs moyens de lutte contre la corrosion sont-ils employés ; ils sont au nombre de 5.

- Elimination de l'oxygène dissous
- Elimination du gaz carbonique
- Chloration destinée à prévenir l'action biochimique qui favorise la corrosion
- Application de peintures, vernis, revêtements de ciments etc...
- Dépôt d'une couche protectrice

Chacune de ces cinq méthodes présente une certaine efficacité. Cependant, nous utiliserons la dernière qui a l'avantage de l'efficacité et de la rentabilité quand de la chaux est utilisée.

III- EFFET DE LA CHAUX

1) Les types de chaux

La chaux se présente sous 2 formes

- a) chaux vive CaO dont la teneur en oxyde de calcium varie de 75 à 99 % dépendant de la qualité. Elle doit être hydratée avant d'être utilisée. Elle se présente souvent en roches.
- b) Chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$: elle est le produit de l'hydratation de la chaux vive. Elle se présente en forme de petits sacs de 50 kg dans le marché. Elle est composée de particules fines et ne nécessite aucune hydratation supplémentaire. Elle est très pratique pour la manipulation.

.../...

Dans le cadre de notre projet, c'est celle que nous adopterons.

2) Effet de la chaux

L'eau étant agressive, le produit des concentrations des ions Ca^{++} et CO_3^{--} est inférieure à k_s . Le système formé par cette eau, en présence de calcaire solide n'est donc pas stable. Des molécules de CaCO_3 solide passent en solution. L'équilibre initial entre CaCO_3 solide et les ions Ca^{++} et CO_3^{--} est donc modifié et corrélativement, sont modifiés les équilibres de dissociation de HCO_3^- , H_2CO_3 et H_2O .

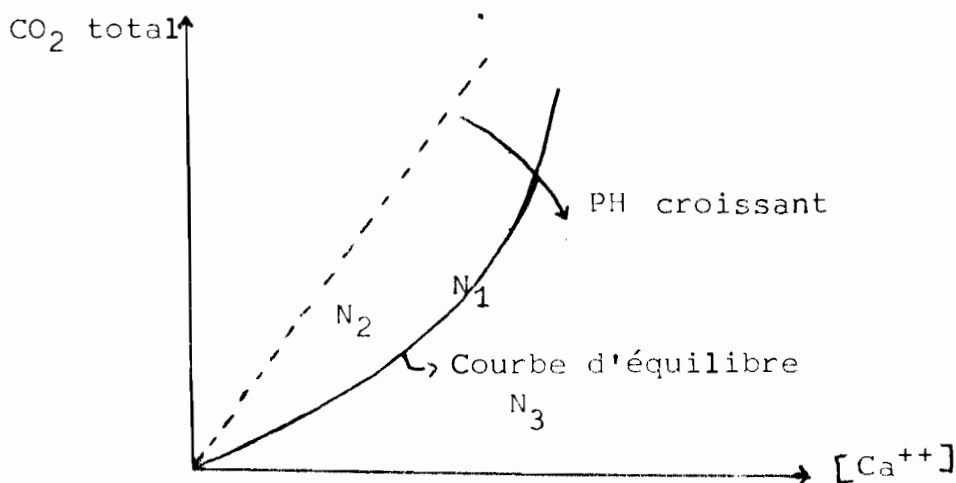
Il apparaît qu'au cours de l'évolution, l'accroissement de la concentration en ions calcium est égal à l'accroissement du CO_2 total, puisqu'à nombre égal d'ions calcium émis par le calcaire solide ; ceci signifie que la différence CO_2 total - $[\text{Ca}^{++}]$ reste constante.

Si la quantité de calcaire solide est suffisante, le système, en fin d'évolution, sera constitué par une eau à l'équilibre calcocarbonique en présence d'un excès de calcaire.

Si la quantité de calcaire solide est insuffisante, le système, en fin d'évolution, sera constitué par une eau encore agressive, la totalité du calcaire ayant été consommée.

La chaux, de formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$, crée l'augmentation de la concentration de l'eau en ions calcium. Le CO_2 total reste constant. Le PH augmente.

.../...

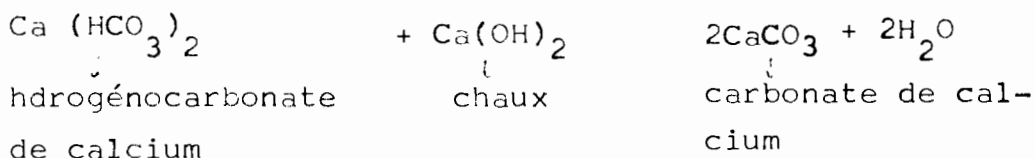
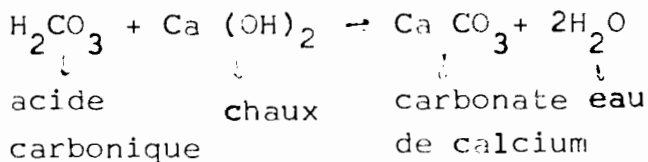


N_1 = eau encore agressive

N_2 = eau à l'équilibre

N_3 = eau calcifiante

Les aspects essentiels des réactions



IV - SIMULATION D'UNE EAU AGRESSIVE

Nous remarquons, d'après le calcul, que "i" est fortement influencé par le pH. C'est cette considération qui nous permettra de faire la simulation.

1) Principe.

Pour l'eau considérée, l'indice de Langelier n'est jamais descendu en dessous de - 1. Nous nous sommes alors proposé de créer l'état agressif en ajoutant de l'acide, de telle manière à réduire le PH sans modifier les éléments.

.../...

Une fois l'eau devenue agressive, nous réajusterons le PH avec de la chaux, sur différents échantillons, pour avoir la dose optimale pour rendre à l'eau, son état d'équilibre, dose sur laquelle nous nous appuyerons pour établir notre design.

2) Procédure

Sur six échantillons d'eau de 1 litre, nous calculons le PH (qui sera le même) et l'alcalinité. Ensuite, pendant que nous exécutons l'essai au marbre avec un échantillon, sur les cinq autres, on réduit le PH de façon à avoir une eau agressive. Des essais au marbre seront faits sur les cinq échantillons.

La dernière étape consistera à prendre d'autres échantillons, réduire le PH et le réajuster avec de la chaux, en prenant soin de noter pour chaque réajustement la quantité de chaux requise.

Refaire des essais de marbre sur les échantillons

3) Résultats obtenus

- Eau sans réajustement

avant essai	au marbre	après essai	au marbre
PH	Alcalinité	PHs	Alcalinité=As
7.7	260	6.9	228

.../...

- Echantillon 1

	avant essai	au marbre	Après essai	au marbre
	PH ₀	Alcalinité = A ₀	PH = PH _s	Alcalinité = A _s
PH réduit	6.3	176	6.9	230
PH réa-justé	6.90	210	7.3	216

Quantité de chaux : 72 mg/l

- Echantillon 2 :

	avant essai	au marbre	Après essai	au marbre
	PH ₀	A ₀	PH _s	As
PH réduit	6.3	-	-	-
Ph réa-justé	-	-	-	-

Quantité de chaux :

- Echantillon 3 :

	avant essai	au marbre	Après essai	au marbre
	PH ₀	A ₀	PH _s	As
PH ré-duit	6.15	144	6.9	228
PH réa-justé	6.8	180	7.2	220

Quantité de chaux : 70 mg/l

.../...

- Echantillon 4

	Avant essai	au marbre	Après essai	au marbre
	PH	A ₀	PHs	As
PH réduit	6.35	176	6.9	225
PH réa-justé	7.5	180	7.4	176

Quantité de chaux : 90 mg/l

- Echantillon 5

	Avant essai	au marbre	Après essai	au marbre
	PH	A ₀	PHs	As
PH ré	6.45	184	6.9	240
PH réa-justé	7.7	190	7.5	175

Quantité de chaux : 90 mg/l

4 - Interprétation

On pouvait donner simplement le résultat sans donner ici, en détails tous les essais. Cependant, il faut remarquer que la présentation des résultats obtenus montrera mieux l'évolution.

D'après la théorie de l'essai au marbre mentionnée au chapitre ()

PHs > PH₀ et As > A₀ → eau agressive

PHs < PH₀ et As < A₀ → eau incrustante

.../...

Eau sans réajustement : $PH_s > PH_o$ $As < A_o$

Donc on ne peut conclure

Echantillon 1

- PH réduit $PH_s > PH$ et $As > A_o$

Donc l'eau est agressive

- PH réajusté $PH_s > PH$ et $As > A_o$

Quantité de chaux = 72 mg/l

Donc eau encore agressive, mais à un degré moindre.

Il semblerait qu'on s'approche de l'équilibre.

Echantillon 2 : N'a rien donné.

Echantillon 3

- PH réduit $PH_s > PH$ et $As > A_o$

Donc eau agressive

- PH réajusté : $PH_s > PH$ $As > A_o$

Eau encore agressive

Quantité de chaux = 70 mg/l

Echantillon 4

- PH réduit : $PH_s > PH$ $As > A_o$

Eau agressive

- PH réajusté : $PH_s < PH$ $As < A_o$

Donc eau incrustante

Quantité de chaux = 90 mg/l

Echantillon 5

- PH réduit : $PH_s > PH$ et $As > A_o$

Donc eau agressive

- PH réajusté : $PH_s < PH$ et $As < A_o$

Donc eau incrustante

Quantité de chaux : 90 mg/l

.../...

Après analyse des résultats, nous voyons qu'il est très difficile de choisir une valeur exacte ; en effet, les différences entre les PH réduits **ne** nous permettent pas de nous prononcer.

Cependant la situation de l'échantillon 5 est la plus proche de celle décrite dans le projet de Mr Abdoulaye SENE.

Nous estimerons donc que la quantité de chaux réduite à 80 mg/l conviendrait à réduire l'agressivité.

Cette valeur nous paraît d'autant plus correcte qu'elle représente bien une moyenne de celles trouvées au cours des essais.

Il y aura lieu de mentionner, pour clore ce chapitre, que nous aurions pu faire mieux si nous disposions des réactifs nécessaires.

Donc on est réduit au minimum, c'est-à-dire exécuter les essais au marbre qui, soulignons le une fois de plus, demeurent incertains car ils nous donnent des indications sur l'état incrustante ou agressif de l'eau, mais ne peuvent nous fixer sur le dosage optimal qui est nécessaire pour un bon design. Cependant, le résultat obtenu pourra demeurer pour un bon jugement.

.../...

C H A P I T R E **V**

DESIGN DES EQUIPEMENTS DE TRAITEMENT

I - INTRODUCTION

C'est dans cette phase finale du "design" ou conception que l'ingénieur est le plus souvent confronté à des difficultés à cause des différentes possibilités qui s'offriront à lui et parmi lesquelles il aura à choisir sa solution.

Ce choix ne doit pas être arbitraire et c'est justement le côté complexe du design, car le concepteur sera en face de plusieurs contraintes qui seront pour la plupart, à prime abord, contradictoires.

En effet, ce qu'il concevra doit être le plus possible :

- Necessaire
- Efficace
- Pratique
- Economique
- Beau
- Durable

Ceci rejoint la théorie fondamentale des ingénieurs : créer des oeuvres selon la formule : Beau, Bon, Pas cher.

Par ailleurs, il faut aussi que la création soit adaptable au milieu pour lequel il est conçu.

S'agissant de l'investissement, l'ingénieur aura à se poser des problèmes.

- Quels sont les meilleurs matériaux possibles ?
- Sont-ils disponibles sur le marché (problèmes des ruptures de stocks) ?
- Ou trouver la main-d'oeuvre ?
- Comment faire le projet le plus rapidement possible ?

.../...

Tout ceci constitue, bien sûr, des problèmes qu'il faut résoudre, mais aussi un canevas qui nous permettra de mener à bon terme notre projet. La réponse à ces questions demande une certaine expérience et une bonne connaissance du milieu et du marché. Pour ce qui nous intéresse, à défaut des dites expérience et connaissance du marché, nous nous contenterons de notre logique et de quelques enquêtes faites au niveau de Thiès.

Cependant, nous allons principalement orienter notre design suivant le procédé décrit plus haut.

II - ENONCE DU PROBLEME

Nous sommes en présence d'une eau agressive. Le traitement proposé est celui à la chaux.

Nous devons faire de telle sorte que chaque litre d'eau soit mélangée à 80 mg de chaux.

1) Conditions de design

Pour une usine de traitement, le design se fait selon des conditions satisfaisant les journées de consommation maximale. Ceci suppose donc un coefficient de majoration de 1,5.

.../...

année	Quantité d'eau m ³ /J	Quantité de chaux requise (kg/jour)	
		Journée ordinaire	Journée de consommation maximale
1979	3360	270	405
1980	3550	284	425
1981	3800	304	455
1982	4030	322	480
1983	4270	342	515
1984	4560	365	550
1985	4850	388	580
1986	5140	411	620
1987	5470	438	660
1988	5800	464	695
1989	6170	493	740
1990	6580	526	790

voir la courbe en fin de chapitre

2) Utilisation du graphique

La courbe en fin de chapitre pourra nous servir tout au long de la période de design.

Pour une année donnée, la portion du graphique correspondant pourrait être agrandie afin de permettre une plus grande précision. Ainsi, chaque jour, le préposé au ravitaillement lira directement la quantité de chaux adéquate pour faire la "bache".

.../...

Cependant, pour le dimensionnement, il conviendrait de calculer les dimensions et les capacités pour le jour de consommation maximale de la dernière année, c'est-à-dire pour 1990.

III - CONSIDERATIONS GENERALES

Pour qu'un projet reflète bien la réalité, il faudrait passer en revue différents points qui peuvent avoir une influence sur le désign.

1) Division de la période de design

La quantité de chaux nécessaire pour notre station de traitement n'est pas très importante. Aussi, proposons-nous un design qui, au lieu de se répartir en plusieurs tranches, se fera sur une seule, comme nous verrons l'opportunité plus tard.

2) Durée de stockage et transport

Les ruptures de stock demeurent un problème permanent, surtout durant ces périodes d'inflation où une spéculation peut faire disparaître un produit du marché. Un de nos soucis consistera à assurer en permanence le bon déroulement du traitement. C'est dans cette perspective que l'on va envisager, dans la mesure du possible, un magasin de stockage qui pourra, à la fin de notre période de design, emmagasiner un stock pouvant ravitailler la station pendant une durée d'un mois.

.../...

Ce choix est d'autant plus judicieux qu'il nous permettra de faire des économies sur les frais fixes et variables qui pourraient subvenir quand la fréquence de ravitaillement demeure élevée.

Dans ces conditions, nous ne voyons pas l'opportunité d'acheter un camion car les frais d'entretien et d'utilisation pourraient être trop élevés pour une fréquence de ravitaillement faible.

3) Pour les stations de grande envergure, le déversement de la chaux dans le bac de la préparation de la bache se fait par des procédés mécaniques tels que le tapis roulant.

Cependant, quand il s'agit de petites stations comme notre cas, on peut faire le travail avec des manoeuvres, vu que la main-d'oeuvre ne coûte pas très cher, d'ailleurs les employés de la SONEES pourraient s'en occuper sans qu'il ait besoin d'en recruter d'autres.

IV - DONNEES TECHNIQUES

1) Temps de rétention

Le temps de rétention est la durée pendant laquelle le produit injecté est en contact avec l'eau à traiter avant l'évacuation à d'autres fins (autres traitements ou alimentation)

Pour un réservoir d'une capacité C et des pompes de débit Q, le temps de rétention nominal t sera :

$$t = \frac{C}{Q}$$

Pour le réservoir considéré C₁ :

$$C = 1500 \text{ m}^3$$

.../...

Débit	Début 1979 Jour ordinaire	Fin 1990 Jour max.
Q (m ³ /h)	3360 : 24	6380 x 1.5 : 24
t(heures)	10.7	3.6

Donc si l'équipement en pompes est tel qu'à chaque période du design C_I dessert la population qui lui est asservie, les temps de rétention s'échelonnent entre 10.7 heures et 3.6 heures.

Cependant ceci suppose que le réservoir est toujours plein. En pratique le phénomène qui arrive est tout autre.

Les normes demandent un temps de rétention minimum de 20 minutes à 30 mn.

Ceci suppose un certain volume minimal du réservoir :

	Début 1979	Fin 1990
Volume d'eau dans le réservoir (minimum)	47 à 70 m ³	137 à 206 m ³

Voir détails dans le tableau récapitulatif

Bases de calcul du tableau :

$$V = t \times Q$$

$$\text{1er cas } \frac{20 \times 3360}{60 \times 24} \approx 47 \text{ m}^3$$

.../...

2) Préparation du lait de chaux

Le lait de chaux est une solution concentrée de chaux. Si la concentration est trop faible, les dimensions du bassin seront très grandes. Par contre si elle est trop forte, le mélange sera très difficile.

Le mélange standard d'après AWWA est un rapport chaux-eau de 1 : 4 (voir tableau récapitulatif) en poids.

Tableau récapitulatif

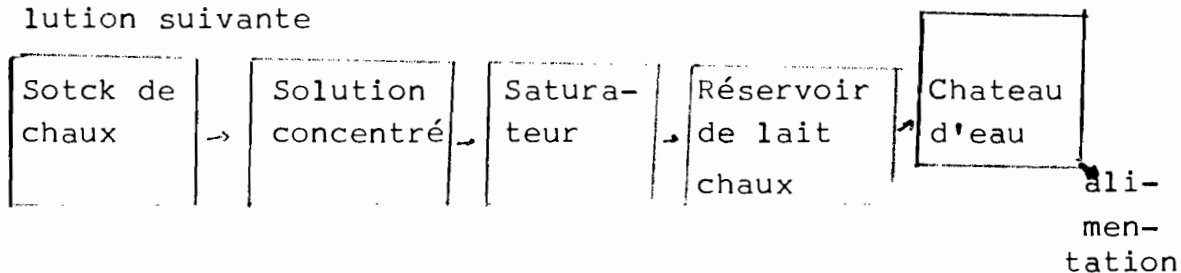
année	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Volume d'eau minimum dans le réservoir (m ³)	47	49	53	56	59.3	63.3	67.4	71.4	76	80.6	85.5	91.4
Volume de solution concentrée m ³ /J	2.03	2.13	2.28	2.40	2.58	2.75	2.90	3.10	3.30	3.48	3.7	3.95

Voir graphique en fin de chapitre

.../...

V - ENONCE DE LA SOLUTION PROPOSEE

L'eau, avant d'arriver au premier consommateur, doit subir le traitement ; pour cela, nous proposons la solution suivante



A l'heure actuelle seul le chateau d'eau est en place. Nous avons parlé du magasin de stock de chaux et du Bac de la solution concentrée donc de leur utilité. En fait on pouvait, à partir du bac, verser la solution concentrée vers le chateau d'eau, ceci grâce à une pompe doseuse.

Cependant, avec la chaux et l'eau, il se forme des impuretés du réactif et des précipités du carbonate, formés par réaction sur les sels de l'eau.

Dès lors, la saturateur aura pour but d'évacuer les impuretés.

Nous avons pensé à pourvoir le dispositif d'un réservoir après le saturateur. Son rôle sera de former un stock de lait de chaux exempt de toutes impuretés dues au sel.

1) Magasin de stock de la chaux

Dans les grandes usines de traitement, de stock se fait dans des silos ; pour les petites stations, une chambre suffirait.

.../...

a) Précautions

- Comme nous l'avons déjà mentionné, il faut que la capacité du magasin soit suffisante pour contenir, à la fin de la période de design, une quantité de chaux pouvant alimenter l'usine de traitement sur une période de 1 mois.
- Il ne faut pas que les sacs se superposent sur une très grande hauteur, ceci afin d'éviter les tassements qui pourraient subvenir et le gachis du produit qui pourrait en résulter.

b) Dimensionnement

La chaux éteinte se trouve dans le marché sous forme de sacs de 50 kg environ avec les dimensions approximatives suivantes :

longueur = 50 cm

largeur = 30 cm

hauteur = 20 cm

Le nombre de sacs maximum :

$$\frac{790 \times 30}{50} = 474 \text{ sacs}$$

Un magasin de 4 x 3 x 3 m pourrait contenir :

$$\frac{4}{0.5} \times \frac{3}{0.3} \times \frac{3}{0.2} = 1200 \text{ sacs}$$

Si nous considérons la porte d'entrée et le minimum d'espace vide requis, les dimensions 4 x 3 x 3 conviendraient.

2) Préparation de la solution concentrée

Le volume de la solution concentrée pour chaque période est lu dans les graphiques.

La quantité maximum pour la dernière année est de 3.95 m³ par jour.

.../...

D'après AWWA, le bassin doit avoir une surface de base la plus grande possible.

Dimensions : $2.5 \times 2 \times 1 \text{ m} = 5 \text{ m}^3$

Puisque le saturateur n'apportera aucun surplus de volume et qu'il ne servira que d'intermédiaire, nous proposerons les mêmes dimensions pour le réservoir de lait de chaux.

3) Saturateur

Il ne s'agit pas, à proprement parler, d'un saturateur ; en effet, l'appareil dénommé "saturateur" a une double fonction :

- faire un dosage de chaux continu
- évacuer les impuretés.

Comme déjà mentionné, la première fonction sus-citée est remplie manuellement. L'appareil que nous désirons doit donc avoir le seul but d'évacuer les impuretés, je veux parler des carbonates de chaux.

Principe : Son fonctionnement est identique à celui d'un cône IMHOFF.

Après brassage les résidus se disposent au fond du cône.

Dimensionnement

Le volume peut égaler celui du bac de mélange.

4) Doseur du lait de chaux

Le dosage se fait par asservissement proportionnel du dosage du réactif au débit d'eau.

Principe : Un mesureur de débit d'eau, placé sur la tuyauterie d'alimentation de l'installation, émet une impulsion chaque fois qu'il a comptabilisé le passage d'une certaine quantité d'eau dans cette tuyauterie.

.../...

Ces impulsions, émises donc à cadence variable suivant le débit et le nombre dans un temps donné est proportionnel à ce débit, sont reçues par un appareil dénommé CHRONOCONTACT qui transforme chacune d'elles en un signal de durée constante réglable.

Le dispositif de dosage de réactif est, pendant la durée de ce signal, automatiquement mis en fonctionnement.

Dans le cadre de notre projet, nous utiliserons une pompe doseuse à membrane qui a un débit maximum de 250 litres/h car : nous avons besoin de 80 mg de chaux par litre d'eau.
débit maximum des pompes :

$$\frac{6580 \times 1.5}{24} = 411.25 \text{ m}^3/\text{h}.$$

débit correspondant de lait de chaux

$$\frac{411.250 \times 80 \times 5}{106} = 165 \text{ l/h}$$

Année	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Débit de la pompe doseuse en l/h	84	89	95	101	107	114	121	129	137	145	154	165

Voir graphique en fin de chapitre

IV - MISE EN OEUVRE

Chaque matin, après lecture sur la courbe, la quantité de chaux requise est mélangée avec l'eau dans le bac de mélange.

La quantité d'eau nécessaire est obtenue grâce à un tuyau d'alimentation branchée sur le chateau d'eau.

.../...

Le mélange se fera mécaniquement avec un seul agitateur

Le temps requis pour le brassage bien que dépendant de l'équipement, demeurera très court (au plus 30 minutes)

Une fois le mélange accompli, le lait de chaux sera acheminé vers le saturateur par pompage.

Le volume de lait de chaux pour la dernière année est de 3.95 m³ par jour. Ceci suppose une pompe de 3950 l/jour.

Cependant, par souci de voir les impuretés éliminées rapidement, nous suggérons l'évacuation rapide du lait de chaux vers le saturateur.

Une pompe de 4 m³/h fera le travail nécessaire.

Si nous supposons une vitesse de 1.5 m/s, calculons le diamètre D de la conduite

$$A = \frac{MD^2}{4} = \frac{4}{3600 \times 1.5} = 0.74 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 7.4 \text{ cm}^2$$

$$D = \frac{7.4 \times 4}{\pi} = 3.07 \text{ cm}$$

Le choix d'une pompe est nécessaire puisque nous voulons bâtir le saturateur sur pieux. Ainsi les boues causées par le carbonate de calcium seront évacuées par le bas, après chaque utilisation par l'ouverture d'un clapet.

Ceci nous permettra aussi d'alimenter le réservoir en lait de chaux par système de gravité.

vis l'élévation du saturateur (1 mètre) et l'espace disponible assez restreint (L ≈ 4 m) $h_f = 250 \text{ m} : 1000 \text{ m}$

⇒ D = 10 cm d'après HAZEN WILLIAMS.

Ce calcul est basé sur le dernier jour de 1990 avec une évacuation d'une durée de 1 heure de temps.

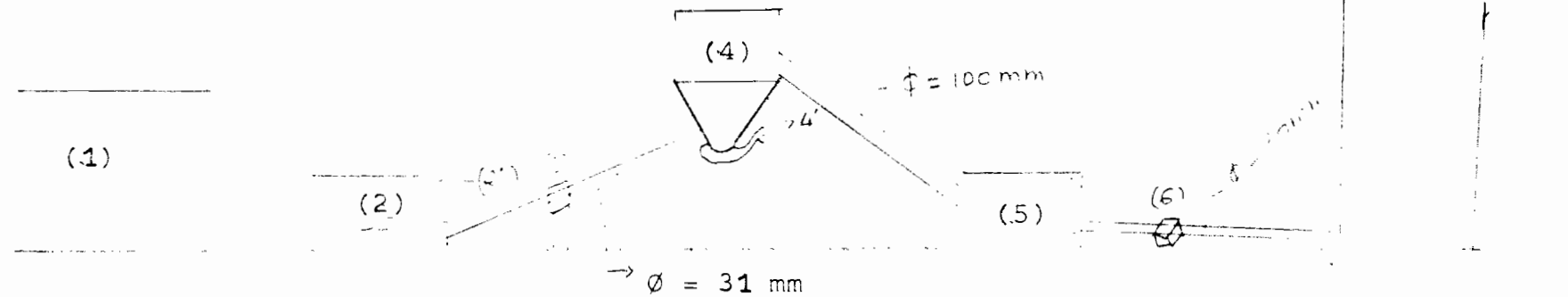
.../...

A partir du réservoir, le dosage se fera par pompe doseuse. Le réactif sera injecté à l'eau juste au moment de la rentrée dans le château-d'eau. Le débit de la pompe doseuse, comme mentionné, égale à 165 l/h au maximum. L'examen du graphique de HAZEN WILLIAMS⁽¹⁾ montre que ce diamètre correspondant, pour une perte de charge et une vitesse convenables, est très faible. Arbitrairement, nous choisirons un diamètre de 2 cm. Il y aura lieu à mentionner la nécessité d'un système de brassage au niveau du saturateur et du réservoir, afin qu'il n'y ait pas de décantation de la chaux.

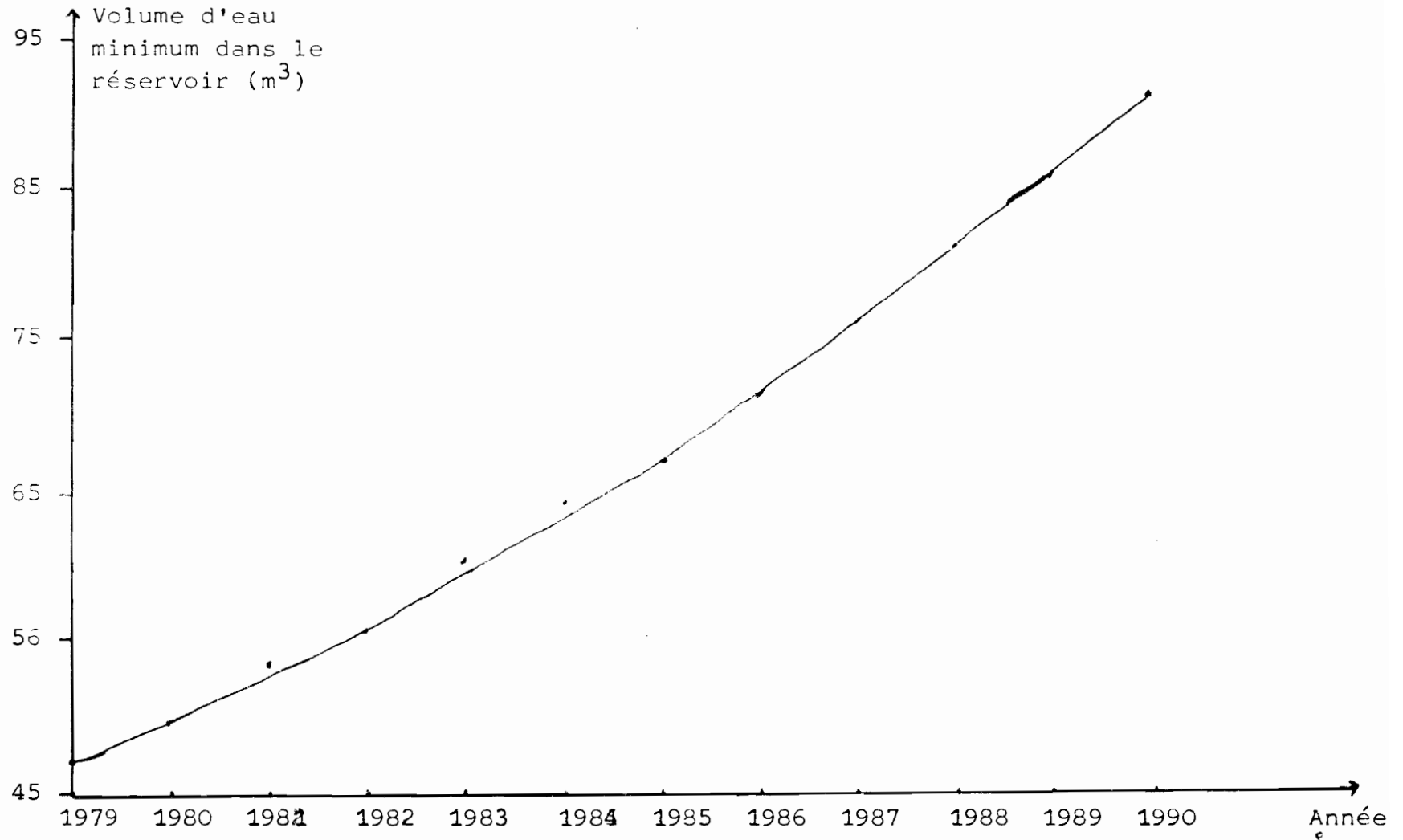
D'autre part, pour une journée donnée, la quantité de lait de chaux restant dans le réservoir peut être élevée. Ce phénomène peut arriver presque toujours. Aussi, proposons-nous un système de mesure de niveau au sein du dit réservoir, ce qui nous permettra de faire le mélange de lait de chaux nécessaire pour ne pas créer un surplus.

.../...

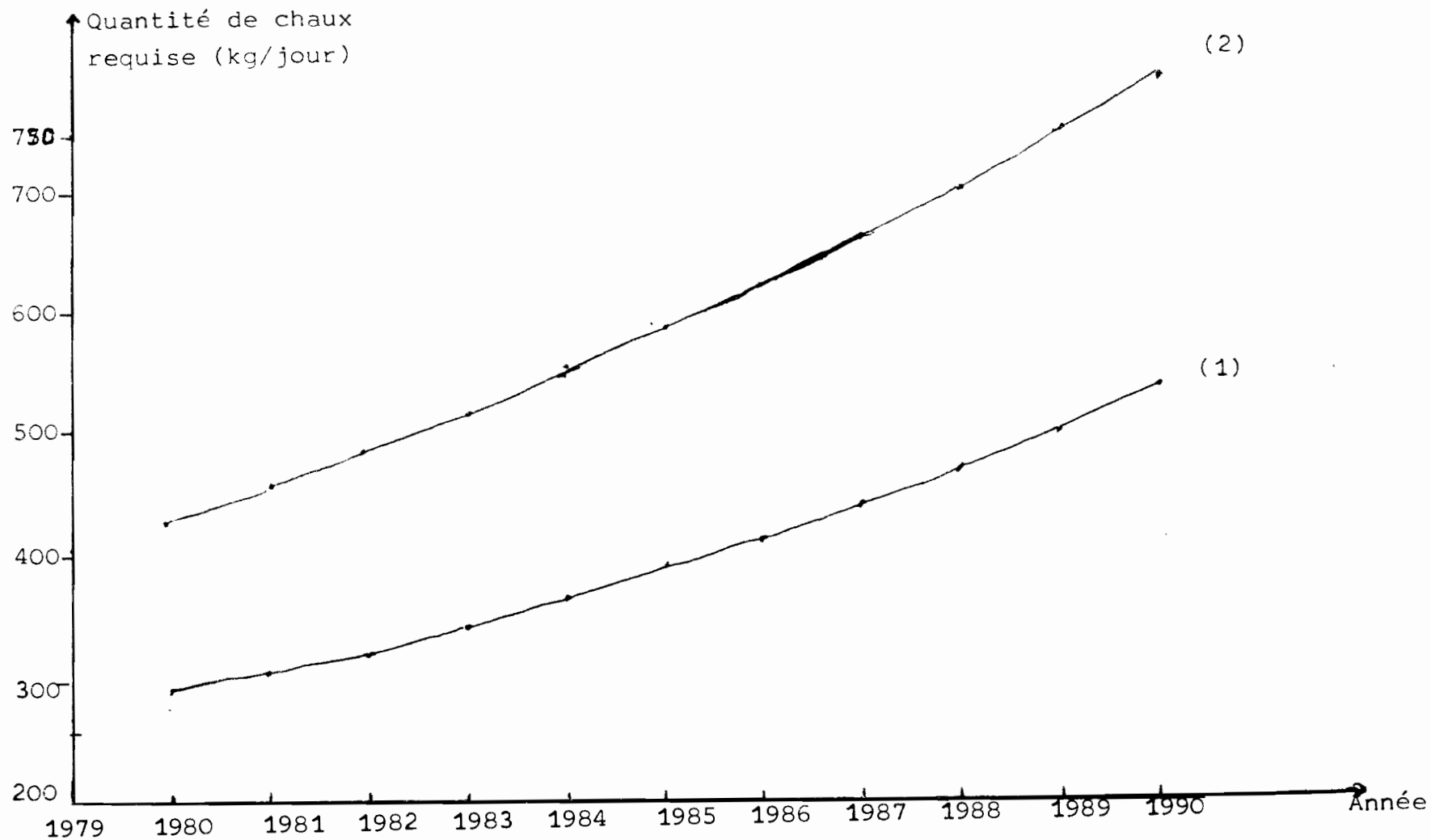
SCHEMA DE LA STATION PROPOSEE



- (1) Magasin de stockage de la chaux : Longueur $L = 4$ m ; largeur $l = 3$ m ;
Hauteur $h = 3$ m
- (2) Bac de mélange du lait de chaux : $L = 2.5$ m ; $l = 2$ m ; $h = 1$ m
- (2') Graduation
- (3) Pompe de lait de chaux : capacité = $4000 \text{ m}^3/\text{h}$
- (4) Saturateur de lait de chaux : $L = 2.5$ m ; $l = 2$ m ; $h = 1$ m
- (4') Clapet d'évacuation des boudes
- (5) Réservoir de lait de chaux : $L = 2.5$ m ; $l = 2$ m ; $h = 1$ m
- (5') Graduation
- (6) Pompe doseuse
- (7) Chateau d'eau

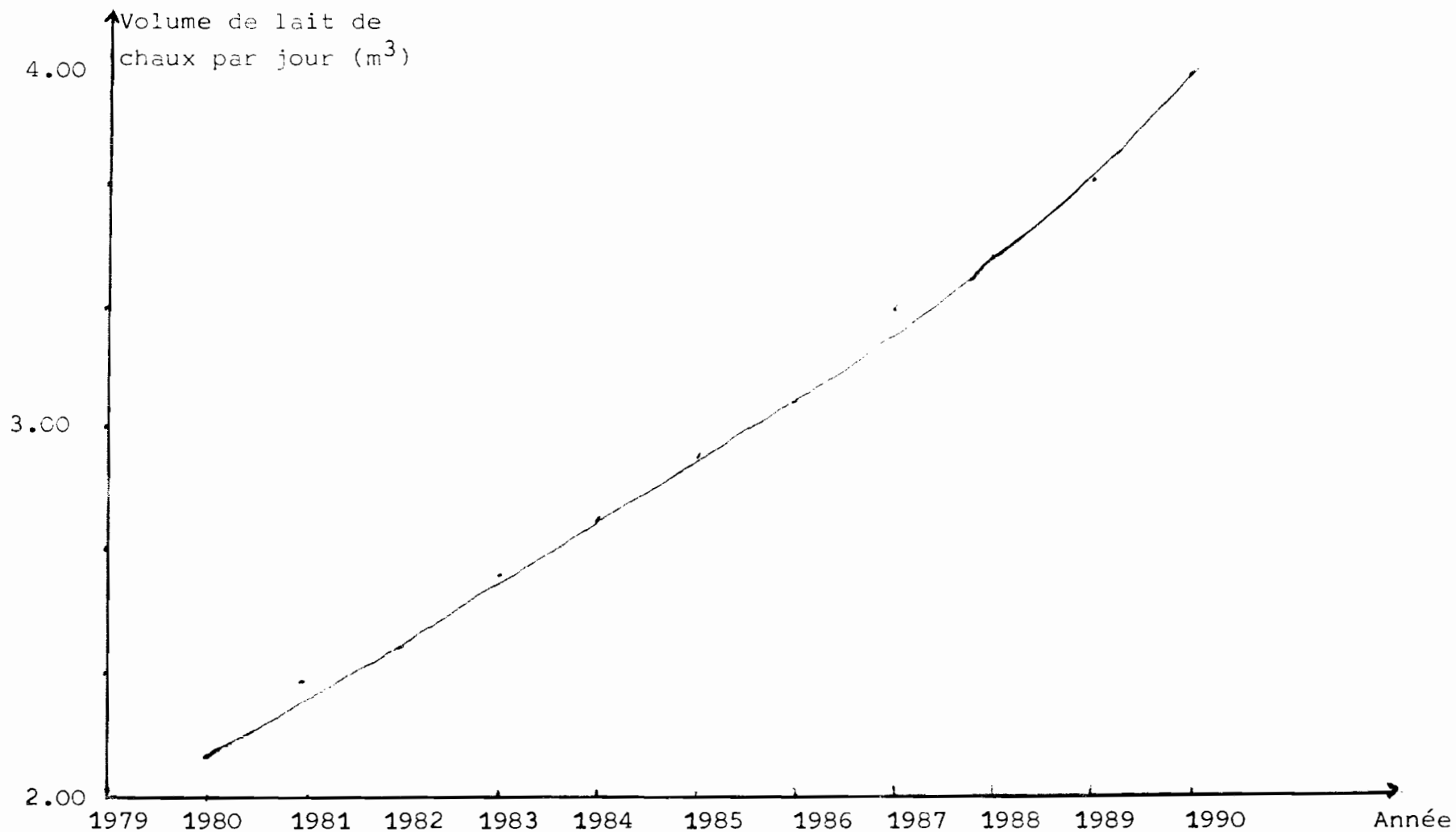


Volume d'eau minimum dans le réservoir en fonction du temps.

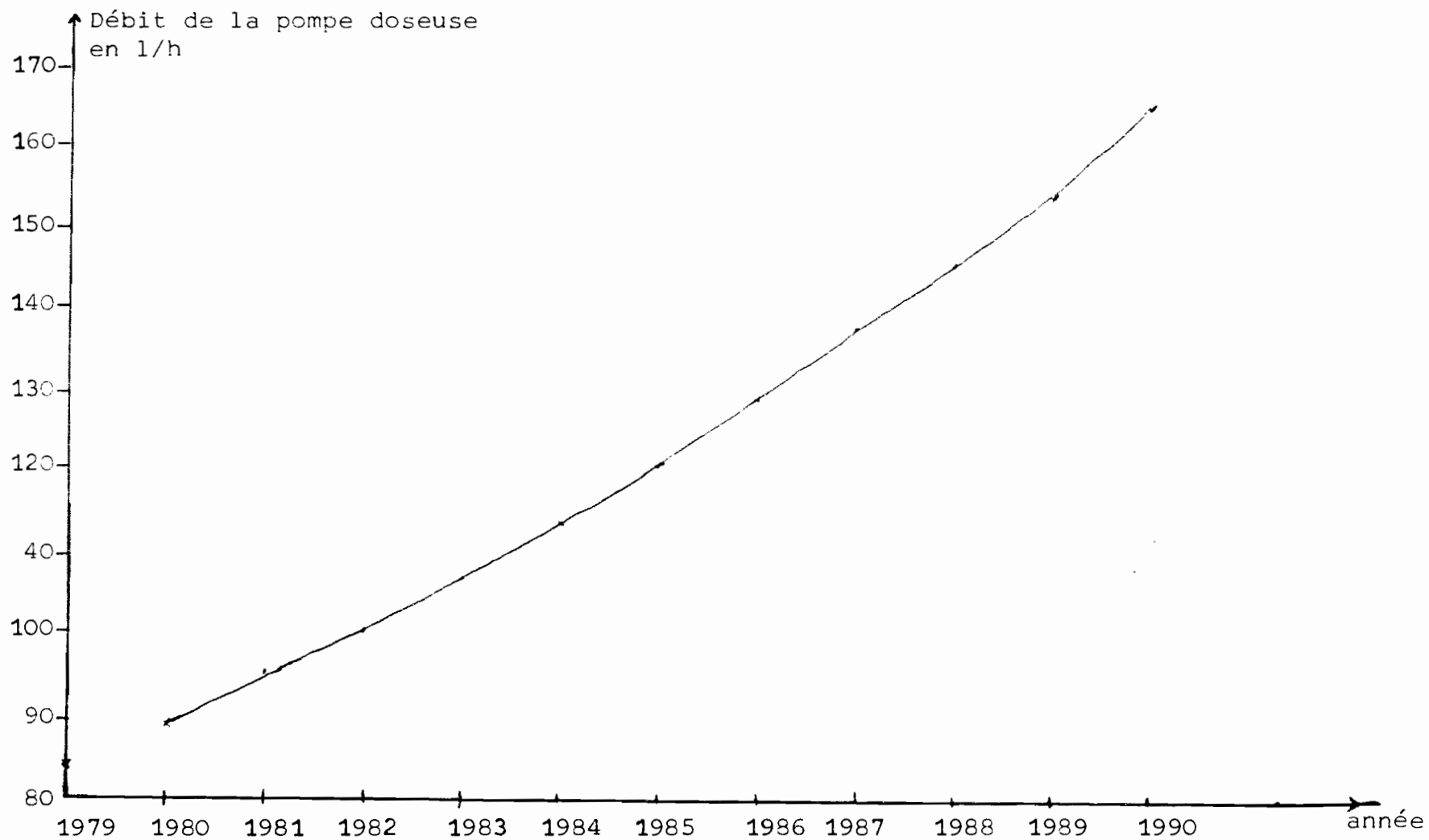


(1) Jour ordinaire

(2) Jour de consommation max.



Volume de solution concentré en fonction du temps



Débit de la pompe doseuse en fonction du temps

C H A P I T R E VI

CONCLUSION ET DISCUSSIONS

L'eau de Thiès nous apparaît donc potable, du moins durant la période à laquelle nous nous sommes livrés à son analyse. Cependant, notre optimisme, réservé dans la première conclusion peut être entier si nous considérons le fait que l'eau de Thiès soit une eau souterraine.

En effet la composition des eaux souterraines est souvent stable, et leur qualité bactériologique bonne, comparées aux eaux de surface. Nous n'en voudrions pour preuve que le traitement sophistiqué qui se fait pour l'alimentation à partir du lac de Guiers. Les eaux souterraines, prélevées à une profondeur suffisante sont en général très pures.

Les seuls inconvénients pouvant être des facteurs de pollution sont les infiltrations à partir de la surface du sol, par les cours d'eau, les étangs, les lacs ou les eaux polluées de nature diverses, telles que les eaux usées domestiques, les eaux résiduelles industrielles etc...

Ces cas ne se rencontrent pas à Thiès, ce qui nous garantit déjà, sans analyse préalable, un jugement positif et concorde avec notre résultat.

S'agissant du "design", nous remarquerons tout d'abord que nous n'avons pas la prétention de donner la solution miracle. Notre conception est basée sur des statistiques. Les quantités de chaux calculées peuvent être un peu éloignées de la réalité. Ce qui suppose donc une certaine souplesse de notre solution. La mise en oeuvre doit être suivie par des analyses périodiques pour voir à quel point notre solution est correcte et faire des rectificatifs nécessaires. Par exemple, on peut débiter par 60 mg/l et progresser, jusqu'à avoir la dose optimale.

.../...

On pourrait, à première vue, être frappé par la simplicité de notre solution, si l'on considère que les usines de traitement d'eau nécessitent des dispositifs qui, pour la plupart, sont très sophistiqués. Nous avons remédié à cette alternative pour 3 raisons :

- La première réside dans les petites doses nécessaires à la bonne marche de notre traitement. Si nous avons besoins d'un grand débit de lait de chaux, nous aurions à utiliser par exemple, un décanteur PULSATOR qui coûte extrêmement cher.
- L'automatisation poussée entraîne l'achat d'appareils automatiques coûteux et trop complexes pour être confiés à un personnel inexpérimenté. Leur utilisation demandera des ingénieurs et des techniciens expérimentés ; en outre ils sont importés et les pièces de rechange ne sont pas souvent disponibles sur le marché sénégalais.
- Enfin, il ne faut pas perdre de vue le fait que le but du traitement est d'éliminer l'agressivité de l'eau donc d'augmenter la durée de vie des tuyaux d'alimentation. Or, si nous concevons un "design" qui coûtera plus cher que les conséquences des ravages des tuyaux, notre station ne verra plus sa raison d'être et le "design" ne répondrait pas aux objectifs fixés à savoir le caractère économique.

A ce propos, nous aurions bien aimé estimé le coût de nos installations ; mais nous sommes confrontés à des contraintes de temps, car cette étude est très difficile chez nous. Dans les pays développés, des recherches ont été faites dans ce sens : des manuels et brochures où sont évalués les coûts des bâtisses et des appareils de traitement, dépendant des dimensions et du matériau utilisé ; des références de ce genre pourraient nous donner une idée de nos coûts d'installation et de fonctionnement qui, comparés aux bénéfices réalisés sur les tuyaux d'alimentation soumis au

.../...

·traitement, pourraient guider sur l'opportunité de mettre le projet en exécution.

·Je finirais ce présent mémoire par exposer les différentes suggestions qui m'ont été faites tout au long de mes études et qui, à mon avis, pourraient servir de guide pour des perspectives d'avenir : il s'agit essentiellement de deux :

- la première concerne l'eau de Kaolack qui est une eau dure, présentant des doses de nitrate et surtout de fluorures impressionnantes. Ces dernières sont caractéristiques des tâches rougeâtres au niveau des dents.

Le laboratoire des eaux du Sénégal, face à une pénurie de matériels et une infrastructure limitée, m'a fortement conseillé d'exposer le problème au niveau de l'école pour une étude détaillée.

- Les eaux des puits des quartiers périphériques sont en général pures puisque souterraines ; cependant, les puits ne sont pas couverts et les conditions dans lesquelles les eaux sont utilisées font qu'elles présentent en leur sein une certaine infection ; dès lors leur analyse devient nécessaire afin de trouver une solution adéquate.

Ces deux projets sont extrêmement importants et nous les proposons comme sujets de projet de fin d'études pour les années à venir.

A N N E X E S

TABLE 10-1

VALUES OF pK_1^* AND pK_2^* AT 25°C FOR VARIOUS IONS. NEUTRALIZATION OF THE DIFFERENCE $(pK_2^* - pK_1^*)$ FOR VARIOUS IONS IS GIVEN

Ionic Strength	Total Dissolved Solids Approx	pK_1^*			pK_2^*			$pK_2^* - pK_1^*$
		$H_2CO_3^*$	HCO_3^-	CO_3^{2-}	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}	
0.000		10.26	8.37	4.84	7.28	6.70	1.80	1.58
0.001	40	10.26	8.37	4.84	7.28	6.70	1.80	1.58
0.002	80	10.28	8.34	4.84	7.28	6.70	1.80	1.58
0.003	120	10.28	8.30	4.82	7.26	6.68	1.78	1.56
0.004	160	10.24	8.30	4.81	7.28	6.68	1.80	1.56
0.005	200	10.24	8.04	4.70	7.31	6.58	1.84	1.45
0.006	240	10.24	8.01	4.78	7.31	6.54	1.87	1.45
0.007	280	10.24	7.98	4.78	7.31	6.54	1.89	1.46
0.008	320	10.23	7.96	4.77	7.31	6.54	1.89	1.46
0.009	360	10.22	7.94	4.78	7.31	6.50	1.96	1.43
0.010	400	10.22	7.92	4.70	7.31	6.50	1.96	1.43
0.011	440	10.22	7.90	4.67	7.31	6.50	1.99	1.43
0.012	480	10.21	7.88	4.65	7.31	6.47	2.00	1.43
0.013	520	10.21	7.86	4.65	7.31	6.47	2.00	1.43
0.014	560	10.20	7.85	4.66	7.31	6.44	2.00	1.43
0.015	600	10.20	7.83	4.67	7.31	6.44	2.00	1.43
0.016	640	10.20	7.81	4.66	7.31	6.44	2.00	1.43
0.017	680	10.19	7.80	4.66	7.31	6.48	2.00	1.43
0.018	720	10.19	7.78	4.61	7.31	6.48	2.00	1.43
0.019	760	10.18	7.77	4.61	7.31	6.48	2.00	1.43
0.020	800	10.18	7.76	4.61	7.31	6.48	2.00	1.43

From F. E. Lewis and A. M. Wolfe, *Journal of the American Water Works Association*, 44, 103 (1952). Interpretation: pK_1^* for $H_2CO_3^*$ = pK_1 ; pK_2^* for HCO_3^- = pK_2 ; pK_2^* for CO_3^{2-} = pK_3 . American Water Works Association, *Journal of the American Water Works Association*, 44, 103 (1952).

HCO_3^-	0.0001	5.5	4.0	0.001	8.8
CO_3^{2-}	0.0001	8.3	4.0	0.001	6.6
$H_2CO_3^*$	0.0001	10.3	4.0	0.0001	7.4
				0.0001	6.4

Using Table 10-1, with $m = 0.001$, $pH = 7.88$, $pK_1^* = 10.26$, and $pK_2^* = 4.84$

$$pK_1^* - pH = 10.26 - 7.88 = 2.38$$

$$pCa^{++} = \log(0.001) - 2.38 = \log(0.001) - 2.38 = 1.62 - 2.38 = -0.76$$

$$pAlk = pCO_2 - HCO_3^-$$

$$\log(0.0001) - 0.0001$$

Substituting in Eq. 10-5

$$NI = 7.96 - 0.40 - 8.00$$

Annexe 1 (Suite)

①

Tableau n° 4

Forage : F 4

THIES

1. Longitude : 16° 59' 0,7" 2. Latitude : 14° 47' 10"
 3. Altitude au sol : 76m. 4. Profondeur : 347 m.
 5. Tubage diamètre : 18" de 0 à 21 m.
 12" de 0 à 150 m.
 8" de 150 à 244 m.

Matériel type : line pipe

6. Crépine : 8" de 244 à 335 m. - inox à nervures repoussées
 7. coupe géologique : 0 à 150 m. marnes + calcaire gris
 150 à 247 m. calcaire + marnes
 247 à 290 m. alternances marnes/calcaires
 290 à 348 m. sable grossier + argile

8. Année de construction du forage : 1967

9. Niveau statique de la nappe : 77.24 m. sous le sol / ligne d'air 145.6 m. de longueur

date : 1967

Niveau dynamique de la nappe : 135.24 m.

date : 1967

Rabattement : 58 m. pour un débit de : 100 m³/h

10. Essai de pompage effectué : septembre 1967

11. Réalisé par l'Hydraulique Afrique

Annexe 1 (Suite)

TABLEAU N° 3

FORAGE: F 3

TITRES

1. Altitude au sol: 60
2. Profondeur: 317.6 m.
3. Tubage diamètre: 12" de 0 à 206 m.
8" de 206 à 224 m.
Matériel type: Line pipe
4. Crépine: 8" de 224 à 305 m. inox à nervures repoussé
5. Coupe géologique: 0 à 30 m. sable fin + laterite
30 à 61 m. marnes
61 à 235 m. argile + marnes
235 à 320 m. sable fin et moyen
6. Année de construction du forage: 1962
7. Niveau statique de la nappe: 57.20 m.
ligne d'air: oui
Date: 1962
- Niveau dynamique de la nappe: 102 m.
Date: 1962
- Rabatement: 45 m. pour un débit de: 80 m³/h
8. Réalisé par Hydraulique Afrique

Annexe 1 (suite)

2

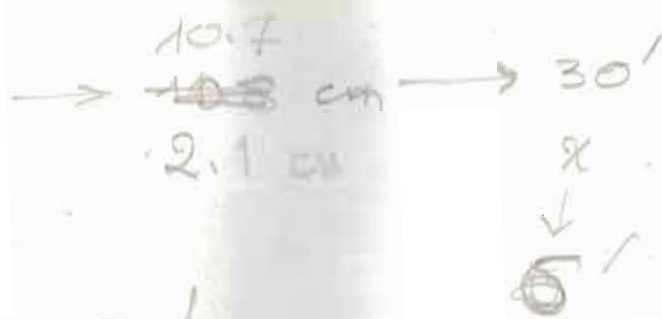
✓

<u>TAB</u> LEAU N° 2	<u>FORAGE</u> : F 2	<u>TITRE</u>
1. Longitude: 16°55'20"	2. Latitude: 14°47'17"	
3. Altitude au sol: 72,9 m.	4. Profondeur: 592 m.	
5. Tubage diamètre: 12" de 0 à 316 m.	8" de 185 à 478 m.	
	7" de 458 à 592 m.	
Matériel type: line pipe		
6. Crépine: everdur double 6" et 8" de 559 m. et 579 à 592 m.		
7. Année de construction du forage: 1955		
8. Niveau statique de la nappe: 70 m.		
Date: 1967	ligne d'air: oui	
Niveau dynamique de la nappe: 88		
Date: 1967		
9. Rabattement: 18 m. pour un débit de: 75 m ³ /h		
Réalisé par: SASIF - Dakar		

Annexe 1 : Description des forages

74

<u>TABLEAU N° 1</u>	<u>FORAGE: F 1</u>	<u>THIES</u>
1. Longitude: 16°57'	2. Latitude: 14°48'	
3. Profondeur: 323 m.		
4. Tubage diamètre: 12" de 0 à 248 m. 8" de 207 à 260.80 m.		
Matériel type: LP soudé		
5. Crépine: 8" de 207.6 à 320 m. - interne: 4" de 230.7 à 323 m.		
6. Coupe géologique:	0 à 19 m. sable et laterite	
	19 à 57 m. marnes calcaires	
	57 à 148 m. marnes argileuses	
	148 à 248 m. calcaires blancs	
	248 à 323 m. sables aquifères	
7. Année de construction du forage: 1945		
8. Année du dernier rééquipement: 1956 avec adjonction crépine 4"		
9. Niveau statique de la nappe: 41.50 m. date: 1956		
Niveau dynamique de la nappe: 63.0 m. ligne d'air: non date: 1956		
Rabatement: 21.50 pour un débit de: 60 m ³ /h		
10. Essai de pompage effectué: 1956		
11. Réalisé par Hydraulique Afrique		



75
~~70~~

11 cu → 30'

TABLEAU N° 9 CARACTERISTIQUES DE LA POMPE F 3

Pompe installée: le 2.4.73 Type: immergée monobloc
 Marque: KSB - BPH 384/7
 Débit: 140 m³/h à 68 m. Débit d'exploitation actuel:
 62.2 m³/h
 Entraînée par moteur électrique

TABLEAU N° 10 CARACTERISTIQUES DE LA POMPE F 4

Pompe installée: avril 1973 Type: immergée monobloc
 Marque: KSB - UPN 345/7
 Débit: 80 m³/h à 174 m.
 Entraînée par moteur électrique
 Débit d'exploitation actuel: 81.8 m³/h

TABIEAU N° 7 CARACTERISTIQUES DE LA POMPE

Pompe 1

Pompe installée: 1956 Type: à axe vertical

Marque: Layne

Débit: 24 m³/h actuellement

Entraînée par moteur: General Electric - 50 cv. 220 v.

Puissance: 50 cv

Mise en route: manuelle avec boîte de résistance

TABIEAU N° 8 CARACTERISTIQUES DE LA POMPE F 2

Pompe installée: 6.12.72. Type: immergée monobloc

Marque: KSB - BPH - 3 1/2"

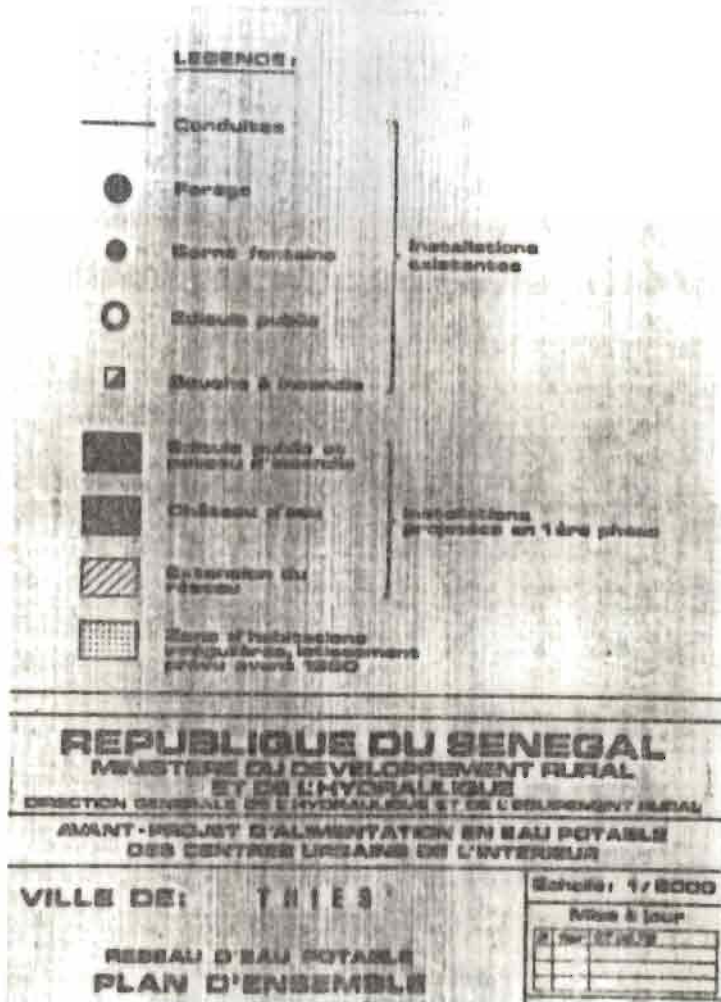
Débit: 150 m³/h à 50 m. de HSP Débit actuel: 80 m³/h

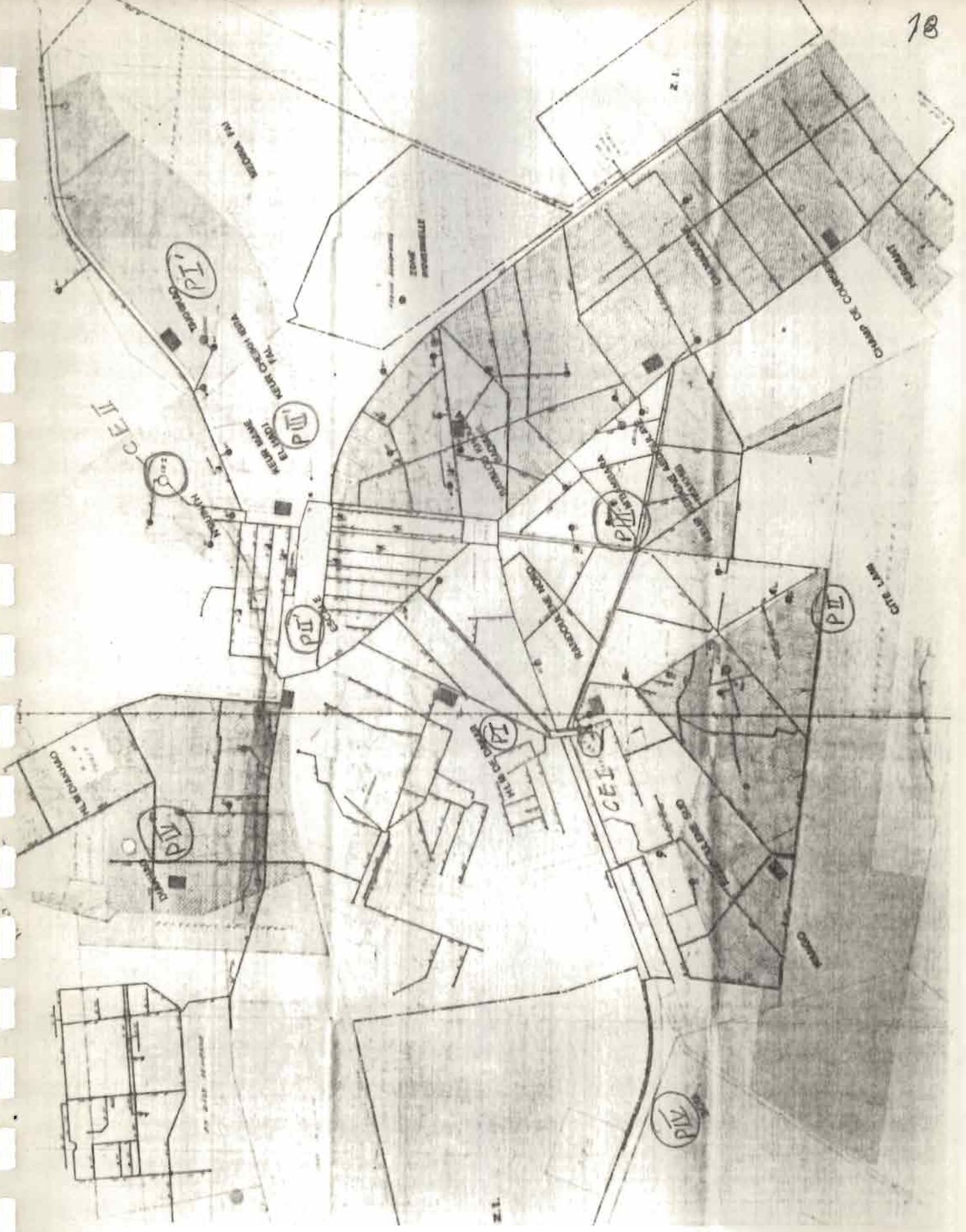
Entraînée par moteur électrique

Annexe 2 : Description des pompes

ANNEXE B : Schéma du réseau de distribution

77





CONSERVATION DES PRÉLÈVEMENTS

Caractéristique ou élément analysé	Conservateur à utiliser	Température de conservation (°C)	Effectuer la mesure avant
Acidité, alcalinité.....	-	4	24 h
Ammoniaque.....	Acide sulfurique (0,8 ml/l) ou chlorure mercurique (40 mg/l)	4	6 jours
Autoconsommation en oxygène en 48 heures.....	-	4	6 h
Azote total.....	Chlorure mercurique (40 mg/l)	4	48 h
Carbone organique.....	Acide sulfurique (q. s. p. pH 2) Chlorure mercurique (40 mg/l)		48 h
Conductivité.....	Mesure <i>in situ</i> de préférence		48 h
Cyanures.....	Hydroxyde de sodium (q. s. p. pH 10)		24 h
D. B. O.....	-	4	6 h
D. C. O.....	Acide sulfurique (q. s. p. pH 2-3)		6 jours
Détergents.....	Chlorure mercurique (20mg/l)		1 jour
E. C. C.....	-	4	48 h
Fer, cuivre, chrome, arsenic, alu- minium, zinc.....	Acide chlorhydrique (2 ml/l)		2 mois
Huiles et graisses.....	Acide chlorhydrique (2 ml/l)	4	48 h
Nitrites, nitrates.....	Chlorure mercurique (40 mg/l)	4	6 jours
Odeur, couleur, saveur.....	-	4	24 h
Oxygène dissous.....	Mesure <i>in situ</i>		
pH.....	Mesure <i>in situ</i> de préférence		
Phénols.....	1 g/l de sulfate de cuivre + acide phosphorique (q. s. p. pH 4)	4	24 h
Phosphore.....	Chlorure mercurique (40 mg/l) ou chlo- roforme (5 ml/l)	4	6 jours
Plomb, argent.....	Acide nitrique (2 ml/l)		2 mois
Hydrocarbures polycycliques aro- matiques.....	-	4	6 jours
Sulfates.....	-	4	6 jours
Sulfures, sulfites.....	Prélèvement avec flacon spécial (<i>voir</i> texte)		
Turbidité.....	-		24 h

Les prélèvements destinés à la mesure de la radioactivité et des teneurs en bore, silice et cyanures, seront conservés dans des flacons en polyéthylène.

Pour le dosage du calcium, du fluor, du magnésium, du potassium et du sodium il n'y a pas lieu de prendre des précautions particulières.

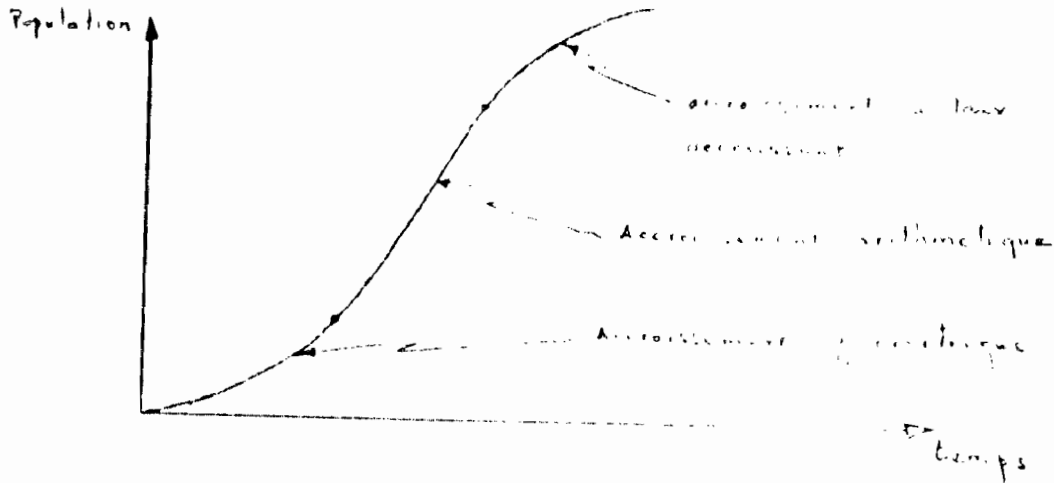
EVOLUTION DE LA POPULATION DE THIES

ANNEE	POPULATION	ANNEE	POPULATION
1904	2800	1947	30. 600
1907	1800	1949	32. 400
1909	2000	1950	33. 400
1910	2400	1953	36. 100
1914	2400	1954	36. 100
1916	3000	1955	42. 500
1921	6800	1957	36. 200
1925	6600	1961	69. 100
1926	7200	1964	77. 000
1930	12600	1967	88. 500
1931	11000	1971	90. 788
1936	16300	1976	117. 333
1945	24000		

Le comportement des populations décrit une courbe caractéristique en S à l'image du développement d'une population bactérienne dans un milieu de culture limité .

Cette courbe en S peut être considérée comme comportant trois portions caractérisées respectivement par :

- un accroissement géométrique
- un accroissement arithmétique
- un accroissement à taux décroissant.



L'examen de la courbe des populations tracée sur papier arithmétique avec les données disponibles sur la ville de thiers jusqu'en 1976, nous indique que nous nous trouvons à l'heure actuelle dans la zone d'accroissement géométrique.

Par définition, l'accroissement d'une population P est dite géométrique si l'augmentation dp de cette population durant le temps dt est proportionnelle à la population P.

De ceci, on déduit la formule suivante :

$$P_n = P_0 (1 + r)^n$$

où : P_n = population au temps n

P_0 = population au temps initial (origine)

r = taux d'accroissement annuel

d'où

$$r = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_0}} - 1$$

Considérant le dernier moyen terme (1971 à 1976) qui nous semble mieux refléter la tendance actuelle de la population, nous déterminons:

$$r = \sqrt{\frac{117\ 333}{90\ 788}} - 1 = 5,26\%$$

soit $n = 5,3\%$

B I B L I O G R A P H I E

- (1) Abdoulaye SENE : Projet de fin d'études : Etude du système d'alimentation d'eau de la ville de THIES. Situation actuelle et proposition pour la prochaine décade.

- (2) ASCE. AWWA.CSSE Water Treatment Plan Design

- (3) DEGREMONT Mémento Technique de l'eau

- (4) C.R.COX O.M.S. Technique et contrôle du traitement des eaux

- (5) O.M.S. Genève 1965 Normes internationales pour l'eau de boisson

- (6) JEAN RODIER Analyse de l'eau tomes I et II

- (7) STEVAN JANKOVIC Manuel de chimie de l'environnement O.M.S. Genève 1974

- (8) RUSSEL ET GORDON L. CULP Advanced Wastewater treatment

- (9) Notes de cours d'Hydraulique Urbaine

- (10) Notes de cours de Mr FRANÇOIS BRIERE
Professeur d'Hydraulique Urbaine,
Directeur des études de l'E.P.T.