

UNIVERSITE DE FLORENCE

UNIVERSITE DE BOLOGNE

DEPARTEMENT DE SANTE PUBLIQUE, D'EPIDEMIOLOGIE ET DE CHIMIE

ANALYTIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

DOCTORAT DE RECHERCHES EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT



Rapport de stage

Dr Cheikh Tidiane DIOP

**PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES
DE L'EAU DU LAC DE GUIERS: USINE DE TRAITEMENT DES EAUX
A GNITH (SENEGAL)**

Département de Chimie

Université de Florence

Via G.Capponi, 5021-Florence (ITALIE)

Août 1995

Sommaire

AVANT – PROPOS..... 5

TRAITEMENT DES EAUX 6

I / INTRODUCTION 6

 I-1 / Les eaux résiduaires: 7

 I-2 / Eau de mer: 7

 I-3 / Eau d'alimentation: 8

 I- 4 / Prélèvements: 8

 I-4A/ Prélèvements proprement dits: 9

II / ORGANIGRAMME DE L'USINE 9

III/ SECTION ENTRETIEN..... 10

 III-1 / Rôle du Chef d'Entretien:..... 10

 III-2 / Programmation du travail d'entretien:..... 10

 2-A / Entretien préventif systématique:..... 10

 2-B / Entretien préventif conditionné: 11

 2- C / Entretien curatif: panne:..... 11

 2-D / Travaux de réhabilitation:..... 11

 2-E / Visite bimensuelle: 11

 III-3 / Méthode de travail du Chef d'Entretien: 12

IV / SECTION TRAITEMENT ET PRODUCTION..... 12

 4- A / Le traitement mécanique ou physique:..... 12

 4-B / Le prétraitement chimique: 13

 B a / Par le KMO₄: 13

 B b / Pré chloration:..... 14

 4-C / Le traitement:..... 14

 Ca / Coagulation-floculation: 14

 Cb / Décantation-clarification:..... 15

 C c / Neutralisation: équilibre calco-carbonique: 16

 C d / Filtration avec régulation en aval:..... 17

 C e / Stérilisation:..... 18

V / LA STATION DE POMPAGE 19

VI / MATERIELS ET METHODES 20

 6 A. Essai de floculation: 20

 A a / Recherche du taux de sulfate d'alumine (SA): 20

A b / Injection de KMnO_4 (pré-traitement) = 0.6 mg/ l :	20
A c / Injection de chlore:	21
A d / Injection de SA et Ca(OH)_2 simultanément:	21
A e / TAC eau de chaux:	22
A f / TH_{ca} :	22
A g / Fe^{2+} :	22
A h / Couleur:	22
A i / Turbidité:	23
A j / Matière organique en milieu acide:	23
A k / Détermination du pH d'équilibre et du pH de floculation par le graphique de Hallopeau Dubin:	23
A l / Conductivité et TDS:	24
6 B / Demande en bioxyde de chlore ClO_2 :	26
6 D/ Méthode de dosage de ClO_2 :	27
6 C / Mesure d'oxygène dissous:	28
6 E/ Dosage du NH_4^+ :	28
6F / Dosage du NO_2^- :	28
6 G / Dosage du SiO_2 :	29
6 H / Dosage du PO_4^{2-} :	29
VII / BALANCE IONIQUE:	29
7 A / Expression des cations:	29
7 B / Expression des anions:	29
7 C / Conclusion:	29
VIII / ANALYSES BACTERIOLOGIQUES	33
VIII- / Colimétrie:	33
VIII- 1 A / Dénombrement de coliformes totaux:	33
VIII-Ab / Technique en milieu (NPP):	34
VIII-2 / Dénombrement des streptocoques fécaux:	35
VIII-2-A / En milieu liquide (NPP):	35
VIII-2-B / Technique sur membrane:	36
VIII-3 / Dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito- réductrices:	36
VIII-4 / Dénombrement des germes totaux par ml:	37
VIII-5/ Staphylocoques et Staphylocoques pathogènes:	37
VIII-6 / Remarques Générales:	38

IX / CONCLUSION GENERALE 39

BIBLIOGRAPHIE 40

AVANT – PROPOS

Pendant le mois d'août 1995, j'ai eu à effectuer un stage à la Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (S.O.N.E.E.S), qui a en charge la satisfaction en eau domestique de l'agglomération urbaine de Dakar. Les principaux objectifs de mon stage consistaient à s'enquérir des techniques de traitement chimico-bactériologique de l'eau et du matériel de laboratoire disponible à la S.O.N.E.E.S, pour un meilleur contrôle de qualité de l'eau.

Mon stage d'une durée d'un mois a pu se dérouler grâce à Mr Babacar DIENG, Directeur Général de la S.O.N.E.E.S, qui a eu l'amabilité de m'accueillir.

Je remercie Mr Mame Balla DIOP, Directeur Technique qui a favorisé mon insertion dès mon arrivée.

Mes remerciements vont également à Mr Djibril NDIAYE, Chef d'Usine de Gnith, qui a parfaitement coordonné mon travail avec la collaboration du Chef de la Section Traitement et Production, Mr El Hadji MBAYE et du Chef de la Section Entretien, Mr Magaye GAYE.

Enfin, je remercie tout le personnel du Laboratoire Central du point B à Dakar, sans oublier Mme SARR et Mr Gane KANE, ainsi que les techniciens de la microbiologie.

En somme tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la S.O.N.E.E.S.

TRAITEMENT DES EAUX

I / INTRODUCTION

La pollution biologique des eaux, est le rejet dans les eaux continentales d'une grande quantité de substances ayant des origines diverses :

Effluents urbains contenant des débris ménagers, matières fécales, lessives...

Effluents industriels de diverses entreprises :

- Papeteries,
- Laiteries etc..

Cette pollution biologique se traduit par une forte concentration bactériologique et peut poser des problèmes sanitaires.

Quant au rôle auto-épurateur de l'environnement marin, c'est une hypothèse remise en question. On peut mettre en évidence la survie des bactéries rejetées et leur capacité de croître à nouveau lorsqu'elles rencontrent des conditions favorables. Le rejet des eaux d'égouts urbains en mer présente des risques de contamination pour l'homme, qu'il s'agisse de coquillage ou d'autres produits de mer, de sport nautique.

Concernant les rivières, il y a aussi rejet avec accumulation d'origine industrielle.

Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement le niveau de pollution des *eaux douces et de la mer*, surtout si l'eau est destinée à **l'élevage et à la consommation domestique**.

Depuis de nombreuses années, la contamination des eaux est évaluée en bactériologie par la recherche des indicateurs de pollution fécale.

C'est-à-dire des micro-organismes présents dans l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. On a :

- ❖ les coliformes totaux ;
- ❖ les coliformes thermo tolérants ;
- ❖ les streptocoques fécaux.

Ces trois recherches servent de traceurs pour de nombreuses bactéries pathogènes rejetées dans les matières fécales:

Salmonella, Vibrions, Shigella, E. coli, Campylobacter.

C'est par la recherche des indicateurs que l'on met en évidence le niveau de pollution des eaux, s'ils sont en nombre important par rapport aux normes, il ya des *consignes d'urgence*.

On peut discuter de la validité de ces témoins de contamination fécale. D'autres auteurs proposent la recherche de telle ou telle bactérie selon les méthodes. Par exemple par immunofluorescence.

Il sera surtout question dans ce présent rapport de développer l'aspect physico-chimique et les paramètres microbiologiques de l'eau destinée à la consommation humaine.

La première partie se passe dans l'Usine de traitement des Eaux de NGnith, située à 285 km de Dakar. Cette Usine a été conçue à la suite d'un déficit d'eau observé à Dakar, devenue fonctionnelle en 1970. Elle a pour objectif de prélever l'eau brute dans le lac de Guiers, d'en faire son traitement en vue de la refouler vers Dakar. La capacité nominale est de 64 000 m³/j. Son fonctionnement actuel est de 61 000 m³/j.

Afin d'atteindre son objectif, l'Usine dispose d'un capital technique important, performant mais gagnerait à être modernisé et d'un capital en ressources humaines dont l'effectif est de 55 personnes.

La deuxième partie se passe au Laboratoire Central au point B à Dakar, où des analyses microbiologiques sont effectuées, en vue de décider de la potabilité de l'eau, complétant les analyses physico-chimiques, préalablement réalisés à l'Usine de NGnith.

Enfin des tests de chlorométrie ultimes sont effectués en certains points du réseau de distribution en collaboration avec l'Institut Pasteur de Dakar (bactériologie).

Le produit qu'est l'eau est ainsi mis sur le marché de consommation.

Quelques considérations générales :

I-1 / Les eaux résiduaires:

Sous la terminologie d'eaux résiduaires, on groupe habituellement des eaux d'origine diverse. Le lecteur trouvera donc, dans cette classification les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urine; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie urbaine et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas, les eaux d'origine industrielle et agricole.

L'eau ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables. A cette charge, s'associent presque toujours des matières grasses et les matières colloïdales. Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition spécifique et directement liée au type d'industrie considéré.

Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractères de toxicité propre liée aux produits chimiques transportés. Etant donné la très grande variété des produits utilisés dans l'industrie, le travail de l'analyste sera toujours délicat et compliqué par la présence de matières organiques en quantités importantes.

I-2 / Eau de mer :

L'analyse de l'eau de mer doit répondre à deux questions étroitement liées, mais l'importance varie suivant la nature des problèmes posés. La première question concerne la connaissance de la composition exacte de l'eau de mer, la nature de ses différents constituants normaux, éléments majeurs et éléments en état de trace dont la présence et la répartition sont relativement homogènes dans les mers.

La deuxième question, d'ordre plus pratique et dont l'importance s'accroît de jour en jour, concerne la mise en évidence de nouveaux éléments ou composés pouvant sembler étrangers au milieu marin et surtout des modifications de la composition normale de l'eau, liées en grande partie à l'activité humaine. Toute la difficulté de l'interprétation de l'analyse réside précisément dans cette appréciation critique, des variations des concentrations des constituants habituels ou considérés comme anormaux et plus particulièrement de celle des éléments à l'état de traces. Le milieu marin est à la fois le témoin et l'acteur de l'histoire et l'acteur de l'histoire de la planète et sa composition chimique résume et intègre toute la complexité des processus de son évolution. En raison de la nature même du cycle de l'eau et de ses effets (dissolution, lessivage, concentration), le milieu marin contient dans une très large gamme de concentrations, les sels les plus solubles de la croûte terrestre (chlorures de sodium, en particulier), mais aussi des quantités variables de presque tous ses constituants que souvent, seule une analyse très fine permet de détecter.

De plus les phénomènes biologiques intenses passés ou présents, ont modifié et modifient encore localement la répartition des éléments minéraux. D'autre part, cette même activité biologique jointe à l'importance des mouvements naturels des masses liquides marines et à la complexité des phénomènes physico-chimiques d'insolubilisation, complique la distribution des composés minéraux et organiques entre différentes phases, ou compartiments aux limites mouvantes :

Solutions vraies, solutions colloïdales, complexes organométalliques, matières en suspension de taille variable, sédiments et aussi film de surface créés par les composés de densité inférieure à celle de l'eau de mer. A ceci, s'ajoute pour les composés organiques la difficulté de distinguer les constituants de la mer vivante et les produits de décomposition et de dégradation.

I-3 / Eau d'alimentation:

C'est toutes les eaux collectées dans les sources, des forages, des puits en vue d'une distribution publique. En un endroit, l'eau peut changer de qualité, c'est ainsi que l'on contrôle les distributions, ce qui représente autant de points de distribution.

I- 4 / Prélèvement:

Compte tenu de la diversité de la nature des eaux résiduaires, ainsi que des systèmes de transfert et de dilution, il est difficile de déterminer un système de prélèvement satisfaisant en toutes circonstances. Le but à atteindre consiste essentiellement à obtenir des prélèvements représentatifs du rejet et du milieu récepteur. Pour cela, il faut procéder par échantillonnage. L'échantillonnage automatique en continu peut être utile pour suivre l'évolution des paramètres courants.

Il existe différents types d'appareils de prélèvements automatiques utilisant, soit un système mécanique, soit le pompage ou l'aspiration. Mais l'inconvénient réside sur la représentativité limitée. D'une façon générale, ce matériel ne remplace pas l'observation d'un opérateur qui peut être amené à modifier sa façon d'opérer.

Dans tous les cas, la localisation du ou des points de prélèvement nécessite une connaissance approfondie des installations et des lieux.

Pour le contrôle du milieu récepteur, l'échantillonnage doit être pratiqué à une distance suffisante du point de rejet, en tenant compte des caractéristiques du point de dilution, des débits respectifs et de la vitesse des courants. Dans le cas de contrôle simultané de l'effluent et du milieu récepteur, il est indispensable d'effectuer un prélèvement témoin en amont de la zone d'influence du rejet. Il y aura lieu de tenir compte de l'influence des digues, des barrages et des obstacles divers (ponts, corps morts, etc..) et éventuellement celle de la navigation.

Pour le rejet proprement dit, indépendamment de l'intensification précise, il importe de préciser les types de traitement pratiqués sur les eaux usées, et de noter les caractéristiques habituelles: aspect, couleur, odeur, etc., ainsi que le caractère permanent ou intermittent du rejet. En un mot, la composition des effluents résiduels et eaux polluées variant au cours de la journée, il importe de prélever des échantillons à des heures judicieusement réparties afin d'avoir un prélèvement correspondant à la composition moyenne.

Tout ceci concourt à une bonne représentativité du prélèvement s'il n'est pas réalisé dans de très bonnes conditions, les erreurs liées aux caractéristiques du prélèvement seront presque toujours largement supérieures aux erreurs d'analyse.

I-4A/ Prélèvements proprement dits :

Les prélèvements seront effectués dans les flacons bien propres en polyéthylène ou en verre borosilicaté, bouchés émeri ou au téflon. Rincés au moment de l'emploi avec l'eau à examiner, les récipients seront remplis complètement.

En ce qui concerne les substances organiques à l'état de traces, les récipients utilisés devront de préférence être en verre brun borosilicaté, préalablement chauffés à **500° C**, pendant **4 heures**.

Les échantillons soigneusement étiquetés et conservés à **4°C**, seront transportés jusqu'au laboratoire dans un laps de temps ne dépassant pas **24 heures**. Toutefois un certain ^W de mesures seront à pratiquer sur place: *température, pH, oxygène dissout*, ainsi que les dilutions pour *DBO₅*.

Quant aux matières en suspensions, leur mesure dans les **6 heures** après le prélèvement. Toutes les déterminations physiques ou chimiques sont à pratiquer sur l'eau après libre passage de l'échantillon au travers d'un **tamis à mailles de 5 mm** de côté (module AFNOR N°38). L'eau ainsi préparée est dite "*eau brute tamisée*".

Il y a certaines dispositions à prendre en ce qui concerne les rejets d'établissement industriels classés dangereux, insalubres ou incommodes (voir réglementations françaises, JO du 20 juin 1953).

II / ORGANIGRAMME DE L'USINE

A la tête de l'Usine, existe le Chef de l'Usine. Il existe deux sections coiffées par un Chef de Section chacune.

Section Traitement et Production.

Section Entretien, composé de trois Secteurs:

Secteur Diesel, Secteur Electricité et Secteur Auxiliaire.

III/ SECTION ENTRETIEN

III-1 / Rôle du Chef d'Entretien

Consiste à :

- ❖ Identifier toutes les opérations d'entretien destinées au maintien en bon état de fonctionnement de l'Usine;
- ❖ Identifier les actions de réhabilitation et de renouvellement;
- ❖ Déterminer les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des opérations d'entretien, de réhabilitation et de renouvellement;
- ❖ Programme d'évacuation.

III-2 / Programmation du travail d'entretien

L'entretien peut être défini suivant quatre facettes:

- Entretien préventif systématique;
- Entretien préventif conditionné;
- Entretien curatif;
- Travaux de réhabilitation.

2-A / Entretien préventif systématique:

Il est déterminé par les compteurs horaires, le nombre d'heures de marche des équipements et le guide d'entretien des constructeurs d'équipements.

Il existe des équipements tournant 24h/24h et d'autres de façon discontinue.

Exemple: équipements tournant continuellement: Pompe lavage filtres, pompes lavage décanteurs, agitateurs de chlorite.

Quant il s'agit d'équipement tournant de façon continue, il est plus facile, suivant les heures de marche déterminées par les constructeurs. Avec l'expérience acquise, ces horaires pourraient être diminués, maintenus ou augmentés. C'est le *temps de fonctionnement* qui est le paramètre essentiel.

Chaque Secteur a un planning d'entretien préventif dans l'année.

Pour le Diesel, il existe un suivi par un cahier, un classeur après réception de feuille de quart chaque matin. Ensuite l'exploitation des paramètres de fonctionnement pour voir une éventuelle anomalie, une amorce de panne et noter les observations. Le nombre d'heures de fonctionnement de la journée est consigné dans un cahier pour l'enregistrement des heures de marche. En faisant une colonne de périodicité selon le constructeur, une programmation à terme pourrait être réalisée. Donc pour le Diesel, le cahier *est journalier*.

Pour les autres plannings, c'est de type *annuel*.

Pour les Auxiliaires, il faut attendre 1600 – 2400 heures de fonctionnement. Des plannings sont faits selon les mois à des périodicités variables.

2-B / Entretien préventif conditionné:

Comme son nom l'indique conditionné par quelque chose, que l'on peut programmer. Ceci dépendant que du suivi des paramètres. Par exemple:

- ❖ La différence de pression augmentant, provoque l'encrassement des filtres, l'intervention consiste à changer les cartouches;
- ❖ Le niveau d'huile;

L'exploitation des paramètres est de rigueur, si des symptômes es sont constatés, l'intervention est effectuée pour ne pas créer d'avarie.

2- C / Entretien curatif: panne :

Une panne ne doit pas être programmée, car il faut anticiper sur la jugulation des circonstances qui concourent en sa réalisation. Néanmoins si elle survient, il faut la dépanner. Eventuellement la panne peut être programmée quand il ya rupture de stock de constituants. Exemple : une pièce.

2-D / Travaux de réhabilitation:

En principe, une visite des installations est faite chaque deux mois ou bien des visites des Inspecteurs du SCM (Service Central de Maintenance) qui dressent un rapport de visite. Si le personnel nécessaire et l'outillage appropriés sont sur place, l'intervention est faite. Autrement un appel à l'extérieur de l'Usine est lancé pour remettre la machine de production en route.

Exemple: travail de réhabilitation à la prise d'eau, depuis un an il n'ya plus eu de problème.

2-E / Visite bimensuelle:

Le Chef d'Entretien effectue une visite bimensuelle des installations, suivie d'un rapport de visite qui met en exergue des travaux d'entretien divers, devant être exécutés ou programmés selon la disponibilité du matériel. Connaissant la nature des travaux à effectuer tenant sur ces cinq points évoqués ci-dessus, le Chef d'Entretien fait des plannings hebdomadaires de travail. Tous ces plannings sont adressés au Chef d'Usine, au Chef de Traitement et Production et aux Chefs des Secteurs.

III-3 / Méthode de travail du Chef d'Entretien:

Dans l'exécution de son travail, le Chef d'Entretien utilise des supports qui sont:

- ❖ Des carnets de demande de travail;
- ❖ Des carnets d'ordre de travail;
- ❖ Des classeurs de suivi des moteurs Diesel.

Au niveau des Secteurs, les équipements sont suivis suivant des *fiches*.

Exemple: transformateur, pompe d'Exhaure (pompe d'amenée d'eau brute à l'Usine). Le Chef d'Entretien émet un ordre de travail au Chef de Secteur, après avoir reçu au préalable une demande de travail.

S'il s'agit d'un travail d'entretien curatif, une demande de travail suivant le type d'équipement et d'installation provient soit du Chef de Secteur, soit du Chef de Traitement et Production. Si le matériel est disponible, un ordre de travail est lancé en vue d'être exécuté.

Quand il y a rupture de stock de composants, la demande est mise en instance.

S'il s'agit d'un travail d'Entretien autre que curatif, le Chef d'Entretien émet un ordre de travail. L'ordre de travail permet de tenir une comptabilité analytique. Chaque Chef de Secteur fournit un rapport d'activité hebdomadaire, support sur lequel le Chef d'Entretien s'appuie pour voir comment et jusqu'à quel niveau les programmes ont été exécutés.

Les cahiers historiques (tout ce qu'on veut savoir sur les moteurs) sont ainsi remis à jour.

Les bons de sortie sont visés par le Chef d'Entretien. L'objectif est de respecter les programmes en vue d'une bonne exécution sur la base du suivi de fonctionnement. Vu que l'on soit dans une exploitation, l'idéal est que l'on pompe de l'eau.

Le travail suivant des procédures évite, voire atténue la tendance à la routine. C'est par méthode de comparaison qu'on analyse certains phénomènes.

IV / SECTION TRAITEMENT ET PRODUCTION

4- A / Le traitement mécanique ou physique:

Se fait à deux niveaux par:

- ❖ *dégrillage* : l'eau passe à travers une grille (l'espacement des barreaux fait 4 cm) qui retient certaines matières en suspension;
- ❖ *tamissage* : l'eau passe à travers un tamis de maille 0,5 mm. C'est un système de 36 tamis rotatifs avec nettoyage automatique pour le dé-colmatage.

Le dé-grilleur est muni aussi d'un racleur automatique pour nettoyer. Entre la grille et les tamis, l'eau passe par des vannes: une vanne haute et une vanne basse, fonctionnant selon le plan d'eau, ou la charge de l'eau.

- ❖ Après le tamissage, l'eau est recueillie dans une bêche à eau brute où sont immergées:
- ❖ 4 pompes FC 400, 950 m³ à 2 bars.
- ❖ 2 pompes KSV, 750 m³ à 1,6 bar.

Ces pompes envoient l'eau brute au niveau de la station par l'intermédiaire d'une conduite de diamètre: 800 mm, sur une distance de 560 m.



4-B / Le prétraitement chimique:

B a / Par le KMnO_4 :

L'eau arrive à la station au niveau d'une vasque (*vasque d'arrivée*) où se fait le pré-traitement au KMnO_4 , qui sert à oxyder les métaux tels que le Fer, le Mn et une partie des matières organiques. Le grand rôle du KMnO_4 est qu'il sert d'adjuvant de floculant.

L'eau passe dans une *goulotte de répartition* et arrive dans deux bassins de contact où il y a réaction KMnO_4 – eau. Chaque bassin fait un volume de 1500m³. Le temps de contact qui est actuellement de **2 heures** est fonction du refoulement.



B b / Pré chloration:

En sortie de bassin de contact l'eau est recueillie dans une *goulotte sortie bassin de contact* et passe dans une vasque où se fait la pré-chloration par injection d'eau chlorée par l'intermédiaire d'un chloromètre à réglage manuel. La pré chloration sert à lutter contre la prolifération des algues et que le chlore peut oxyder les matières organiques.



4-C / Le traitement:

Ca / Coagulation-floculation:

Par une conduite de diamètre: 1250 mm, l'eau arrive à la vasque de *coagulation-floculation*. A ce niveau, il y a injection de sulfate d'alumine SA et d'eau de chaux ($\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$). La solution de SA réagit sur les charges négatives des matières colloïdales par l'intermédiaire des ions Al^{3+} . Une neutralisation des charges qui entraîne la déstabilisation

des forces répulsives entre les matières organiques en suspension. Mais l'injection de SA se fait au détriment de l'alcalinité de l'eau.

A titre indicatif, 10 mg/l de SA peuvent faire baisser le T.A.C de 0,5° français.

L'alcalinité est nécessaire à la réaction d'hydrolyse du coagulant. La formation des meilleurs floes est obtenue au pH suivant:

$$6,5 < \text{pH} < 7,3$$

C'est le pH optimum de floculation. Pour une bonne coagulation, il est nécessaire que les charges soient neutralisées. Le pH correspondant est le point hydro-électrique = neutralisation des charges.

L'on sait que l'hydroxyde d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$ ne conduit à de bons résultats que lorsqu'il y a beaucoup de matières organiques en suspension et que l'on soit dans l'intervalle de:

$$7,4 < \text{pH} < 8,5.$$



C'est la zone d'insolubilité de l'hydroxyde (plus les flocons sont gros, mieux c'est car rassemblant davantage les particules). Ce procédé explique l'addition d'un réactif alcalin la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

On passe dans deux cuves à 5 m^3 de mélangeurs rapides, mélange intime chaux-sulfate d'alumine-eau. L'eau passe dans une goulotte de répartition et arrive dans les cuves de floculation à 295 m^3 , de profondeur 2,80 m. Il y a une agitation lente pour augmenter les chances de rencontre des floes. C'est la phase de maturation dans 8 cuves de floculation.



Cb / Décantation-clarification:

Ensuite l'eau passe dans les bassins de décantation ou décanteurs par les ajustages en bois d'équirépartition de l'eau floculée dans les décanteurs. Ce sont des décanteurs statiques de 1640 m^3 .

Profondeur : 2,40 m,

Largeur: 11 m,

Longueur: 70 m.

Décanteurs de spécificité grande dimension de manière que les floccs se transforment en boue qui se dépose avant sortie des décanteurs (il existe des décanteurs de dimension réduite plus performants, siège d'une accélération des floccs).



C c / Neutralisation: équilibre calco-carbonique:

En fin de décanteur, il y a une deuxième injection d'eau de chaux pour l'équilibre calco-carbonique de l'eau. Notons qu'à ce niveau, le pH dépasse le pH d'équilibre en vue de la préparation de la phase de stérilisation avec le *bioxyde de chlore* ClO_2 , qui a un **pH < 2**.

L'eau en surface est recueillie par des collecteurs ou ajustages au nombre de 453.



C d / Filtration avec régulation en aval:



L'eau est récupérée dans une goulotte d'eau décantée, puis envoyée dans **8 filtres = 8 bassins**:

De longueur: 15,05 m;

De largeur: 4,5 m;

De surface utile: 67,72 m².

Ce sont des **filtres à sable rapide**: 0,8mm < granulométrie < 1,4mm.

La vitesse de filtration est de $v = 5,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.

Sous la couche de sable, existe du béton poreux sauf pour les deux filtres 4 et 5, qui ont été réfectionnées et la couche de béton remplacée par un plancher muni de *busulures*. L'eau filtrée passe dans le canal de sortie des chambres de vannes cylindriques. Les *vannes Nerpic* assurent la régulation du débit des filtres.



C e / Stérilisation:

L'eau passe dans la bache à eau filtrée où a lieu la dernière phase de traitement: stérilisation par le bioxyde de chlore ClO_2 , obtenu par un mélange de chlore et de Chlorure de Sodium $NaCl$ dans un rapport de : $ClO_2 / NaCl = 2,5$.



La réaction nécessite un excès de chlore et que le *rendement est fonction de cet excès*. Un *pH acide* est favorable à la transformation du chlorite de sodium. Tout le chlorite doit réagir pour éviter la formation du **Chlorate ClO_3^-** , nuisible à la santé.

Signalons que les bassins de contact des décanteurs sont vidés et nettoyés périodiquement *en moyenne chaque trois mois*.

Les bassins de contact, *chaque deux mois*.

Les filtres sont vidés *une fois par semaine*.

C'est un lavage à contre courant par l'eau traitée et de l'air fourni par deux supprimeurs. L'eau de chaux, servant à la floculation et à la neutralisation, c'est-à-dire pour le pH d'équilibre, est fournie par deux saturateurs. Les taux de réactifs: $KMnO_4$, $Ca(OH)_2$ et SA sont déterminés au niveau laboratoire par des essais JAR TEST ou essai de floculation. Tandis que la pré-chloration et la stérilisation sont déterminées par la demande en chlore effectuée aussi au laboratoire. Les réactifs sont distribués par des pompes doseurs de type M-ROY à réglage manuel.



V / LA STATION DE POMPAGE

Dans la bête, l'eau déjà traitée est ensuite reprise par des groupes de pompes AGO-JS (moteurs) et Mannes KSB (pompes), pour être refoulée dans la conduite ALG (Adduction Lac de Guiers). On fait fonctionner deux groupes en même temps. La pression de la conduite est de **15 à 18 bars**, dépendant des conditions de fonctionnement de l'ALG.

Le débit de refoulement est de **1500 à 1700 m³/h** pendant le fonctionnement des forages. Un débit qui peut être à **2000 m³/h**, quand il y a arrêt des forages. Notons qu'à partir de Kébémér, il existe des forages qui font des apports dans la conduite. Ce qui explique la sursaturation de cette conduite et le fonctionnement de cette Usine est à un débit inférieur à son débit nominal = **64000 m³/h = à 2700 m³/h**.

Ainsi, l'Usine tourne au ralenti. Les moteurs, pour entraîner les pompes sont de gros calibre, parce que la distance de Gnith aux réservoirs de Thiès est de **197 km**, avec une dénivellation de **40 m**. Dans le taux de stérilisation utilisé, il est impératif de tenir compte de l'apport des eaux de forage qui ne sont pas munis de poste de chloration. C'est pour cette raison que l'eau traitée sort de l'Usine avec des résiduels de **2 mg/l**, pour la préserver contre les germes pathogènes jusqu'aux réservoirs.

Ensuite des contrôles sont effectués pour s'assurer des résiduels de chlore au moins égaux à des **traces** endéans **72h**, délai d'atteinte des réservoirs de Thiès. Au niveau de ces réservoirs, existe un poste de chloration pour assurer la bonne qualité de l'eau à l'arrivée de l'Usine du point B à Dakar.



VI / MATERIELS ET METHODES

6 A. Essai de floculation

Principe: détermination du taux optimum des réactifs

A a / Recherche du taux de sulfate d'alumine (SA)

On fait varier la dose de SA, progressivement dans les béchers numérotés de 1 à 6 (contenant de l'eau brute: EB).

Ceci entraîne une variation dans le même sens des quantités de chaux Ca(OH)_2 , pour être au pH de floculation: 6,95 – 7. Ca(OH)_2 est proportionnelle au SA. On cherche la dose de Ca(OH)_2 correspondante.

Par le graphique;

Par essai de floculation.

A b / Injection de KMnO_4 (prétraitement) = 0.6 mg/l :

On laisse agir le flocculateur JAR TEST pendant 1h 30mn: temps de contact.



A c / Injection de chlore:

C'est la pré-chloration: 3mg / l. On laisse agir un peu.

A d / Injection de SA et $\text{Ca}(\text{OH})_2$ simultanément:

On laisse agir le flocculateur par JAR TEST rapidement (160 – 180 rpm) pendant 1 mn.

Réduire l'agitateur à 45 rpm pendant 20 mn;
Prendre Le pH et noter la grosseur des floes;
Laisser décanter 1 h;
Faire des mesures de:

La turbidité, la couleur, du Fer, du Mn, des matières organiques: MO, du TAC, du TH_{ca} , la T° , du pH d'équilibre, du Cl_2 résiduel.

Pour déterminer le volume à injecter, on utilise la formule suivante:

$$\text{Volume à injecter} = \text{Taux (mg)} / \text{concentration (mg/l)}.$$

Ex₁: KMnO_4 concentration : 1gr/l;

Taux : 0.6 gr;

Volume : 0,6 gr / 1gr /l = 0,6 ml.

Ex₂: SA concentration : 10gr/l;

Taux : 10 gr;

Volume : 10 / 10gr /l = 1 ml.

Ex3: Ca(OH)₂, le volume injecté obéit à une progression arithmétique de raison:

$r = 1,85; U_1 = U_0 + 1,85.$

Concentration : 0,23 gr/l;

Volume : $1,85 / 0,23 \text{ gr / l} = 8 \text{ ml}.$

	1	2	3	4	5	6
KMnO ₄	0,6					0,6
Cl ₂	3					3
SA	10	20	30	40	50	60
Ca(OH) ₂	0	0	1,85	3,7	5,55	7,4

A e / TAC eau de chaux:

Déterminé par titrimétrie.

- Prise d’essai de 10ml d’eau de chaux;
- Mettre 2 gouttes de méthyl orange;
- Verser goutte à goutte une solution de H₂SO₄ / 25;
- Jusqu’au virage, lire le titre en volume: v;
- Le résultat en ml: 2v;
- Le résultat en gr / l: $7,4. 10^{-3} \times 2v.$

A f / TH_{ca}:

Déterminé par titrimétrie

- Prise d’essai 100 ml;
- Ajouter 3 ml de tampon Murexide;
- Ajouter EDTA, jusqu’au virage, lire le titre en volume: v;
- Le résultat en ml: 2v.

A g / Fe²⁺:

Déterminé par méthode comparométrique

- Prise d’essai 100 ml;
- Eventuellement faire une dilution si c’est beaucoup;
- Ajouter une pincée d’hydrosulfite de soude;
- Ajouter 16 gouttes de diméthylglyoxine;
- Ajouter 16 gouttes d’ammoniaque;
- Coloration rouge est proportionnelle à la teneur en Fer;
- Il existe aussi un dosage spectrophotométrique à la longueur d’onde: 510 nm.

A h / Couleur:

Déterminé grâce à un comparateur colorimétrique HELLIGEUR;

A i / Turbidité:

Déterminé par lecture avec un Turbidimètre DRT 15 ER;

A j / Matière organique en milieu acide:

Matière organique en milieu basique

Prendre 4 flacons de 250 ml;

2 béchers, l'un servant de témoin et l'autre pour l'analyse de l'échantillon;

Dans le premier échantillon: mettre 100 ml d'eau distillée,

Dans l'autre: Faire une prise de 100 ml de l'échantillon + 100 ml d'eau distillée

Ajouter les réactifs:

5 ml d' H_2SO_4 (1/2), si c'est en milieu acide;

2 ml de NaHCO_3 saturé si c'est en milieu alcalin.

Porter à ébullition:

Ajouter 20 ml de KMnO_4 (N/80);

Réduire l'ébullition pendant 10 mn;

Retirer de la plaque chauffante;

Refroidir rapidement sous un jet d'eau ou dans les glaçons (5 mn maximum)

L'échantillon doit se décolorer ;

Si non, réduire la prise ou bien faire une dilution en tenant compte du facteur de dilution lors des calculs.

Titrer avec KMnO_4 (N/80), jusqu'au premier virage persistant 1 mn au minimum.

Résultat:

V_0 = volume de KMnO_4 versé pour titrer le témoin,

V = volume de KMnO_4 versé pour titrer l'échantillon.

L' O_2 consommé par les M.O = $(V - V_0)$ mg/l.

A k / Détermination du pH d'équilibre et du pH de floculation par le graphique carbonique Hallopeau Dubin:

Détermination du pH d'équilibre:

Chercher le point d'intersection **P** ayant:

- ❖ TH_{ca} a pour ordonnée la T° , pour abscisse TAC;
- ❖ Tracer la droite de saturation CaCO_3 à 15 °C;
- ❖ Chercher le point (TAC, pH);
- ❖ Tracer la courbe de neutralisation par la chaux;
- ❖ On multiplie par 10 le pH;
- ❖ Toujours en se déplaçant garder l'horizontalité;

Remarque au pH d'équilibre = 8,2 l'eau n'est ni corrosive, ni entartrante.

L'eau corrosive provoque des dépôts de plomb, dépréciant le gout, éventuellement la maladie chez les consommateurs.

L'eau entartrante provoque le bouchage des conduites, une diminution du débit, provoquant ainsi la maladie des calculs rénaux dû au calcaire. L'eau :

- ❖ En dessous du pH d'équilibre est corrosive;
- ❖ Au dessus du pH d'équilibre est entartrant.

Détermination du pH de floculation

On retient la colonne 20, car la turbidité = 0,14. Cette valeur permet d'avoir une bonne décantation, empêchant le colmatage des filtres.

Eau traitée: $P(T^\circ, TAC_{20} / THCA_{20} = 6,9/3,8 = 1,8)$.

$$pH = 7,25.$$

pH = 8,2 correspondant à un TAC = 7,8 issu de l'abaissé de la perpendiculaire sur l'horizontal.

$$(TAC_{eq} - TAC_{20}) \times 7,4.$$

$$(7,8 - 6,9) \times 7,4 = 6,66 \text{ gr /m}^3 \text{ de Ca(OH)}_2.$$

Pour être à l'équilibre, il faut injecter 6,66 gr /m³ de Ca(OH)₂.

Volume à injecter = taux /concentration = 6,66/ 0,23 = 28,98 m³ eau de chaux.

Il faut injecter 6,66 + 3 = 10gr/ m³, car le rendement diminue avec la température, en plus des saturateurs ne tournent pas totalement la chaux commerciale qui est de 95%.

A I / Conductivité et TDS:

Des mesures de conductivité et de substances dissoutes sont effectuées avec un conductivimètre HACH TDS Meter.

SONEES, Usine de GNITH, Section Traitement

Essai de floculation:

Provenance de l'eau : **chlore du filtre N°1.**

Date: **12/08/95** Essai n°:

Température: **29,1** pH: **8,4** Couleur: **15⁺** Turbidité: **0,1.**

Cl₂ résiduel: **0,13** M.O en milieu acide: M.O en milieu alcalin:

Mn²⁺: Fe²⁺: **0,23.**

	1	2	3	4	4	6
KMnO ₄ g/m ³						
Cl ₂	3					
SA	10	20	30	40	50	60
Chaux	0	0	1,85	3,7	5,55	7,4
pH. Résultant	7,55	7,4	7,3	7,2	7,18	7
Flocs	5	6	6	6	6	6
Turbidité	1,5	0,57	0,2	0,03	0,03	0,02
Couleur résiduelle mg/l	25 ⁺	20 ⁺	15	10	5	5
fer résiduel mg/l	0,14	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
M.O en milieu alcalin						
Manganèse						
Cl ₂ résiduel	0,08	0,08	0,1	0,34	0,38	0,38

NOTE	FLOC	DECANTATION	NOTE	FLOC	DECANTATION
0	Absolument nu	Absolument nulle	6	Moyen	de 8 à 15 mm
1	Pratiquement nu	Pratiquement nulle	7	Gros	de 4 à 8 mm
2	Opalescent	Plus de 2 heures	8	Très gros	de 2 à 4 mm
3	Très très fin	De 1 à 2 heures	9	Très très gros	de 1 à 2 mm
4	Très fin	De 0 à 60 mn	10	Exceptionnel	Moins de 1 mm
5	Fin	De 15 à 30 mn	0		

OBSERVATIONS:

TAC₃₀ = 6,5

THCa₃₀ = 3,8 → pH d'éq: 8,26 — TAC = 7,25

T₃₀ = 29,3 Quantité Ca(OH)₂ à l'éq: (TAC pH éq - TAC₃₀). 7,4

CND = 322 μS (7,25 – 6,5) 7,4

TDS = 166, 3 gr/l 5,55gr/ Ca(OH)₂.

6 B / Demande en bioxyde de chlore ClO_2 :

Le taux en vigueur est de **0,8 gr/m³** pour les installations.

0,8 mg/l pour le laboratoire.

Dans une série de flacons de 125 ml, remplis d'eau filtrée:

Injecter des doses croissantes de solution de ClO_2 de 0,1 à 1,2 par pas de **0,2** en essayant d'insérer le taux en vigueur au milieu de la série des 10 flacons à des intervalles de temps.

- ❖ 30 mn : temps de contact au niveau Usine;
- ❖ 2h : sortie d'Usine;
- ❖ 24h
- ❖ 48h
- ❖ 72h : arrivée au réservoir de Thiès.

La conduite est de 197 km, la dénivellation est de 40m, la pression est de 17 bars.

La production journalière environ de 39 500 m³/j.

Le débit horaire = production / temps = 39 500 / 24 = 1 650 m³/h.

On note et on mesure le résiduel de chlore par la méthode comparomètre DPD (diéthyl p. phénylène diamine) ou par l'orthotoluidine (10 gouttes) dans une prise d'essai de 10 ml d'échantillon d'eau.

Après 72h, on prendra l'essai auquel, on a un rejet de **0,1 mg/l**. Ce qui nous permettra d'être sûr d'avoir un résiduel au minimum égal à **de faibles traces** à l'arrivée des réservoirs de Thiès. La demande en ClO_2 tient compte de l'apport des forages qui sont sur le long de la conduite Kelle-Kébémér, qui ne sont pas dotés de postes de chloration. Si non on pourrait prendre l'essai pour lequel on a des traces.

SONEES, Usine de GNITH, Section Traitement

Demande en bioxyde de Chlore : ClO₂

Provenance de l'eau : **chlore du filtre N°1.**

Date: **12/08/95** Essai n°:

Température: **29,1** pH: **8,4** Couleur: **15⁺** Turbidité: **0,1.**

Cl₂ résiduel: **0,13** M.O en milieu acide: **0,79** M.O en milieu alcalin: **1,74.**

Mn²⁺: Fe²⁺: **0,009.**

Composition de la solution de bioxyde de Chlore ClO₂ :

pH: **1,6** ClO₂(mg/l): **190** Cl₂ (mg/l): NaClO₂ (mg/l):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ClO ₂ gr /m ³	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
Cl ₂ résiduel mg/l, après 30 mn	0,45	0,97	1,89	2,82	3,16	3,88	5,04	5,56		
Après 02H	0,13	0,68	1,51	2, 38	2,48	3,2	3,28	4		
24H	0,08	0,09	0,49	1,07	1,86	2,18	2,86	3,46		
48H	0,07	0,06	0,13	0,36	1,04	1,57	1,82	1,98		
72H										
Limites à injecter	0,13	0,26	0,52	0,8	1,05	1,3	1,6	1,84	2,10	2,37

6 D/ Méthode de dosage de ClO₂:

Prélever un volume de la solution de ClO₂, V= 10 ml dans le cas où on estime avoir une teneur de l'ordre de 1g/l;

Ajouter 10 ml de la solution de KI à 100 gr/l;

Titrer à l'aide de thiosulfate de sodium à 0,1N, jusqu'à décoloration sans utiliser d'amidon (ni de thiodène);

Soit x, le volume de thiosulfate 0,1N versé en ml, en acidifiant à pH = 4, en présence d'empois d'amidon;

Soit y, le volume total lu sur la burette en ml;

Expression des résultats:

1^{er} cas: **ux > y-x**

$$\text{ClO}_2 \text{ (mg/l)} = 1690 (y-x) / v;$$

$$\text{Cl}_2 \text{ (mg/l)} = 3550 (x-0,25(y-x)) / v;$$

2^{ème} cas: $4x < y-x$

$$\text{ClO}_2 \text{ (mg/l)} = 1690. 4x / v;$$

$$\text{NaClO}_2 \text{ (mg/l)} = 2660 (y-5x) / v;$$

3^{ème} cas: $4x = y-x$, la solution ne contient que du ClO_2 .

6 C / Mesure d'oxygène dissous:

La mesure est faite par la méthode volumétrique.

Remplir complètement un flacon de 250 ml, muni d'un bouchon rodé et dont la capacité est déterminée par pesée;

Laisser l'eau s'écouler pendant un certain temps;

Introduire près du fond avec une pipette à deux traits 1 à 2 ml de mélange de $\text{NaOH} + \text{KI}$, si l'eau est très chargée en CO_2 ;

Ajouter 1 ml de MnCl_2 ;

Agiter et laisser déposer le précipité floconneux de Mn(OH)_2 pendant 15 mn;

Lorsque la partie supérieure du liquide s'est complètement clarifiée, déboucher et à l'aide d'une pipette effilée, humectée d'eau;

Faire couler au fond du flacon 3 ml de H_2SO_4 (50%);

Refermer le flacon et agiter;

Transvaser avec soin la solution contenant l'iode dans l'ermeneyer;

Ajouter quelques gouttes d'empois d'amidon et titrer avec la solution de thiosulfate de sodium N/100 jusqu'à décoloration complète;

Soit x, le nombre de ml de thiosulfate N/80 utilisés;

$$\text{Résultat} = \text{nombre de ml de thiosulfate N/80 versés}$$

$$= \text{O}_2 \text{ dissous en mg / l.}$$

6 E/ Dosage du NH_4 :

Prise d'essai de 50 ml d'eau;

Ajouter 8 gouttes sel Seignette;

Ajouter 8 gouttes de Ractif de Nesler;

6F / Dosage du NO_2 - :

Prise d'essai de 50 ml d'eau;

Ajouter 8 gouttes d'indicateur de Zambellie;

Ajouter 8 gouttes d'ammoniaque;

Résultat: la couleur devient *jaune*, si c'est positif.

6 G / Dosage du SiO₂:

Prise d'essai de 25 ml d'eau;

Ajouter une pincée de molybdate d'ammonium;

Ajouter 20 gouttes de H₂SO₄ (1/2);

Résultat: la couleur devient *jaune*, si c'est positif.

6 H / Dosage du PO₄²⁻:

Prise d'essai de 20 ml d'eau;

Ajouter le réactif Vanado molybdique;

Résultat: la couleur devient *jaune*, si c'est positif.

VII / BALANCE IONIQUE:

Pour compléter l'analyse physico-chimique des eaux, on s'intéresse à la balance ionique. Les cations et les anions doivent y être de façon équilibrée.

7 A / Expression des cations:

1 méq = 5°F

Ca²⁺ + Mg²⁺ : TH /5;

Na²⁺ en mg/23;

K⁺ en mg/39.

7 B / Expression des anions:

Cl⁻ en °F/5;

TAC en °F/5, HCO₃;

SO₄²⁻ en mg/48;

NO₃²⁻ en / 62.

7 C / Conclusion:

Somme des cations	=	Somme des anions
Ca ²⁺ : 0,0449		Cl ⁻ : 0,0282
Mg ²⁺ : 0,0822		SO ₄ ²⁻ : 0,0208
Na ⁺ : 0,0434		HCO ₃ ⁻ : 0,0163
K ⁺ : 0,0255		CO ₃ ²⁻ : 0,0333
M ²⁺ : 0,0720		NO ₃ ⁻ : 0,0161
Fe ²⁺ : 0,0358		NO ₂ ⁻ : 0,0217
NH ⁴⁺ : 0,0554		F ⁻ : 0,0526
		PO ₄ ³⁻ : 0,0315
		SiO ₂ ⁻ : 0,0262.

Conversions:

HCO_3^- : en mg/l	12,2.TAC;
Ca^{2+} : en mg/l	4.THca;
Mg^{2+} : en mg/l	2,43 THMg;
CO_3^{2-} : en mg/l	12. TA si la TA < TAC/2;
HCO_3^- : en mg/l	TAC – 24,4.TAC;
Cl^- : en mg/l	7,1 Cl^- °F.

Produits de traitement en % de pureté:

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	:	17%;
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	:	95%;
KMnO_4	:	85%;
NaClO	:	80%;
$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	:	70%.

		SOCIETE NATIONALE DES EAUX DU SENEGAL			
				Localité:	
Région de				Jour de prélèvement:	
Milieu de prélèvement:				Heure	
Date :				Début d'analyse :	
Arrivée au Labo:		Heure:		Fin d'analyse:	
	ELEMENTS		TENEURS	INTERPRETATIONS RESULTATS	
	Température				
	Turbidité NTU				
	Résistivité Ohm - Cm				
	Conductivité - cm		649		1386
	pH		6,85		4,44
	Dureté totale (TH) F (degré français)		35		30,5
	Dureté calcique TH Ca		24		14
	Dureté magnésienne (TH mg)		11		16,5
	Alcalinité simple (TA)		0		0
	Alcalinité complète TAC		38,5		3
	Chlorures (Cl)		2,5		35
	Bicarbonates (HCO ₃) mg/l		469,7		36,6
	Carbonate (CO ₃)				
	Gaz Carbonique (CO ₂)				
	Oxygène dissout (O ₂)				
	Fluor (F)		0		0
	Silice (SiO ₂)		8		15
	Matières organiques (Alcalin)				
	Matières organiques (Acide)		1,45		2,7
	Sulfates (SO ₄)		0		75
	Phosphates (PO ₄)		< 0,5		< 0,5
	Nitrates (NO ₃)		0		228
	Nitrites (NO ₂)		0		Trace s
	Ammonium (NH ⁴⁺)		0		1,6
	Calcium (Ca ⁺⁺)		96		56
	Magnésium (Mg ⁺⁺)		26,7		40
	Mn ⁺⁺⁺		0,05		0
	Fer (Fe)		1,2		0,06
	Aluminium (Al ⁺⁺⁺)				
	Sodium (Na ⁺)		25,7		145,4
	Potassium (K ⁺)		2,7		15,3
	Chlore résiduel (Cl)				
	Résidu sec à 120 °C		475		1009
	LE CHEF DU LABORATOIRE			LE CHIMISTE	

UTILISATION DU CALQUE

Pour l'étude des problèmes de traitement d'eau avec le graphique carbonique

Données. Les données sont: le pH, l'alcalinité, la teneur totale en calcium, la température.

L'alcalinité et la teneur totale en calcium, sont supposées exprimées en Cao (mg/l). Si ces caractéristiques sont données en unités différentes, les correspondances des échelles du graphique permettent de faire immédiatement les transformations les plus usuelles.

Détermination d'Alc/CaO.---- Marquer Alc sur l'échelle Alc du graphique et Cao sur l'échelle Alc du calque. Superposer les deux échelles en faisant coïncider ces deux points. On lit Alc/Cao sur l'échelle spéciale du calque en face du repère triangulaire du graphique.

Marquer sur le calque les deux points caractéristiques de l'eau:

Point 1 sur le diagramme auxiliaire angle haut à gauche (température Alc/Cao),

Point 2 sur le diagramme principal (pH – Alc).

CO₂ libre. — Placer le calque sur le graphique. Tracer la droite **CO₂ libre** qui passe par le point 2. Lire CO₂ libre sur l'échelle à droite.

Droite de saturation CaCO₃. Amener le point 1 du calque sur la droite de référence du graphique en maintenant le parallélisme des quadrillages du calque et du graphique (par exemple par coïncidence de deux verticales ou horizontales). Calquer la droite: c'est la droite de saturation de l'eau distillée.

Eaux agressives: en dessous de la droite ---- **Eaux incrustantes:** au dessus

Courbe de neutralisation « Chaux ». --- Amener le point 2 du calque sur la courbe de référence « chaux » du graphique en maintenant la coïncidence des axes Alc du calque et du graphique. Calquer la courbe: c'est la courbe de neutralisation « chaux » de l'eau étudiée.

Courbe de neutralisation « Calcaire ». --- Opérer de la même façon en utilisant la courbe de référence « Calcaire » du graphique au lieu de la courbe « Chaux ».

Courbe de neutralisation « Magno ». (CO₃CaMgO). --- Amener le point 2 du calque sur la courbe de référence « Chaux » en maintenant la coïncidence de la ligne horizontale pH = 5,125 du calque avec l'axe Alc du calque et du graphique. Calquer la courbe: c'est la courbe de neutralisation « Magno ». (CO₃CaMgO). « chaux » de l'eau étudiée

Aération des eaux agressives. Le point remonte sur une verticale.

Détermination du CO₂ total. (pour les eaux dont le pH < 8,7). La courbe de « Chaux » étant en place, calquer ses deux asymptotes verticale et oblique. Le CO₂ total se lit sur le calque:

---- soit sur l'échelle « CO₂ des bicarbonates » à l'intersection de l'asymptote verticale,

---- soit sur l'échelle « CO₂ libre » à l'intersection de l'asymptote oblique.

VIII / ANALYSES BACTERIOLOGIQUES :

Pour faire l'analyse bactériologique des eaux, on dispose de différentes techniques de dénombrement afin de rechercher les germes les plus courantes.

VIII- / Colimétrie:

Dénombrement des coliformes.

Les coliformes font partie des Entérobactéries. C'est-à-dire des bactéries qui sont:

- Gram - ;
- Oxydase-
- Anaérobies facultatives;
- Fermentant le glucose avec ou sans production de gaz;
- Réduisant les nitrates en nitrite;
- Possédant la propriété de fermenter le lactose avec ou sans gaz don Lac+;

Les coliformes thermo tolérants sont des coliformes qui possèdent les mêmes propriétés et sont capables de fermenter le lactose (c'est-à-dire Lac+) à 44 °C.

La colimétrie peut comporter:

- Les coliformes totaux;
- Les coliformes thermo tolérants.

VIII- 1 A / Dénombrement de coliformes totaux:

Elle a un grand intérêt pour la *vérification des eaux naturelles et le traitement antiseptique* des autres. Elle permet de déceler une contamination fécale. Dans les coliformes totaux, il existe deux catégories:

- La première est composée d'hôtes habituels du sol et des eaux;
- La deuxième, les coliformes thermo-tolérants amenés par les matières fécales.

Pour les mettre en évidence, on dispose de deux méthodes:

- ❖ Technique en milieu liquide (NPP);
- ❖ Technique de dénombrement sur membrane;

Nous développerons la dernière qui est pratiquée dans ce laboratoire.

VIII- 1 Aa/ Technique de dénombrement sur membrane:

On utilise une rampe de filtration avec des creusets stérilisés à chaque échantillon et du verre fritté. Sur le verre fritté, on dépose la membrane stérile dans les conditions d'aseptie.

- ❖ Filtrer 100 ml d'eau;
- ❖ La membrane retient les bactéries de tailles supérieures à **0,45 μm** ,
- ❖ Translater la membrane sur un milieu de BBM (Bleu de BroMoThymol) sans bulles d'air;
- ❖ Pour 20 ml de milieu, on ajoute 1 ml de TTC à 0,05% et 1 ml de solution de Tergitol, à 0,02% au moment de le couler dans des boîtes de Pétri. C'est un milieu sélectif pour coliformes;
- ❖ Les germes contenus dans 100 ml vont puiser à travers la membrane des éléments nutritifs dans le milieu et donner naissance à des **colonies jaunes** décolorant le BBM en **jaune** pendant l'incubation de 24h à 37h;
- ❖ Lecture: Toutes les colonies suspectes avec un halot jaune sur le milieu sont repiquées sur le milieu **Vert brillant de Shubert** pour déterminer les coliformes totaux et thermotolérants par 100 ml.

On utilise cette méthode pour les eaux d'adduction naturelles ou traitées, qu'elles soient d'origine ou de distribution, les particuliers, les eaux d'abreuvement d'animaux, les eaux de piscine (prélèvements en profondeur).

Par ailleurs, signalons en quoi consiste la technique en NPP?

VIII-Ab / Technique en milieu (NPP):

NPP = Nombre le Plus Probable.

On utilise le nombre suivant qui permet de déterminer la suspicion des coliformes:

- ❖ Le bouillon lactosé utilisé à simple ou double concentration,
 - Ensemencement:
 - 3 tubes de 20 ml du bouillon lactosé concentré,
 - ➕ Ajouter **10 ml** d'échantillon d'eau à analyser,

On obtient un bouillon lactosé à simple concentration.

- 3 tubes de 10 ml de bouillon lactosé simple,
 - ➕ Ajouter **1 ml** d'échantillon d'eau à analyser,
 - 3 tubes de 10 ml de bouillon lactosé simple,
 - ➕ Ajouter **1ml** de dilution 10^{-1} à 10^{-4} .
 - Mettre à l'étuve à 30 °C pendant 48 h,
 - Lecture: On considère suspects tous les tubes ayant 1/10 de gaz dans la cloche et un trouble du milieu lactosé.
 - Confirmation des coliformes totaux et thermo tolérants par repiquage en parallèle sur deux milieux différents à deux températures
 - ✓ Sur Vert Brillant repiquage à **37°C** pendant **48 heures**, permet de déterminer les coliformes totaux;
 - ✓ Sur milieu de Shubert, incubation à **44°C** à bain marie pendant **48 heures**, permet de déterminer les coliformes thermotolérants;
- Sur les coliformes confirmés + au repiquage, on détermine le NPP, par une table.

Remarque:

On utilise cette méthode pour les eaux de rivière, eau de mer, plan d'eau de baignade.

Pour les eaux résiduaires, on prend deux tubesensemencés à partir de 10 ml jusqu'à la dilution 10^{-7} .

Rivières pour consommation humaine NPP:

Coliformes thermotolérants / 100ml = < 20 000;

Streptocoques fécaux/ 100 ml = <10 000.

VIII-2 / Dénombrement des streptocoques fécaux:

Ce sont des bactéries du groupe D:

- Bactéries Gram ⁺ ;
- Sphériques à ovoïdes, formant quand elles sont cultivées en milieu liquide des diplocoques, des chainettes;
- Catalases⁻, possédant l'antigène du Groupe D,

Nous disposons de deux techniques:

VIII-2-A / En milieu liquide (NPP):

- Ensemencement d'une prise d'essai de l'échantillon homogénéisé, dilué ou non, dans une série de tubes de bouillon glucosé à l'azoture NaN_3 ;
- Examen des tubes après **24 et 48 heures** d'incubation à **38°C**;
- Repiquage des cultures ayant donné lieu à une réaction positive, sont repiqués sur milieu de confirmation (gélose bilié à l'esculine);
- On ajoute un indicateur coloré qui donne une coloration **rouge pourpre**, au milieu de Rothe quand il est négatif et une **couleur jaune** quand il est positif (pour éviter de confondre avec le bouillon lactosé, utilisé pour les coliformes).
- Mode opératoire:
 - Même méthode pour les coliformes pour ensemencement. Les deux méthodes sont faites en parallèle;
 - Incubation à **37 °C** pendant **48 heures**,
 - Lecture: sont considérés suspects les tubes **jaunes** avec trouble du milieu;
 - Repiquage des tubes suspects sur gélose BEA à **37 °C** pendant **24 heures**.

Les streptocoques du groupe D se développent et hydrolysent l'**esculine**, le produit final se combine avec les ions Fe^{3+} , pour donner un composé de coloration noire qui diffuse dans le milieu.

Remarque:

Le repiquage par piqûre dans la gélose empêche une diffusion très grande dans le milieu.

NPP: On ne tient compte que des tubes suspects confirmés par **BEA**.

On n'utilise cette méthode pour des eaux de rivières, les eaux de mer, les plans d'eau de baignade, mais **pour les eaux résiduaires**, on prend deux tubes d'ensemencement de 10 ml à la dilution 10^{-7} .

VIII-2-B / Technique sur membrane:

On utilise le même matériel pour le dénombrement des coliformes sur membrane. Le milieu est adapté au développement des streptocoques: milieu de **Slanetz** et **Barthley**, auquel on rajoute du **TTC 0,5 ml à 1%** pour 100 ml de milieu. Le TTC donne la coloration aux colonies qui sont développées sur la membrane.

Mode opératoire:

- Mettre une membrane stérile sur le verre fritté;
- Filtrer 100 ml d'eau;
- Translater la membrane sur le milieu Slanetz **sans bulles d'air**.

Les germes contenus dans 100 ml vont se développer et donner des colonies de **couleur rouge pourpre à 37°C, pendant 48 heures**, après incubation.

- Lecture: Toutes les colonies suspectes sont repiquées sur milieu BEA, pour déterminer le nombre de streptocoques pour 100 ml.

On utilise cette méthode pour des eaux d'adduction naturelles ou traitées qu'elles soient d'origine ou de distribution, les particuliers.

On le fait en parallèle avec les coliformes, pour les eaux naturelles d'adduction, les particuliers, les eaux traitées sur demande.

Norme bactériologique: Adduction des particuliers **0/100 ml**.

VIII-3 / Dénombrement de bactéries anaérobies sulfito- réductrices:

Ce sont des formes de résistance de micro-organismes, se développant en anaérobiose à **37°C en 24 ou 48 heures**, sur une gélose viande foie, donnant des colonies typiques noires avec un halot noir réduisant le sulfite de sodium.

Mode opératoire:

- Dans un tube stérile, mettre 20 ml d'échantillon d'eau homogénéisée;
- Mettre au bain Marie **10 mn à 80°C**;
- Refroidir sous l'eau de robinet;

Le choc thermique effectué permet de faire éclater les spores de germes anaérobies, qui vont se développer.

Juste avant de couler dans le tube de 20 ml, sans créer de bulles d'air, ajouter à la gélose viande foie **1,5 ml de sulfite de sodium à 10 % et deux gouttes d'alun de Fer**.

- Laisser solidifier avant d'incuber **24 h à 48h à 37 °C**;
- Lecture: considérées bactéries anaérobies sulfito-réductrices, toute colonie entourée de **halot noir**.

Norme : **1 spore/20 ml**. Plus d'une spore = eau non potable, pour les eaux d'adduction.

On utilise cette méthode pour les eaux d'adduction, origine et distribution traitée, les particuliers et deux dilutions supplémentaires pour les eaux de rivière. Elle est signe de contamination ancienne et **ne se détruit pas par le chlore**.

VIII-4 / Dénombrement des germes totaux par ml:

Définition:

Les micro-organismes revivifiables se développent en anaérobiose à **20°C**, après **72 heures** ou à **37 °C**, après **24 heures** sur des milieux sélectifs.

Mode opératoire:

- On fait 4 boîtes contenant chacune 1 ml de l'échantillon où on coule la gélose ordinaire en répartissant de façon homogène dans la masse;
- Incubation: 2 boîtes à **37°C** pendant **24 heures**;
2 boîtes à **20 °C** pendant **72 heures**.
- Lecture avec appareil de dénombrement;
- Expression du nombre de germes par ml ;

Pour les eaux de rivières: pour affiner le résultat des eaux chargées, on procède par dilution avec ensemencement de 6 boîtes.

A 37°C	1 boîte: 1ml	1 boîte: 1ml 10 ⁻²	1 boîte: 1ml 10 ⁻³
A 20 °C	1 boîte: 1ml	1 boîte: 1ml 10 ⁻²	1 boîte: 1ml 10 ⁻³ .

VIII-5/ Staphylocoques et Staphylocoques pathogènes:

Ce sont des coques Gram⁺, réalisant un aspect en grappe de raisin caractéristique. Il est habituel d'observer aussi dans les préparations des germes isolés ou par deux en formant de courtes chaînes, immobiles non capsulés.

- Catalase⁺.
- Aérobie, anaérobies facultatifs;
- Faisant fermenter les glucides;
- Glycérol⁺

Coagulase⁺, pour les staphylocoques pathogènes.

Mode opératoire:

- Ensemencement: Filtration 100 ml d'eau prélevée en surface sur une membrane stérile avec l'appareil à filtration;
- Transférer la membrane sur un **milieu Chapmann mannitolé**;
- Incubation **24 heures à 48 heures à 37 °C**.
- Lecture: sont considérées suspectes, toutes les *colonies blanches, blanchâtres, jaunes, avec un halot jaune* sous la colonie dans le milieu rouge de Chapman.

Recherches de Coagulase:

- Repiquer en **BBH** (Bouillon Bran Han de Cerveau de cœur), une colonie typique suspecte;
- Mettre à l'étuve à **37°C pendant 48 heures**.
- Mettre 4 gouttes de plasma de lapin avec *quatre gouttes* de BBH;
- **Trouble 24 heures à 37°C** (dans des tubes à hémolyse);
- Au bout de 24 heures (voire moins), regarder la consistance du mélange dans les tubes à hémolyse avec un mélange pris en masse. On peut même tourner le tube sans que le culot bouge.

Résultats:

Nombre de germes à coagulase + dans 100 ml.

Remarque: Pour le prélèvement, on se sert de flacon à grande ouverture.

VIII-6 / Remarques Générales:

- Bactériologie d'une eau résiduaire et rejet en mer d'épuration:

Coliformes totaux et thermotolérants avec streptocoques fécaux, le plus souvent (ensemencement en deux tubes de 10 ml à dilution 10^{-7}), méthode NPP.

- Bactériologie eau de mer, plan d'eau pour baignade, rivières:

Recherches de coliformes totaux et thermotolérants:

Recherches de streptocoques fécaux (ensemencement en 3 tubes de 10 ml à dilution 10^{-4}), méthode NPP.

- Bactériologie pour les eaux d'adduction et particuliers:
- Bactériologie pour les eaux de piscine:

Coliformes totaux et thermotolérants;

Staphylocoques pathogènes;

Germes totaux 24 heures à 37 °C (2 boîte).

IX / CONCLUSION GENERALE

Si l'analyse de l'eau peut comporter une analyse bactériologique et une analyse physico-chimique, il est nécessaire pour des raisons d'hygiène et de santé publique de suivre en permanence un certain nombre de paramètres, surtout si c'est de l'eau destinée à la consommation humaine.

Quant à la manière de percevoir la qualité d'un cours d'eau, indépendamment des paramètres physico-chimiques, on pourrait faire recours à l'IBG (Indice Biologique Global), qui nous renseigne de par les organismes que l'on y trouve qui se *répartissent en espèces indicatrice de bonne eau et espèces de mauvaise eau*. Donc ces deux approches d'analyse des différents types d'eau seraient complémentaires, l'une de façon ponctuelle et l'autre de façon continue.

Quant aux eaux du Lac de Guiers, elles sont chimiquement équilibrées, comme le révèle une étude hydrologique: une salinité moyenne de 232 mg/l, pour une conductivité de 340 mhos et un pH de 7,8. Quantitativement, les bicarbonates prédominent (91 mg/l).

La quantité chimique des eaux évolue annuellement de manière caractéristique, sous l'effet des entrées-sorties d'eau de diverses origines et de l'importante évaporation. En année hydrologique normale, le coefficient de concentration moyen annuel des eaux est de 2,25. Depuis 1992, le régime hydrologique est modifié et les apports fluviaux quasi continus, induisent une plus grande stabilisation de la qualité des eaux.

Les variations annuelles de salinité se doublent d'un gradient qualitatif Nord-Sud bien marqué. De 2,9 pour la salinité, il atteint 3,5 chez les éléments les plus conservatifs comme le chlorure ou le sodium.

La comparaison entre la situation qualitative de la période 1989-92 et celle qui prévalait, avant la mise en fonction du barrage de Diama, montre que les eaux sont nettement moins minéralisées aujourd'hui qu'il y a 10 ans. Cette baisse de la salinité dans le Lac est à attribuer uniquement à la plus grande dilution de ses eaux. La retenue de Diama assure un bon remplissage annuel du Lac et permet quelques apports complémentaires en cours d'année si nécessaires.

Le stock lacustre des éléments dissouts n'a par contre que peu changé et ce malgré les lâchers annuels effectués du Ferlo, à partir de la digue de Keur Momar SARR. En effet les pertes occasionnées par ces chasses d'eau, sont compensées par des rejets dans la région Nord du Guiers des eaux de drainage des cultures irriguées de la CSS. La charge en chlorures des rejets est particulièrement élevée.

Un premier modèle de gestion qualitative des eaux a été mis au point pour les chlorures et testé sur la période de 1982-1992.

Les simulations appliquées aux conditions de l'an 2000 dont, entre autre, la mise en fonction du Canal du Cayor, montre que l'évolution qualitative future du Lac, dépend de 3 **facteurs principaux**:

- L'importance et la qualité future des apports fluviaux;
- La gestion limnique du plan d'eau;
- Et le maintien ou non des rejets de la CSS dans le Lac.

BIBLIOGRAPHIE

Association Française de Normalisation AFNOR et ISO

Tour Europe cedex 792080 PARIS LA DEFENSE.

Brochure réalisée par les Editions France Avenir 45-47 rue d'Hauteville 75010.

DEGREMONT G. Memento Technique de l'Eau.

Institut Pasteur: Milieux et réactif de laboratoire édition avril 1981.

Institut Pasteur: Microbiologie, Immunologie, 3^{ième} édition.

Mme COIFFIER: Note sur les travaux pratiques: Analyse de l'eau,

I.B.B.A (Institut de Biochimie et de Biologie Appliquées), Caen (FRANCE).

LECLERC H ., D.D.A Mossel: Microbiologie, le tube digestif, l'Eau
et les Aliments, préface J.J.BERNIER.

RODIER J: Analyse de l'eau, eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer

Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie 7^{ième} édition.

DIOP Cheikh Tidiane: Thèse de Maîtrise de Biochimie et de Biologie Appliquées,

(I.B.B.A) à Caen-FRANCE: Sujet "*Paramètres Microbiologiques et Physico-chimiques de l'eau*" au Laboratoire Départemental et Régional de Biologie et d'Hygiène (LDRBH), Service d'Hydrologie, 1990-1991.