

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytec.nique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

ETUDE DES EAUX D'ALIMENTATION

A L'E. N. P. M. H.

DE BERROUAGHIA

Proposé par :

M. BOURKIZA
O. HADJADJ AOUL

Etudié par :

M. HAMIANE
R. KACI

Dirigé par :

M. BOURKIZA
O. HADJADJ AOUL

PROMOTION :

JANVIER 1988

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE CHIMIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

ETUDE DES EAUX D'ALIMENTATION

A L'E. N. P. M. H.

DE BERROUAGHIA

Proposé par :

M. BOURKIZA
O. HADJADJ AOUL

Etudié par :

M. HAMIANE
R. KACI

Dirigé par :

M. BOURKIZA
O. HADJADJ AOUL

PROMOTION :

JANVIER 1988

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

و جعلنا من الماء كل شيء حي

أفلا يؤمنون

الآية ٣٠ من سورة الأنبياء

- ooOoo - DEDICACES - ooOoo -

- A ma mère qui a tout souhaité me voir arriver à cette étape et à qui je souhaite une longue vie
- A la mémoire de mon père, tombé au champ d'honneur pour la liberté de notre pays d'Algerie, que dieu ait son âme.
- A mon frère
- A ma soeur
- A toute ma famille et amis
- A tous ceux qui me sont chers.

MESSAOUD

-ooOoo-R E M E R C I E M E N T S-ooOoo-

Ce travail a été réalisé au département Génie Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'El Harrach.

Monsieurs : M. BOURKIZA et O. HADJADJ Aoul, respectivement maître assistant et maître assistant stagiaire à l'E.N.P, ont dirigé cette étude.

Nous remercions Monsieur O. HADJADJ Aoul bien sincèrement pour l'aide qu'il nous a constamment apporté. Par ses conseils et sa présence continue, il a facilité la réalisation de ce travail, nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude.

Nous nous saurons jamais oublié les nombreux conseils que nous a prodigué Monsieur BOURKIZA. Sa compréhension et son sens des relations humaines resteront pour nous un exemple. Nous nous le prions de bien vouloir accepter notre profonde reconnaissance.

Nous remercions également à Monsieur le Professeur R. BELABBES pour ses prodigieuses orientations, en vue de l'élaboration de ce modeste travail.

Les responsables de l'E.N.P.M.H (Berrouaghia) en particulier ceux du département énergétique ont grandement contribué à cette tâche par les nombreux échanges que nous avons eu, destinés à la compréhension de la nature du problème. Pour cela Monsieur OUALI a ménagé un grand effort pour venir à notre aide.

Nous exprimons, nos vifs remerciements aux membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail.

A tout ce qui ont contribué de loin ou de près à notre formation, que tous nos camarades trouvent ici, dans ce modeste travail, l'expression de notre profonde gratitude.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

وزارة التعليم العالي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
مصلحة الهندسة الكيميائية
الموجهة :
تلميذ مهندس : حيان مسعود
قاسي رابح

DEPARTEMENT : Génie Chimique
PROMOTEURS : M. BOURKIZA et O. HADJADJ AOUL
ELEVES INGENIEURS : HAMIANE .M
KACI.R.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : دراسة مياه التغذية بـ ENPMH بالبرواقية
ملخص : تهدف هذه الدراسة إلى معالجة كيميائية لمياه آبار محلية وسد
غريب الممونان لمركب انتاج معدات الري بالبرواقية .
بإمكان هذه المعالجة الحد من الصعوبات التقنية التي تتعرض
لها شبكة توزيع المياه بالمركب ، سالف الذكر .

SUJET : Etude des eaux d'alimentation à l'ENPMH de Berrouaghia

RESUME : L'objet de cette étude est le traitement chimique des
eaux du forage local et du barrage Ghrib, alimentant les utili-
tés du complexe ENPMH de Berrouaghia.

Ce traitement pourra éventuellement limiter les con-
traintes au quelles fait face l'ensemble du circuit de distri-
bution.

SUBJECT : : Study the waters of ENPMH in Berrouaghia

SYNOPSIS :The aim of our work has been to study the waters from
local allwell and the dam of Ghrib, used for different purposes
at the valves and pumps ENPMH plant in Berrouaghia.

As a résultat of our experimental work, we have been able
to come up with a chemical treatment as a remedy to the problems
encountered at the plant.

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
Nature du problème à l'ENPMH de Berrouaghia	3
<u>CHAPITRE I : Généralités sur les eaux</u>	
1. <u>Origine des eaux</u>	5
1.1_ Les eaux météoriques	
1.2_ Les eaux superficielles	
1.3_ Les eaux souterraines	
2. <u>Composition des eaux</u>	7
2.1_ L'oxygène	
2.2_ Le gaz carbonique	
2.3_ Les sels de dissolution contenus dans l'eau	
2.3.1_ Les carbonates alcalino-terreux	
2.3.2_ Les bicarbonates alcalino-terreux	
2.3.3_ Les sels de fer	
2.3.4_ Les sulfates et les chlorures	
2.3.5_ Les sels ammoniacaux et les nitrites	
3. <u>Les caractéristiques principales des eaux</u>	10
3.1_ La dureté	
3.1.1_ La dureté temporaire	
3.1.2_ La dureté permanente	
3.2_ L'alcalinité	
3.2.1_ Le titre alcalimétrique T A	
3.2.2_ Le titre alcalimétrique complet T A C	
3.2.3_ Signification du titre hydrätimétrique ou T H	
3.3_ La salinité	
3.4_ La teneur en silice	
3.5_ La turbidité	
4. <u>Les principaux incidents affectant les circuits de refroidissement et de chaudières</u>	13
4.1_ L'entartrage	
4.1.1_ Mécanisme de l'entartrage	
4.1.2_ Danger des incrustations	
4.2_ La corrosion	
4.3_ Le primage	
5. <u>Traitements de base des eaux de circuits de refroidissement et de chaudières</u>	15

5.1_Traitement des eaux de refroidissement
 5.1.1_Lutte contre les incrustations
 5.1.2_Lutte contre la corrosion
 5.2_Traitement des eaux de chaudières

6. Procédés de traitement des eaux industrielles22
 6.1_Définition d'une eau industrielle
 6.2_Procédés chimiques
 6.2.1_L'échange d'ions
 6.2.2_Extraction par solvants sélectifs
 6.3_Procédés physico-chimiques
 6.3.1_L'osmose ionique
 6.3.2_L'électrodialyse
 6.3.3_L'osmose inverse
 6.3.4_Ultra-filtration
 6.4_Procédés physiques
 6.4.1_Extraction par formation d'hydrates
 6.4.2_La congélation
 6.4.3_La distillation

CHAPITRE II : Théories de traitement à la vaccination acide, au Na_2CO_3 et Na_3PO_4

1. Théorie de la vaccination à l'acide sulfurique26
 1.1_Propriétés de l'acide sulfurique (H_2SO_4)
 1.2_Décarbonation acide
 1.3_Mécanisme de la réaction de vaccination
 1.4_Avantages et inconvénients du traitement avec H_2SO_4

2. Théorie d'action du carbonate de sodium (Na_2CO_3)29
 2.1_Définition et propriétés
 2.2_L'utilisation de carbonate de sodium
 2.2.1_Adoucissement à froid
 2.2.2_Adoucissement à chaud
 2.3_Principe d'action adoucissante de Na_2CO_3
 2.4_Avantage du traitement par Na_2CO_3

3. Théorie d'action du phosphate trisodique (Na_3PO_4)31
 3.1_Historique
 3.2_Définition et propriétés
 3.2.1_Forme commerciale usuelle
 3.2.2_Solubilité
 3.3_Mécanisme d'action de Na_3PO_4
 3.3.1-Etapes de mécanisme
 3.4_Importance de Na_3PO_4 dans le traitement des eaux.

CHAPITRE III : Caractères des eaux à étudier



- 1. Caractères physico chimique34
- 2. Composition35
- 3. Interprétation des résultats36
 - 3.1. Caractères physico chimiques
 - 3.2. Composition

CHAPITRE IV : Traitement par vaccination acide

- 1. Influence du temps d'ébullition sur le T_A , T_{AC} et T_H . . .38
 - 1.1. Interprétation des résultats
- 2. Calcul du PH d'équilibre40
- 3. Détermination de la quantité de H_2SO_4 pour ramener le T_{AC} à $0^\circ F$. . .46
 - 3.1. Interprétation des résultats
- 4. Neutralisation de la dureté temporaire par H_2SO_4 (N/10) . . .49
 - 4.1. Interprétation des résultats
- 5. Evolution du PH de l'eau de forage et de barrage en fonction de la quantité ajoutée de H_2SO_4 (N/10) . . .51
- 6. Neutralisation à la soude (NaOH 0,1 N)54

CHAPITRE V : Traitement au carbonate de sodium et au phosphate trisodique (Na_2CO_3 et Na_3PO_4)

- 1. Adoucissement au carbonate de sodium (Na_2CO_3)56
 - 1.1. Interprétation des résultats
- 2. Adoucissement au phosphate trisodique (Na_3PO_4)58
 - 2.1. Interprétation des résultats.
- 3. Adoucissement mixte au carbonate de sodium et au phosphate trisodique ($Na_2CO_3 + Na_3PO_4$) . . .61
 - 3.1. Interprétation des résultats.

CHAPITRE VI : CONCLUSIONS GENERALES65

ANNEXES66

BIBLIOGRAPHIE68

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

L'eau est un facteur indispensable pour l'industrie moderne.

Elle est d'une importance majeure. Cependant, les eaux naturelles qui sont régulièrement utilisées dans l'industrie répondent rarement aux exigences. Les substances minérales et organiques qu'elle renferme, peuvent présenter des nuisances pour les équipements qu'elle utilise. En effet, un mauvais conditionnement ou le non respect des conditions d'exploitation entraîne, en particulier, l'entartrage ou la corrosion de ces équipements.

Pour les rendre propres au usages industriels, il est nécessaire de rechercher un traitement pratique et économique. Ce traitement doit être en rapport avec les propriétés de l'eau à utiliser

Notre travail a pour objet l'étude des eaux de forage et du barrage GHRIB, qui alimentent le complexe de l'ENPMH de Berrouaghia, en vue d'un traitement chimique. Pour cela on a divisé cette étude en deux étapes.

La première étape consiste à déterminer les propriétés physiques et chimiques des eaux en question. Ces résultats nous renseigneront sur la nature et la teneur en impuretés. En outre, ils sont comparés à l'eau de Cheffa, précédemment utilisée, tout en tenant compte des normes qu'exigent les installations de l'ENPMH (chaudières, circuits de refroidissement, compresseurs et échangeurs).

La deuxième étape constitue une mise au point d'un traitement chimique susceptible de remédier aux altérations que subissent les installations du complexe ENPMH.

Dans un premier temps, nous avons procédé à la décarbonatation de ces eaux par vaccination à l'acide sulfurique. Ce traitement sera d'un apport non négligeable pour les circuits de refroidissement.

Dans un autre temps, nous avons choisi, d'adoucir ces eaux au carbonate de sodium (Na_2CO_3) et au triphosphate de sodium (Na_3PO_4).

Enfin et pour des raisons économiques, nous avons essayé un adoucissement mixte utilisant Na_2CO_3 et Na_3PO_4 . Cela est envisagé dans le but de faciliter la préparation des eaux de chaudières.

Nature du problème à l'ENPMH de Berrouaghia

Au complexe pompe et vanne de Berrouaghia, les circuits de refroidissement et les chaudières présentent des incrustations (dépôt de tartre). L'alimentation de ces installations par l'eau de barrage de Ghrif et l'eau de forage en est la cause principale.

Cela entraîne :

- Une augmentation importante de la consommation d'énergie due à la baisse du coefficient d'échange thermique des appareils entartrés.

- Une réduction du diamètre des canalisations (d'où leur bouchage progressif).

- Des déformations de tubes dues à une surchauffe locale du métal pouvant s'accompagner d'une vaporisation brutale de l'eau.

- Aussi, il faut noter l'accroissement des risques de corrosion.

Aperçu historique

Depuis le démarrage du complexe ENPMH en 1975, on n'a noté aucun incident dans les circuits de refroidissement et des chaudières.

Il faut préciser qu'une installation de traitement d'eau a été prévue. Celle ci sert à couvrir les pertes en eau dans le circuit de refroidissement. L'eau brute préalablement utilisée était celle de la Cheffa. L'eau d'appoint de l'installation est traitée par HCl à 5 % et au tripolyphosphates de sodium à 1 %.

De même on a noté la présence d'un adoucisseur pour le traitement de l'eau d'appoint des chaudières. Les besoins domestiques de la région de Médéa ont absorbé la totalité de cette eau. De ce fait, en 1983, l'alimentation en eau des installations de l'ENPMH a été remplacé alternativement par l'eau de barrage de Ghrif et par l'eau de forage.

Dés les premiers temps de l'utilisation de ces eaux, on a remarqué des altérations dans les installations. Il s'agit de l'entartrage et de la corrosion des circuits de refroidissement et de chaudières.

Il faut préciser que l'effet de l'eau de forage est moins important par rapport à celle du barrage Ghrib.

Il a résulté de ces incidents le renouvellement de quatre (04) chaudières.

En dépit de ce changement, les incrustations de tartre se sont de nouveau apparues.

Nous nous sommes fixés pour but de remédier à cela, en procédant à un essai de traitement susceptible d'être efficace et simple avec récupération des installations de traitement précédemment utilisées.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES EAUX

L'eau a une importance considérable sur le plan industriel.

Ainsi plusieurs préparations industrielles font usage de l'eau comme matière première (préparation de HNO_3 et H_2SO_4). L'eau est très employée comme solvant, comme agent de lavage et comme fluide de refroidissement. Elle a une très grande influence sur les climats à cause de la très grande quantité de chaleur qu'elle emmagasine, lorsqu'elle se réchauffe lorsqu'elle fond et lorsqu'elle s'évapore.

Le tableau Ia nous donne certaines propriétés physiques et chimiques de l'eau.

1. Origine des eaux (3*)

La quantité des impuretés dépend en partie de l'origine de l'eau qui peut être atmosphérique, superficielle ou souterraine.

1.1. Les eaux météoriques (pluie, neige, grêle) =====

Généralement, elles renferment peu d'impuretés. Elles contiennent surtout des gaz dissous, alors que les sels dissous sont presque totalement absents.

1.2. Les eaux superficielles =====

Ce sont celles des rivières et des fleuves, des lacs et des mers. Elles se caractérisent par une composition très variée des impuretés.

1.3. Les eaux souterraines (puits, sources) =====

Elles présentent une teneur variable en sels dissous, qui dépend de la composition et de la structure des sols et des roches.

Tableau I.a

Quelques propriétés physiques et (7*)

chimique de l'eau

Paramètres	Valeur des paramètres	Conditions opératoires
Chaleur de vaporisation	539,55 Cal/g	à 100°C et 1 atm
Température d'ébullition	100°C	à pression atmosphérique
Chaleur de fusion	76,4 Cal/g	à 0°C et 1atm
Chaleur massique	1,00697 Cal/g°C	à 100°C et 1 atm
	0,99828 Cal/g°C	à 25°C et 1 atm
Densité	1,000	à 4°C
	0,92	l'eau en forme de glace
Chaleur de formation de la molécule H ₂ O	57,8 K Cal/mole	
Tension superficielle γ	$73 \cdot 10^{-3}$ N/m (73 dyms/cm)	à 18°C
	$52,5 \cdot 10^{-3}$ N/m	à 100°C
Conductivité de l'eau pure K.	$4,2 \cdot 10^{-6}$ siemens/m	à 20°C

Le tableau I.b nous donne les principales differences entre les eaux superficielles et profondes.

2. Composition des eaux (3* , 5* , 10*)

Les eaux naturelles contiennent diverses impuretés d'origine minérale, ou organique. Elles peuvent renfermer des gaz dissous (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 , NH_3). Les sels, les acides et les bases dissous dans l'eau sont pour la plupart des cas dissociés en cations et anions Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Mn^{2+} , SO_4^{2-} , $HSiO_3^-$, F^- , NO_3^- , CO_3^{2-} etc...

2.1. L'oxygène

C'est un gaz très peu soluble. Toutes les eaux qui se trouvent en contact avec l'air atmosphérique en contiennent un peu. Cependant, certaines eaux d'origines souterraines en sont totalement dépourvues.

2.2. Le gaz carbonique

Toutes les eaux naturelles contiennent une proportion de gaz carbonique. Une partie de CO_2 , contenu dans l'eau, se trouve en solution sursaturée et tend à se dégager.

2.3. Les sels de dissolution contenus dans l'eau

Parmi les sels qui peuvent se présenter en solution dans l'eau, il faut noter les carbonates et les bicarbonates alcalino - terreux.

2.3.1. Les carbonates alcalino - terreux

Ils représentent les carbonates de calcium et de magnésium, qui sont peu solubles. Leur présence en solution sursaturée communique à l'eau un caractère entartrant ou incrustant.

Tableau I.b

Principales différences entre les eaux superficielles et
Profondes (4*)

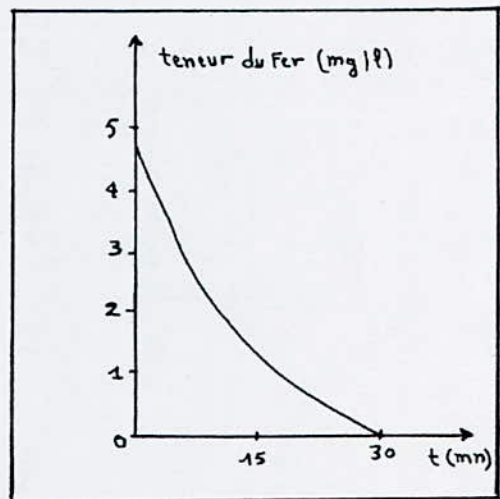
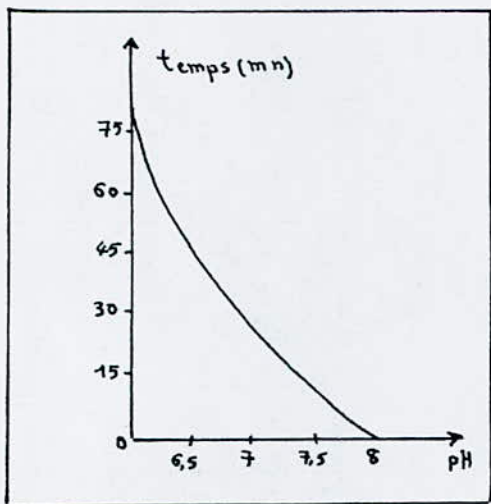
Caracteristiques	Eaux superficielles	Eaux profondes
Température	Variable selon les saisons	Relativement stable
Turbidité	Variable	Faible ou nulle
Fer, Manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
Dioxyde de carbone dissous	Généralement absents	Généralement présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Souvent au voisinage de la saturation	Absence totale
H ₂ S	Généralement absent	Présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présence fréquente, qu'elle soit un indice systématique de pollution.
Silice	Teneur modérée	Teneur souvent élevée.
Micropolluants organiques et minéraux	Présents dans les régions industrielles susceptibles de disparaître après suppression de la source polluante.	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Éléments vivants	Bactéries (certaines sont pathogènes, virus plancton.	Ferrobacteries fréquentes

2.3.2. Les bicarbonates alcalino - Terreux
oo

Ce sont des sels solubles dans l'eau, il ne sont stables qu'en présence d'une quantité de gaz carbonique suffisante pour les maintenir en équilibre.

2.3.3. Les sels de fer (9*)
oo

Ce sont des sels instables. Ils sont présents en général que dans les eaux agressives sous l'influence d'une élévation de PH; ils s'hydrolysent en donnant l'hydroxyde ferreux. Pour éliminer le fer, il suffit de le transformer en Ion ferrique (de Fe^{2+} à Fe^{3+}) ; en vue d'obtenir sa précipitation et sa séparation.



Vitesse d'oxydation du Fer Ferreux en fer Ferrique en fonction du pH

Teneur du Fer en fonction du temps d'oxydation.

2.3.4. Les sulfates et les chlorures
oo

Les sulfates et les chlorures confèrent à l'eau une dureté désignée sous le nom de dureté permanente. Ils sont très solubles et parfaitement stables.

2.3.5. Les sels ammoniacaux et les nitrites
oo

Les sels ammoniacaux et les nitrites sont aisément oxydables, la teneur en ces sels dans l'eau ne présente aucune stabilité.

3. Les caractéristiques principales des eaux (5*, 6*)

L'analyse des eaux destinées à des usages industriels, consiste généralement à déterminer:

- La dureté
- L'alcalinité
- La salinité
- La teneur en silice
- La turbidité

3.1. La dureté
=====

La dureté d'une eau est proportionnelle au nombre total d'atomes de calcium et de magnésium qu'elle renferme.

On exprime la dureté en degré hydrotimétrique, mais il faut distinguer les "degrés", Français, Anglais, Américain, Allemand. Il existe aussi une unité internationale le "milliéquivalent".

1milliéquivalent = 5 degré Français = 3,5 degré Anglais = 2,9 degré Américain = 2,8 degré Allemand = 50 P.P.M.

3.1.1. La dureté temporaire (ou dureté carbonatée)
oo

Elle résulte de la présence dans l'eau des hydrogéné-carbonates de calcium et de magnésium. Quand on fait bouillir une eau, les hydrogénécarbonates se transforment en sels neutres ou basiques insolubles, en se précipitant sous forme d'un dépôt de tartre.

3.1.2. La dureté permanente (ou dureté non carbonatée)
oo

Elle est due à la présence des sulfates et de chlorures de calcium et de magnésium.

Ces substances ne se décomposent pas dans l'eau bouillante.

La somme des deux duretés (permanente et temporaire)
est la dureté totale.

3.2. L'alcalinité (14*)
=====

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des
hydrogènocarbonates, carbonates et hydroxydes.

3.2.1. Le titre alcalimétrique T_A
oooooooooooooooooooooooooooooooooooo

Il mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en
carbonates alcalins caustiques.

3.2.2. Le titre alcalimétrique complet ou TAC
oooooooooooooooooooooooooooooooooooo

Il correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres,
carbonates et hydrogènocarbonates.

3.2.3. Signification du titre hydrotimétrique ou T_H
oooooooooooooooooooooooooooooooooooo

Le titre hydrotimétrique donne la quantité des bicar-
bonates, sulfates, chlorures etc..., des alcalino-terreux présents
dans l'eau.

- . T_H total : indique globalement la teneur en sels de
calcium et magnésium.
- . T_H calcique : Indique la teneur en sels de calcium
- . T_{Hp} : Désigné sous le nom de dureté permanente
indique la teneur en sulfates et chlorures
de calcium et magnésium
$$T_{Hp} = T_H \text{ total} - T_{AC}$$

. Le T_H , T_A et T_{AC} sont exprimés en degré Français

3.3. La salinité
=====

Elle s'exprime en milligramme ou en gramme de sels
solubles par litre d'eau.

3.4. La teneur en silice

=====

La teneur en silice s'exprime en mg de SiO_2 par litre ou en PPM.

Elle peut varier de quelques mg à 50 mg par litre.

Les eaux, les plus douces sont le plus souvent très riche en silice.

La silice existe principalement dans les eaux, à l'état ionique.

3.5. La turbidité

=====

La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence. Plusieurs méthodes ont été proposé pour la détermination de la turbidité.

- . Comparaison de la transparence de l'échantillon à celle d'un échantillon d'eau distillé.
- . Détermination de la limite de visibilité d'un objet.
- . Certaines appareils (turbidimètre) permettent une lecture directe.

4. Les principaux incidents affectant

Les circuits de refroidissement et de chaudières (5*, 6*)

L'alimentation des circuits de refroidissement et de chaudières avec les eaux naturelles, peut être à l'origine de l'entartrage, la corrosion et le primage.

Ces incidents sont liés à la qualité d'eau.

4.1. L'entartrage

L'eau naturel contient en général une quantité importante de bicarbonate de calcium, qui se décompose au contact des tubes chauds des réfrigérants, condenseurs et sur les surfaces de chauffe de chaudières. La décomposition des bicarbonates forme un dépôt incrustant (tartre) de carbonate de calcium $(CO_3H)_2 Ca + \text{Chaleur} \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$.

4.1.1. Mécanisme de l'entartrage

Lorsque la solubilité d'un sel diminue avec l'augmentation de la température il se forme des incrustations dures et adhérentes très fortement aux surfaces chauffées.

Si la solubilité augmente avec la température, les dépôts adhérents sont, en général, peu abondants et localisés surtout aux parois les moins chaudes. Si la solubilité varie dans le sens contraire de la température, c'est sur les parois chaudes que la sursaturation sera atteinte en premier lieu.

4.1.2. Danger des incrustations

Les incrustations sont dangereuses en raison de leur conductibilité thermique inférieure à celle du fer. Par conséquent, lorsque le fer est surchauffé, sa résistance mécanique s'en trouve affaiblie. Il se produit alors des détériorations.

Au cas où un morceau de tartre d'une certaine surface vient à se détacher, la vaporisation brutale de l'eau qui arrive au contact du métal très chaud,

peut provoquer des éclatements de tubes. Par conséquent, la capacité de vaporisation diminue et la consommation de combustible augmente.

4.2. La corrosion

=====

Le phénomène de corrosion conduit à la modification de l'état initial d'un métal, lorsque celui ci se trouve en contact avec d'autre milieu (liq-sol-gaz).

Il faut noter qu'il y a plusieurs formes de corrosion de chaudières et de circuits de refroidissement, dont les principaux agents sont : l'eau, l'oxygène, le gaz carbonique et certaines substances organiques. Les dépôts qui se forment à partir des sels peu solubles ne doivent pas être confondus avec l'accumulation d'oxydes de fer (couleur rouge orangé ou noir).

Ils révèlent le caractère corrosif de l'eau de refroidissement.

Le tartre évite, en partie, le contact métal eau, donc il inhibe la corrosion.

Le traitement des eaux de réfrigération met en équilibre les phénomènes d'entartrage et de corrosion.

Le procédé du traitement permet de régler le PH des eaux de refroidissement, en injectant des reactifs acide ou base. Les injections permettent d'obtenir un équilibre entre le tartre et la corrosion.

4.3. Le primage

=====

Les bulles de vapeur qui se forment à la surface de séparation entre l'eau de chaudière et l'eau vaporisée entraînent à l'état vésiculaire des solutions concentrées, qui provoquent, dans les condenseurs et les turbines, la formation des dépôts solides.

Elles baissent la température de la vapeur surchauffée et diminuent ainsi le rendement de l'installation.

5. Traitement de base des eaux des circuits de refroidissement et de chaudières

Les caractéristiques des eaux d'alimentation des unités industrielles déterminent le choix du traitement à opérer. Le tableau Ic nous donne le traitement à prévoir en fonctions des paramètres à corriger ou à éliminer.

5.1. Traitement des eaux de refroidissement (6*, 10*, 19*)
=====

La composition chimique de l'eau ne constitue pas le seul facteur à prendre en considération pour l'étude du traitement des eaux d'un circuit de refroidissement.

Il est nécessaire de connaître le type des échangeurs, les conditions d'exploitation et les propriétés de l'eau.

La nature des réfrigérants est extrêmement variée.

On distingue 3 types de circuits de réfrigération.

Il s'agit des circuits ouvert (fig 1), fermé (fig 2) et semi ouvert (fig 3).

Pour garantir la bonne conservation des appareils, l'eau doit être débarrasser des micro-organismes de prolifération. Elle ne doit pas être ainsi incrustante ni corrosive.

5.1.1. Lutte contre les incrustations
oo

L'eau naturelle contient en proportions importantes du bicarbonate de calcium, qui se décompose au contact des tubes chauds des réfrigérants et condenseurs, pour former un dépôt incrustant de carbonate de calcium.

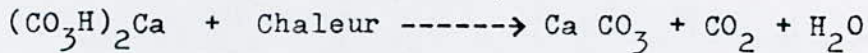


Tableau Ic

Traitement à prévoir en fonction des (4*)
paramètre à corriger ou à éliminer

Nature des paramètres	Conséquences	traitement à prévoir en cas		Domaine d'application le plus fréquent
		d'insuffisance	d'excès	
1. Elements non dissous MES, M.colloïdales	turbidité		clarification	eaux superficielles
Elements vivants : bactéries, virus, plancton	santé publique corrosion aspect esthétique		désinfection	toutes les eaux
2. Elements dissous 2.1 Matières organiques matières colorantes d'origine industrielle	couleur fermentation		clarification	toutes les eaux
2.2. Sels dissous HCO_3^- , CO_3^{2-} , TAC	corrosion ou entartrage	reminéralisation	décarbonatation	toutes les eaux
Cl^- , SO_4^{2-} -SAF	gout corrosion		osmose inverse	eaux marines ou eaux souterraines.
NO_3^-	méthémaglobinémie		denitrification	eaux souterraines
H_2S	Odeur		aération	eaux souterraines

PO_4^{2-}	Fermentation		calrification	toutes les eaux
SiO_3^{2-}	gêne sur osmose inverse		aluminate	eaux souterraines
F^-	dents, os, système nerveux	fluoruration	défluoruration	eaux souterraines
Ca^{2+}, Mg^{2+}, TH	Corrosion entartrage	reminéralisation	décarbonatation ou adoucissement	toutes les eaux
Na^+, K^+	Santé publique		osmose inverse	eaux marines ou souterraines
NH_4^+	Fermentation		chloration ou nitrification	toutes les eaux
Fe^{2+}	eaux colorées, corrosion		déferri-sation	eaux souterraines
Mn^{2+}	eaux colorées, corrosion santé publique		démanganisation	eaux souterraines
Minéralisation global	santé publique corrosion		osmose inverse	toutes les eaux
2.3. Gaz dissous	gout corrosion fermentation	aération	filtration sous une pression suffisante	eaux Souterraines
CO_2 libre	corrosion		aération neutralisation	eaux souterraines

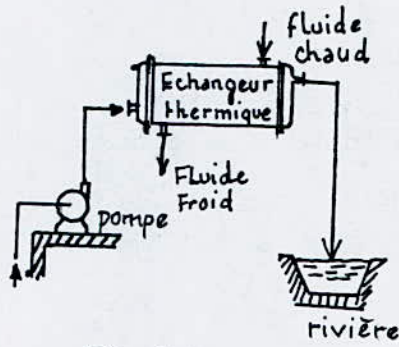


Fig. 1

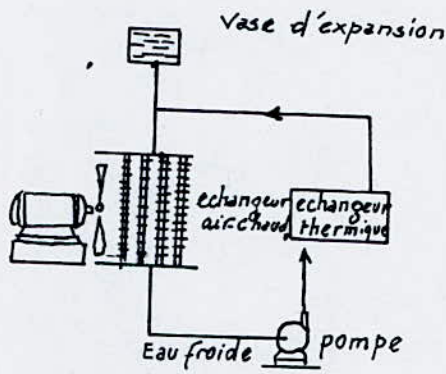


Fig. 2

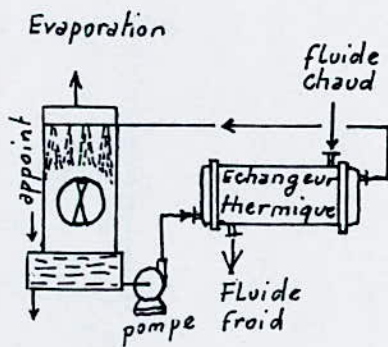


Fig. 3

Les différents types de circuits

La formation des incrustations peut être accélérée par la présence de particules solides dans l'eau. Elles constituent des amorces de cristallisation du carbonate de calcium.

Les principaux procédés de traitement utilisés pour lutter contre les incrustations sont : l'inhibition aux polyphosphates, décarbonatation à la chaux et à l'acide et l'adoucissement par échangeurs d'ions.

5.1.2. Lutte contre la corrosion
oo

Les phénomènes de corrosion que l'on rencontre dans les circuits de réfrigérations sont dus :

A l'agressivité propre des eaux naturelles qui contiennent du gaz carbonique libre et de l'oxygène. Ces corrosions apparaissent surtout en pH acide, ainsi qu'au traitement à l'acide de l'eau d'appoint.

5.2. Traitement des eaux de chaudières
=====

L'élévation de la température de l'eau s'accompagne

- a : par la diminution de la solubilité de tous les gaz dissous, notamment du gaz carbonique libre et de l'oxygène
- b : de la dissociation des bicarbonates en carbonates et en gaz carbonique



- c : de l'augmentation ou de la diminution de la solubilité des sels alcalino - terreux.

- d : de l'hydrolyse des carbonates solubles en alcali caustique et en gaz carbonique au dessus de 100°C.



- e : de la dissociation de l'eau en hydrogène et oxygène à très haute température.

L'objet du traitement des eaux de chaudières, vise à écarter

- . L'entartrage (par la dureté carbonatée)
- . La corrosion (par le gaz carbonique et l'oxygène)
- . La fragilité caustique (elle apparait quand la teneur en NaOH est très élevée)

Le choix des moyens à mettre en oeuvre est commandé par la pression de fonctionnement de la chaudière. Il faut noter l'existence des chaudières à basse pression, moyenne pression et haute pression. Cependant les réactifs les plus couramment employés pour le traitement des eaux de chaudières sont les phosphates de soude (mono, di et tri). Ils conduisent à la formation des boues non incrustantes.

Le tableau Ie nous donne une idée sur les caractéristiques des eaux de chaudières.

Tableau Ie
Caractéristiques des eaux
de chaudières

Paramètres	Pression (atm)			
	0 - 10	10 - 17	17 - 28	> 28
Turbidité PPM	20	10	5	1
Couleur PPM	80	40	5	2
O ₂ Consommé PPM	15	10	4	3
O ₂ dissous PPM	1,4	0,14	0	0
H ₂ O PPM	5	3	0	0
Dureté totale en PPM du Ca CO ₃	80	40	10	2
Rapport sulfate carbonate Na ₂ SO ₄ / Na ₂ CO ₃	1	2	3	3
Al ₂ O ₃ PPM	5	0,5	0,05	0,05
SiO ₂ PPM	40	20	5	1
HCO ₃ ⁻ PPM	50	30	5	0
CO ₃ ²⁻ PPM	200	100	40	20
OH ⁻ PPM	50	40	30	15
Solides totaux PPM	3000-500	2500-500	1500-100	50
PH (minimale)	8,0	8,4	9,0	9,6

6. Procédés de traitement des eaux industrielles

6.1. Définition d'une eau industrielle

=====

On entend par eaux industrielles, toute sorte d'eau utilisée exclusivement dans l'industrie.

Une eau industrielle doit être débarassé non seulement des substances nuisibles qu'elle renferme en dissolution, mais encore ^{de} celles qu'elle contient en suspension. Elle doit être limpide et purifiée selon son usage dans l'industrie.

6.2. Procédés chimiques (7*, 10*, 9*)

=====

6.2.1. L'échange d'ions

oooooooooooooooooooooooooooo

- Principe

Le phénomène d'échange d'ions est basé sur le principe d'utilisation de substances insolubles, ayant des propriétés d'échanger leur ions avec ceux de l'eau. Le procédé d'échange d'ions est utilisé pour ~~déssaler~~ les eaux saumâtres dont la concentration en sel varie de 8 à 10 g/l.

- Avantages et inconvénients

- . L'échange d'ions produit de l'eau très pure dont la salinité est inférieure à 1 mg/l
- . Son application est limitée pour les faibles salinités.
- . Ce procédé est très couteux, son prix de revient -depend de la salinité et des quantités de résines employées.
- . La régénération des résines est très couteuse.

6.2.2. Extraction par solvants selectifs

oooooooooooooooooooooooooooooooooooo

-Principe

Il consiste à la formation des hydates liquides en utilisant des liquides organiques (amines tertiaires).

Ces deniers sont des solvants pour l'eau

- Avantages et inconvénients.

- . Ce procédé traite les eaux saumâtres
- . Les eaux obtenues contiennent des traces de solvant qui sont éliminées par soufflage d'air dans une colonne d'épuration.
- . L'extraction de solvant s'effectue à des températures basses (18 - 55°C), ce qui minimise les problèmes de corrosion.
- . Ce procédé est coûteux par l'emploi des solvants.

6.3. Procédés physico-chimiques (7*, 9*, 10*)
=====

6.3.1. L'osmose ionique

oooooooooooooooooooooooooooo

- Principe

Ce procédé se base sur la différence de concentration entre une saumure concentrée et l'eau à déssaler.

- Il est employé pour déssaler les eaux saumâtres.

Il présente l'avantage d'utiliser l'énergie interne des solutions salines très concentrées.

6.3.2. L'électrodialyse

oooooooooooooooooooooooooooo

- Principe

L'électrodialyse d'une solution saline est basée sur la migration des ions sous l'effet d'un champ électrique à travers des membranes n'absorbant pas l'eau.

- Avantages et inconvénients

. Il présente l'avantage de traiter les eaux de faible salinité.

. Les problèmes qui se posent sont liés par trois facteurs

- . Qualité des membranes
- . Phénomène de polarisation
- . Nettoyage des cellules

. Les membranes n'étant pas sélectives, l'eau obtenue est impure.

6.3.3. L'osmose inverse oooooooooooooooooooooooooooo

-Principe

L'osmose est un phénomène naturel qui se manifeste par le passage d'un solvant (eau pure) à travers une membrane semi perméable qui retient le flux d'un soluté (sels minéraux dissous)

- Avantages et inconvénients

Les principaux inconvénients de ce procédé sont :

- La réduction de la durée de vie des membranes
- La diminution de la perméabilité de ces membranes.

Quant aux avantages, on peut citer qu'il ne nécessite pas :

- Une élévation de température
- Un changement de phase
- La corrosion est limitée pour des températures inférieurs

à 30°C.

6.3.4. Ultra filtration oooooooooooooooooooooooooooo

L'ultra filtration est assimilable au procédé d'osmose inverse.

Elle est définie comme étant un procédé de séparation, en phase liquide par perméabilité à travers des membranes selectives.

Ces dernières constituent des barrières et permettent une séparation en fonction du poids moléculaire.

6.4. Procédés physiques (7* , 9* , 10*) =====

6.4.1. Extraction par formation d'hydrates oo

- Principe

Ce procédé utilise des composés hydrocarbonés de faible masse moléculaire qui se combinent avec l'eau en donnant des hydrates de formule $RH(H_2O)$.

Ces hydrates solides subissent un lavage et leur décomposition par chauffage produit de l'eau dépourvue de sels.

- Avantages et inconvénients

.Le procédé est avantage par la décomposition à faible température des hydrates, ce qui nécessite une consommation d'énergie faible.

.L'eau produite contient des traces d'hydrocarbures.

6.4.2. La congélation oooooooooooooooooooo

-Principe

Le déssalement par congélation se base sur le fait qu'une partie d'une masse donnée d'eau saline se congèle.

-Avantages et inconvénients

. Le cout de l'installation est très réduit par la congélation naturelle.

. Le problème de la corrosion est réduit à faible température

. La congélation indirecte présente un inconvénient. En effet l'eau produite contient des traces d'hydrocarbures.

. La consommation énergétique est faible.

6.4.3. La distillation oooooooooooooooooooo

-Principe

La distillation a pour but la vaporisation de l'eau salée. La vapeur est exempte de sel, sa condensation s'effectue sur une surface d'échange refroidie.

Le distillat contient de l'eau pure

- Avantages et inconvénients

. L'eau traité est très pure

. Le chauffage de l'eau exige un apport d'énergie.

CHAPITRE II

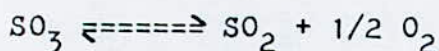
THEORIES DE TRAITEMENT A LA VACCINATION ACIDE AU Na₂CO₃ et Na₃PO₄

1. Théorie de la vaccination à l'acide sulfurique

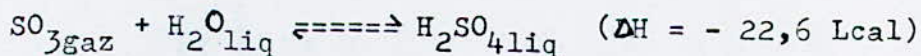
La vaccination acide est une technique destinée au traitement des eaux naturelles utilisées dans l'industrie. Le traitement acide est utilisé pour la prévention de l'entartrage, en particulier, dans les circuits de refroidissement.

1.1. Propriétés de l'acide sulfurique (H₂SO₄) (11*, 16*)

C'est un liquide clair, inodore, de consistance huileuse. Sa température d'ébullition est de 304°C. La température de congélation est de + 10°C. L'acide sulfurique 100 % a un poids spécifique de 1,8454. Si l'on chauffe les vapeurs d'acide sulfurique au delà de 430°C, il y a décomposition de SO₃ d'après l'équilibre.



La chaleur de formation de l'acide sulfurique au départ de SO₃ et H₂O d'après l'équation.



l'acide sulfurique forme plusieurs hydrates donnés par le tableau ci dessous.

Tableau 1

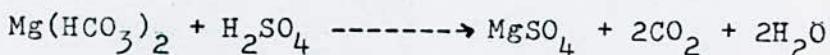
Dénomination Technique (relative à SO ₃)	Dénomination Scientifique (relative à H ₂ SO ₄)	Formule	H ₂ SO ₄ 100%	Point de fusion (°C)
Monohydrate	Acide sulfurique	H ₂ SO ₄	100,00	+10,5
Dihydrate	acide sulfurique monohydrate	H ₂ SO ₄ ·H ₂ O	84,48	9,72
Trihydrate	Acide sulfurique dihydrate.	H ₂ SO ₄ ·2H ₂ O	78,13	- 10
Pentahydrate	Acide sulfurique tétrahydrate	H ₂ SO ₄ ·4H ₂ O	57,67	- 25

1.2. Décarbonatation acide

On rencontre dans les circuits de refroidissements exploités à PH élevés, avec des taux de concentrations importants, la précipitation du sulfate de calcium et des composés magnésiens. Pour éviter ces précipitations, le procédé du traitement par vaccination acide permet de solubiliser ces sels carbonatés. Il faut signaler que la teneur en bicarbonates diminue en fonction de la quantité d'acide ajoutée.

1.3. Mécanisme de la réaction de vaccination

L'acide sulfurique (H₂SO₄) réagit selon les réactions suivantes

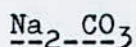


La dureté totale ne varie pas, mais la dureté temporaire est transformée en dureté permanente.

1.4- Avantages et inconvénients du traitement avec H₂SO₄

L'acide sulfurique est peu couteux et la mise en oeuvre demeure simple. La technique de vaccination est utilisée comme pré-traitement avant déssalement. Elle s'applique souvent aux circuits de refroidissement. Cependant, les eaux traitées peuvent être corrosives (valeur de PH et également du CO₂).

2. Théorie d'action du carbonate de sodium.



2.1. Définition et propriétés (11*, 9*)

La soude calcinée, carbonate de soude anhydre, Na_2CO_3 est souvent désigné sous le nom de soude à l'ammoniaque. C'est une poudre blanche se trouvant sous deux formes qui ne se distinguent que par leurs densités, mais sont identiques au point de vue chimique.

La soude calcinée contient de 98,5 à 99 % de Na_2CO_3 et environ 0,5 % de NaCl. La soude calcinée a un très haut degré de pureté, compte tenu de sa fabrication industrielle.

Le carbonate de sodium forme avec l'eau trois hydrates qui cristallisent de la solution aqueuse suivant la température.

Tableau 2

Nom du produit	Formule du produit	Température (°C)
Décahydrate	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	$T \leq 32^\circ\text{C}$
Décahydrate monoclinique	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	$32^\circ\text{C} < T \leq 35,6^\circ\text{C}$
Heptahydrate rhombique instable	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	$T > 35,6^\circ\text{C}$
Monohydrate rhombique.	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	

2.2. L'utilisation du carbonate de sodium

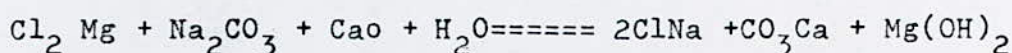
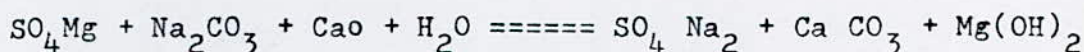
La carbonate de sodium est utilisé dans de nombreuses branches de l'industrie. On l'utilise pour l'épuration du gaz et l'adoucissement de l'eau. Le carbonate de soude, mis en oeuvre sous forme de solution, transforme les sulfates et les chlorures alcalino-terreux en carbonates correspondants.

2.2.1. Adoucissement à froid

oooooooooooooooooooooooooooo

Pour l'abaissement de la dureté, il faut abattre une fraction ou la totalité de la dureté non carbonatée par action de carbonate de soude et de la chaux:

Les réactions mises en jeu sont les suivantes.



2.2.2. Adoucissement à chaud

oooooooooooooooooooooooooooo

Dans le traitement des eaux d'alimentation des chaudières, (lorsque l'on fait appel à un processus de précipitation) les opérations d'adoucissement sont menées au voisinage de la température d'ébullition.

Le traitement comprend :

- Un préchauffage de l'eau additionnée de réactif (lait de chaux et Na_2CO_3)
- Une sédimentation
- Une filtration.

2.3. Principe d'action adoucissante de Na_2CO_3

Au lieu d'une élimination par précipitation des ions Ca et Mg, comme celle qui se produit dans la décarbonatation par la chaux, il y a en fait, remplacement des ions calcium et magnésium (de la dureté non carbonatée) par des ions sodium.

2.4. Avantage du traitement par Na_2CO_3

Dans les opérations d'adoucissement au carbonate de sodium et à la chaux, on peut obtenir des effets bénéfiques complémentaires, notamment :

- La précipitation du fer et du manganèse et l'élimination de la silice.

3. Théorie d'action du phosphate trisodique Na_3PO_4

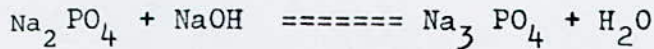
3.1. Historique

En 1936, ROSENSTEIN a découvert que l'addition de très faibles quantités de polyphosphates (2 à 3g par metre cube d'eau) permet, dans de nombreux cas, d'éviter l'entartrage des circuits d'eau provoqué par la précipitation du carbonate de calcium.

3.2. Définition et propriétés (11*, 9*)

Le phosphate trisodique est obtenu, habituellement par neutralisation de l'acide phosphorique au carbonate de sodium jusqu'au stade dibasique, puis à la soude caustique jusqu'à neutralisation tribasique.

Le passage du stade dibasique au stade tribasique se fait selon la réaction suivante.



Le phosphate trisodique est mis en vente sous forme de $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$, en cristaux, en poudre et en paillettes. Il se vend aussi comme substance anhydre Na_3PO_4 sous forme de poudre.

3.2.1. Forme commerciale usuelle
 ooo

Tableau 3 a

Nom commercial	Formule du produit pur	Forme	I % poids
Phosphate disodique	$Na_2 H PO_4, 12 H_2O$	Cristallisé	20 % P_2O_5
Phosphate trisodique	$Na_3PO_4, 12 H_2O$	"	20 % P_2O_5
Phosphate trisodique anhydre	$Na_3 PO_4$	"	40 % P_2O_5

3.2.2. Solubilité en (g/l)

oooooooooooooooooooooooooooo

Tableau 3.b

Corps	Formule	0° C	20° C	30° C
Phosphate monosodique	Na H ₂ PO ₄ , 2H ₂ O	615	288	1101
Phosphate disodique	Na ₂ HPO ₄ , 12H ₂ O	233	293	424
Phosphate trisodique	Na ₃ PO ₄ , 12 H ₂ O	15	110	200
Phosphate trisodique anhydre	Na ₃ PO ₄	231	326	416

3.3. Mécanisme d'action de Na₃PO₄ (5*, 6*, 9*)

=====

Les traitement aux polyphosphates s'appliquent généralement à des eaux d'alimentation des chaudières, afin de diminuer leur dureté totale.

Le phosphate trisodique anhydre Na₃PO₄ réagit dans le cas du traitement des eaux, selon les réactions suivantes.



3.3.1. Etapes du mécanisme

oooooooooooooooooooooooooooo

a : Le mécanisme débute tout d'abord par une réaction primaire de précipitation.

b : Dans une seconde phase le phosphate trisodique qui se trouve en solution vient s'adsorber sur les germes cristallins ainsi formés

c : Dans une troisième étape, la cristallisation du carbonate de calcium est freinée par la limite de son intégration au réseau de forme par l'adsorption du phosphate trisodique à la surface des germes cristallins.

Il en résulte une sursaturation relativement durable qui empêche l'entartrage.

3.4. Importance de Na_3PO_4 dans le traitement des eaux
=====

Dans le cas du traitement des eaux de chaudières, il facilite l'élimination du CO_2 et de l'oxygène dissous.

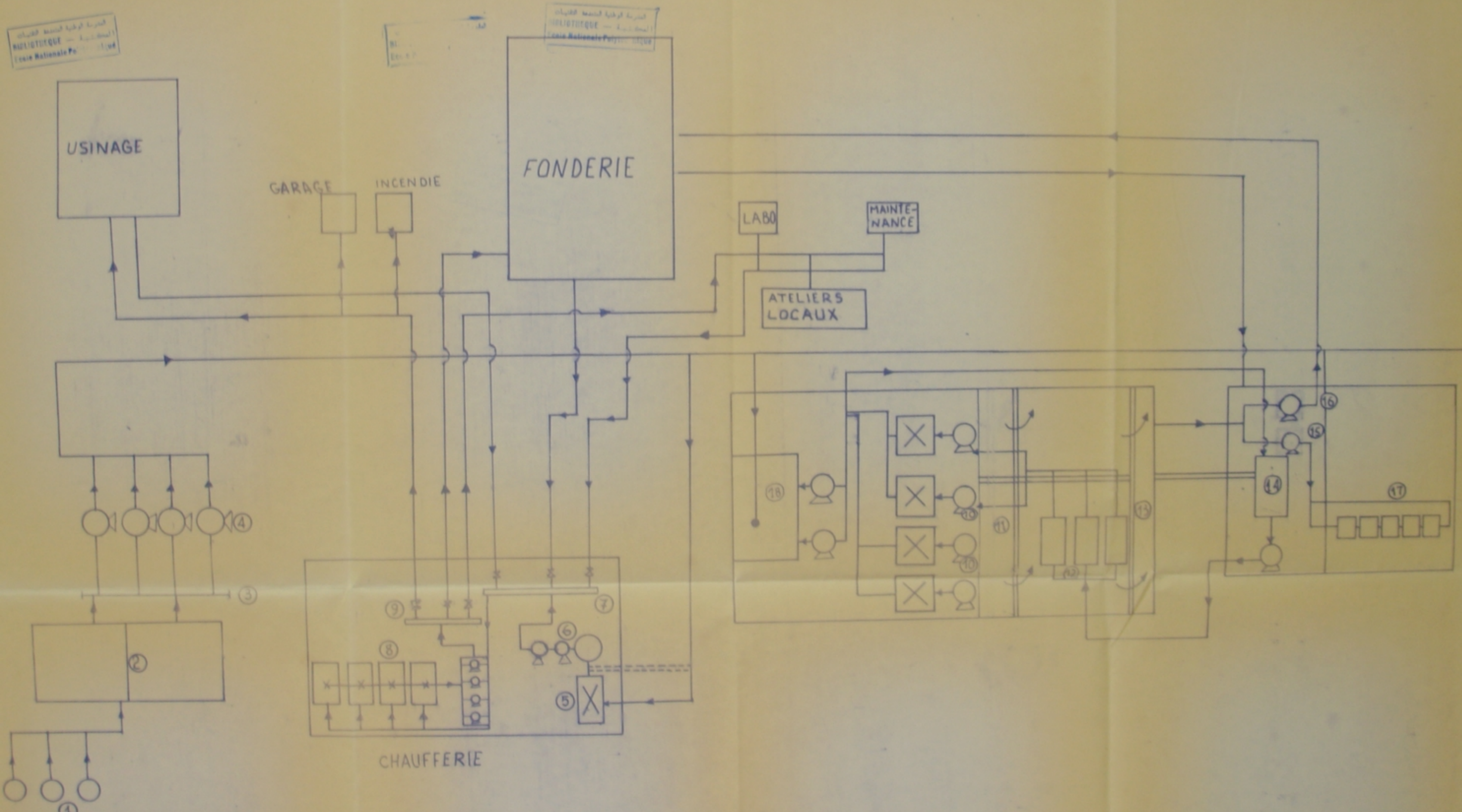
Ces deux constituants jouent un rôle potentiel dans la corrosion des chaudières.

Il provoque la formation d'un film colloïdal qui protège les parois pouvant faire l'objet de corrosion.

Il empêche le dépôt des incrustations sulfatées et permet d'éliminer la silice.

En résumé le phosphate trisodique sert à éliminer les dernières traces de dureté.

CIRCUIT DES UTILITÉS A L'E.N.P.M.H DE BERROUAGHIA



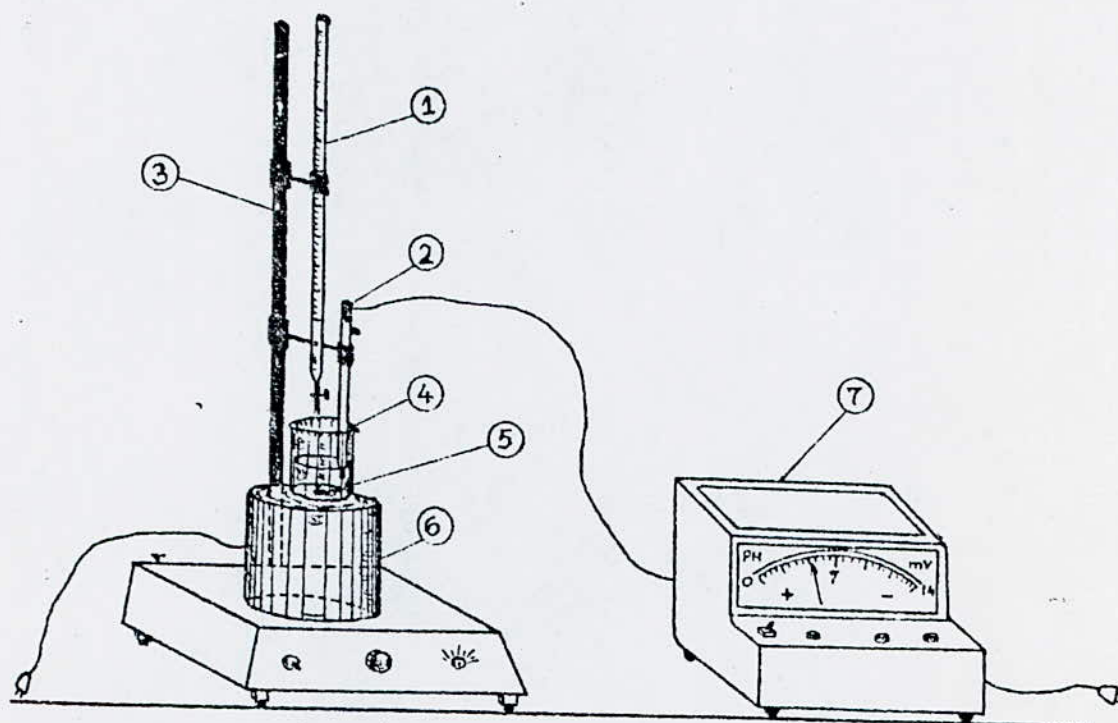
- ① Forageurs
- ② Bassins d'aérations
- ③ Collecteurs
- ④ Pompes d'aspiration

- ⑤ Adoucisseurs
- ⑥ Pompes doseuses
- ⑦ Collecteurs I
- ⑧ chaudières

- ⑨ Collecteur II
- ⑩ Pompes doseuses
- ⑪, ⑬ Bassins de decantation
- ⑫ Tours de refroidissement

- ⑭, ⑮ Bassins intermediaires
- ⑯ Pompes de refoulement vers compresseurs
- ⑰ Pompes de refoulement vers fonderie
- ⑱ Station de compresseurs

PARTIE EXPERIMENTALE



- 1- Burette
- 2- Electrode combinée
- 3- Support
- 4- Bécher
- 5- Barreau magnétique
- 6- Agitateur magnétique
- 7- pH -mètre

Fig.4: Dispositif de L'analyse .

CHAPITRE III

Caractères des eaux à étudier

Pour envisager un traitement se rapportant aux propriétés des eaux utilisées à l'E.N.P.M.H de Berrouaghia, nous avons procédé à la détermination des propriétés physico - chimiques, et de la composition de ces eaux.

Les résultats d'analyse de l'eau de Cheffa nous ont été fournis par la direction de l'E.N.P.M.H de Berrouaghia.

Les résultats d'analyse sont reportés sur les tableaux suivants.

1. Caractères physico - chimiques

Tableau n° 1

Nature	Eau de barrage	Eau de forage	Eau de Cheffa
PH	7,8	8,0	8,0
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	2500	1600	600
Densité	1,0014	1,0008	1,0003

2. Composition de ces eaux

Tableau n°2

Nature	Unité	Eau de barrage	Eau de forage	Eau de cheffa
Dureté totale TH	°F	80,0	61,4	25
Dureté permanente THP	"	69,3	47,0	8,0
Titre alcalimétrique T _A	"	0	0	0
Titre alcalimétrique complet T _{AC}	"	10,7	14,4	17
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	mg/l	130	287	201
Carbonates CO ₃ ⁻	"	0	0	0
Ca ⁺⁺	"	155	148	50
Mg ⁺⁺	"	99	59	30
Na ⁺	"	225	53	20
K ⁺	"	10	3	0
SO ₄ ⁻⁻	"	730	323	93
NO ₃	"	12	33	0
NO ₂	"	0,008	0,014	0,005
Cl ⁻	"	300	100	20
Fe	"	0,50	0,20	0 < Fe < 0,10
SiO ₂	"	0,60	8,6	4,0
Minéralisation	"	1531	992	372
Résidu sec	"	1731	1125	380

Nous avons procédé à une température T(°C) = 20.

3 - Interpretation des résultats.

3.1 - Caractère physico - chimique

On constate que la valeur de la conductivité est successivement plus élevée pour le cas des eaux de barrage (2500 μ siemens/Cm) et de forage (1600 μ siemens/Cm) par rapport à celle de Cheffa précédemment en usage. Cela peut s'expliquer par une minéralisation plus importante de ces eaux comparativement à l'eau de Cheffa. Cette minéralisation peut activer les phénomènes de corrosion qui peuvent résulter de leurs utilisations. Aussi cette minéralisation peut contribuer grandement à la formation des dépôts de tartre dans les circuits de distribution.

3.2 - Composition

La valeur du titre alcalimétrique (TA) est nulle pour l'ensemble des eaux de barrage, de forage et de Cheffa. Cela signifie qu'il y a absence d'alcalis libres c'est le cas de la plupart des eaux naturelles.

La valeur du titre alcalimétrique complet est relativement plus élevée. Elle indique la présence de bicarbonates en quantités importantes. Pour la comparaison, il faut relever que le TAC cheffa $>$ TAC forage $>$ TAC barrage .

Les eaux bicarbonatées suffisamment oxygénées et en équilibre carbonique ont la propriété de provoquer, à froid la formation d'une couche naturelle de tartre à base de précipité mixte de $CaCO_3$ et d'oxyde de fer. Ce processus se déroule dans un domaine de PH voisin de 7 à 8,5.

La valeur de la dureté totale (TH) révèle que l'eau de barrage (80°F) élevée par rapport à celle de forage (61,4 °F). Cette valeur est due à la présence des sels de calcium et de magnésium.

La valeur de la teneur en chlorure est importante dans l'eau de barrage (500 mg/l). Elle peut contribuer au développement des phénomènes de corrosion.

La teneur en sulfates (SO_4^{--}) est plus importante dans l'eau de barrage (730 mg/l) par rapport à celle de forage (523 mg/l). Cependant elle est plus faible dans l'eau de Cheffa (93 mg/l). Il faut signaler que la solubilité des sulfates, lors de la formation des dépôts de tartre, est faible. Par conséquent la résistance du dépôt de tartre, que provoque les sels de sulfates, augmente.

CHAPITRE IV

Traitement par vaccination acide

1. Influence du temps d'ébullition
sur le TA, TAC et TH

On procède à l'ébullition dans un ballon de 500 ml d'eau à analyser.

Le début d'ébullition est fixé au temps $t = 0$.

Après 15 mn du temps fixé, on arrête le chauffage .

On laisse refroidir l'eau. Après filtration, on prélève un volume nécessaire pour la détermination de TA, TAC, et TH.

On refait la même expérience pour 30, 60, 75 et 90 mn.

Au cas où le volume d'eau à analyser est insuffisant, on complète avec l'eau distillée pour avoir les mêmes conditions opératoires.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n° 3 - 1

Echantillon F N°	Temps de chauffe (mn)	TH(°F)	TA(°F)	TAC(°F)	pH
1	0	63,00	0	13,2	8,1
2	15	60,30	0	10,65	8,0
3	30	58,00	0	8,70	7,5
4	60	54,80	0	4,70	7,3
5	75	53,70	0	2,70	7,1
6	90	53,15	0	0,75	7,0

Eau de barrage GHRIB

Tableau n° 3.2

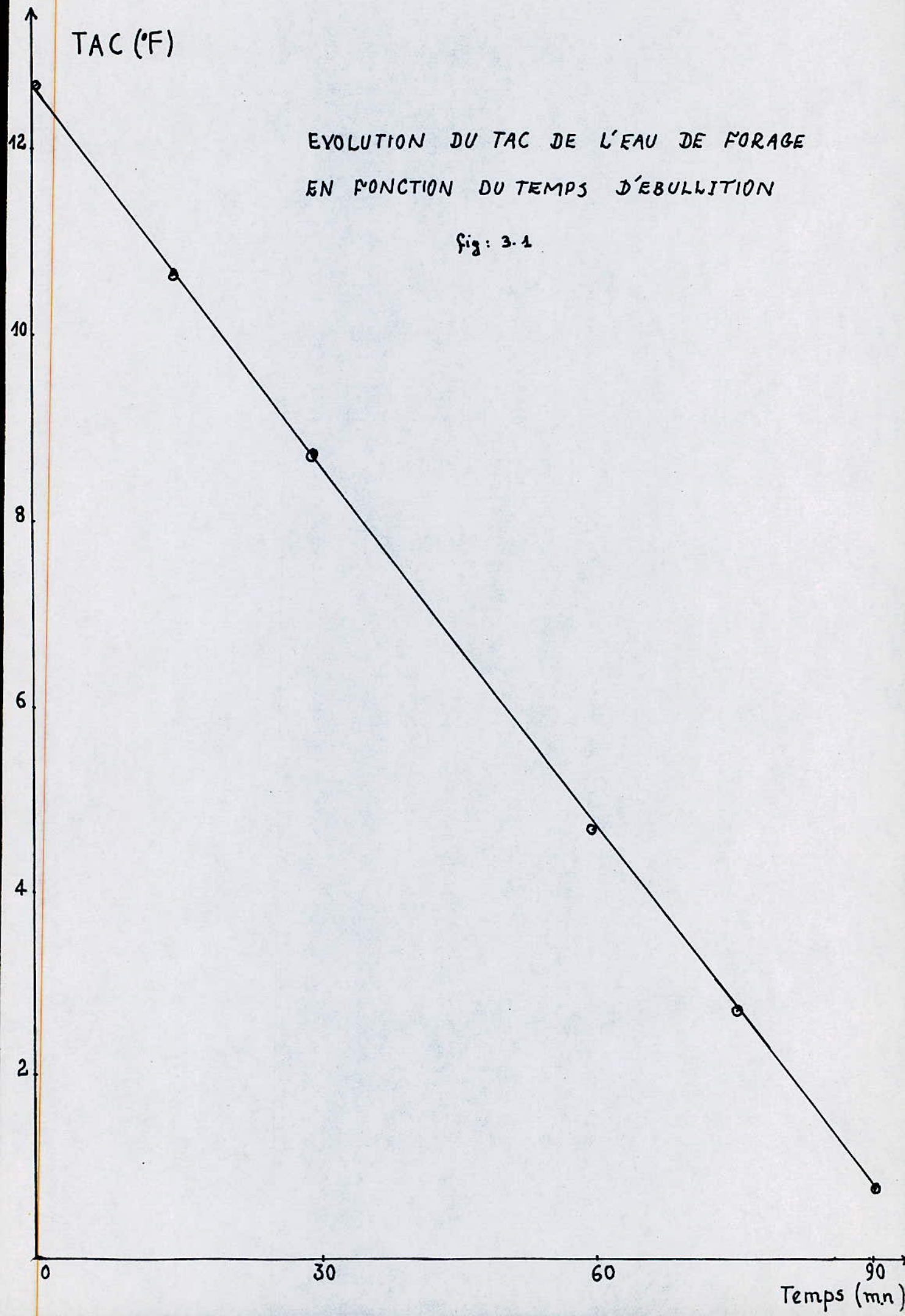
Echantillon B N°	Temps de chauffe (mn)	TH(°F)	TA(°F)	TAC(°F)	pH
1	0	78,0	0	9,7	8,2
2	15	74,4	0	8,2	8,1
3	30	72,0	0	6,7	8,0
4	60	69,0	0	3,7	7,7
5	75	68,5	0	2,2	6,8
6	90	68,2	0	0,8	6,2

Nous avons procédé à la température $T(^{\circ}C) = 18$.

TAC (°F)

EVOLUTION DU TAC DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU TEMPS D'EBULLITION

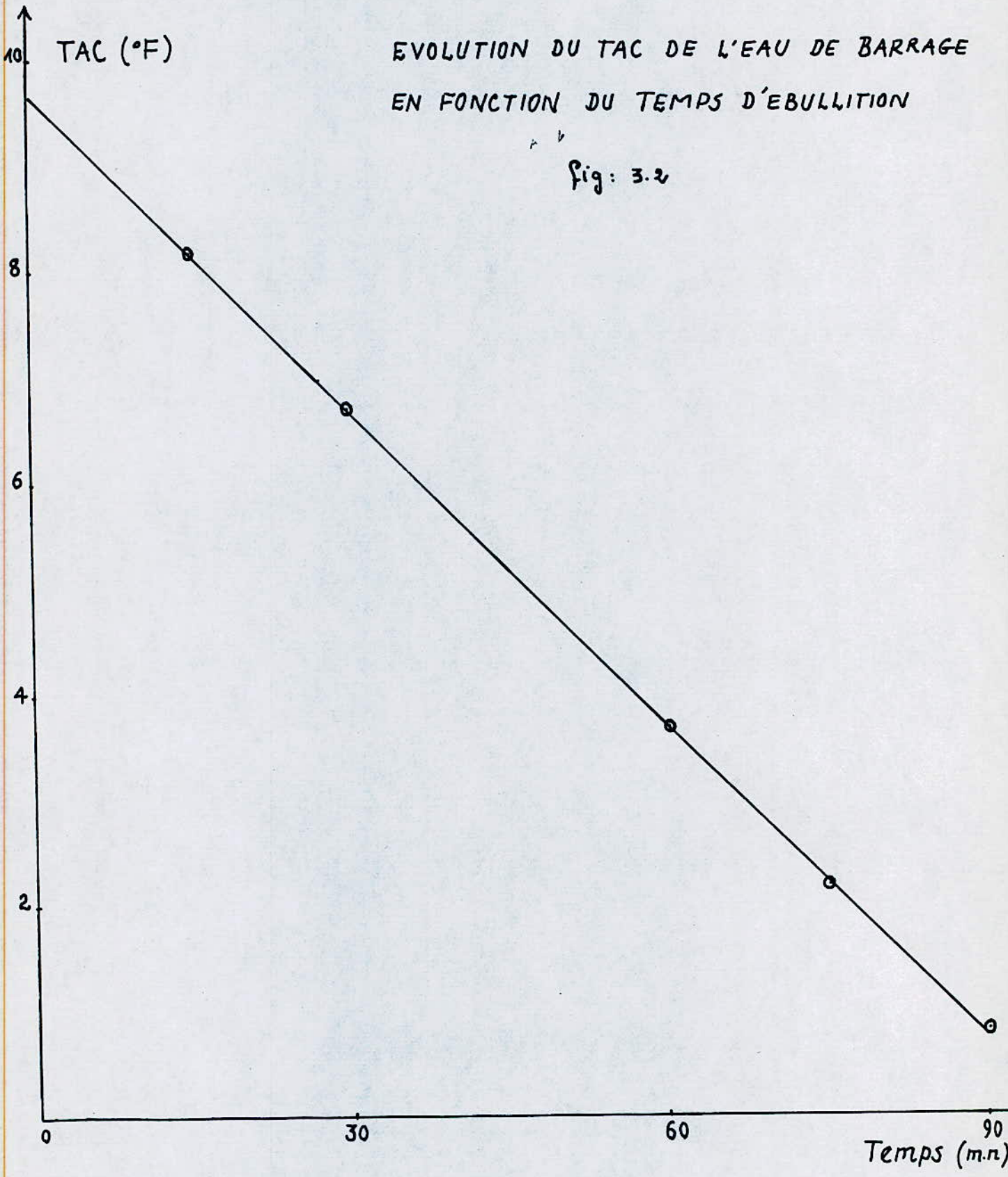
Fig: 3-1



TAC (°F)

EVOLUTION DU TAC DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU TEMPS D'EBULLITION

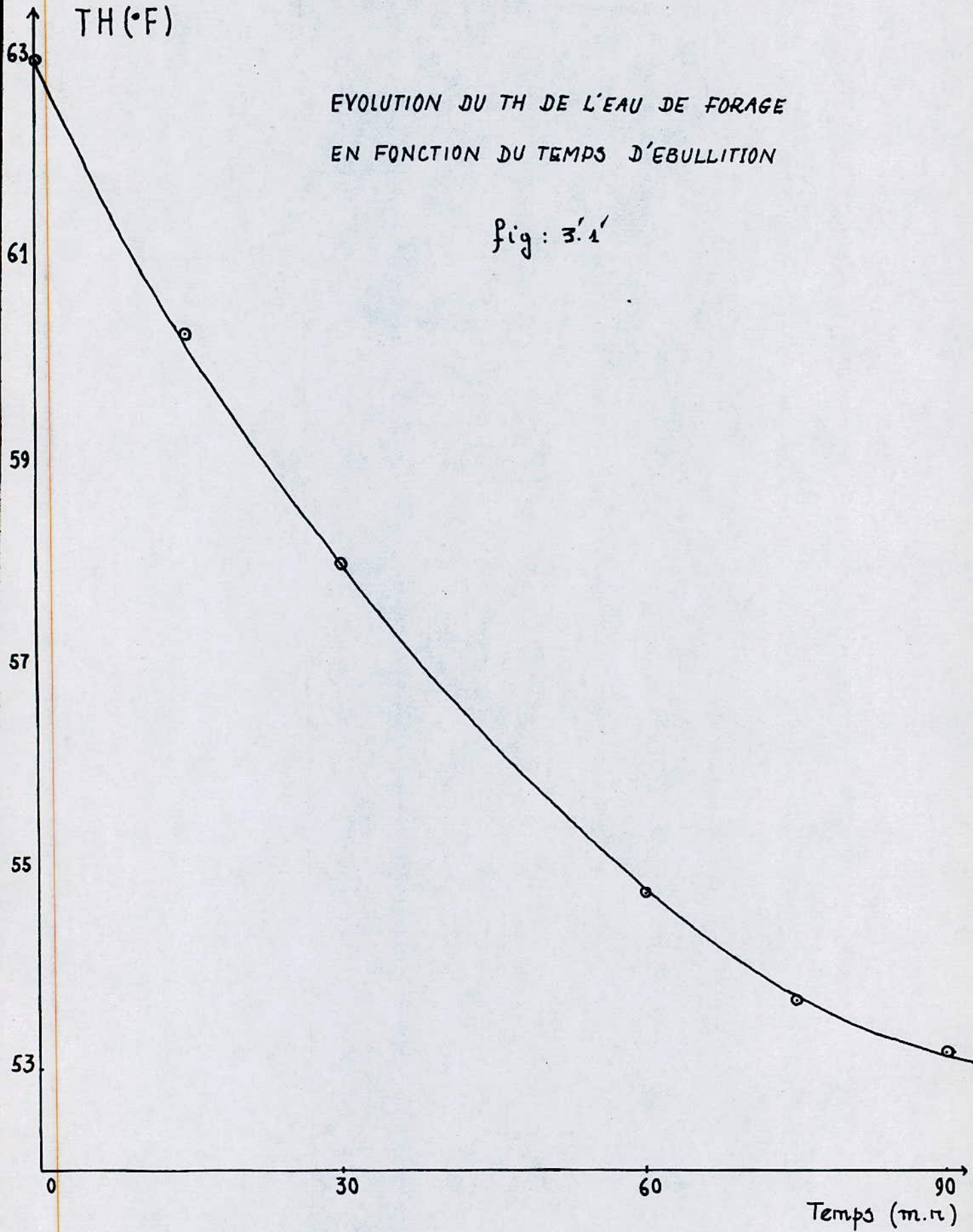
Fig: 3.2



↑ TH (°F)

EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU TEMPS D'EBULLITION

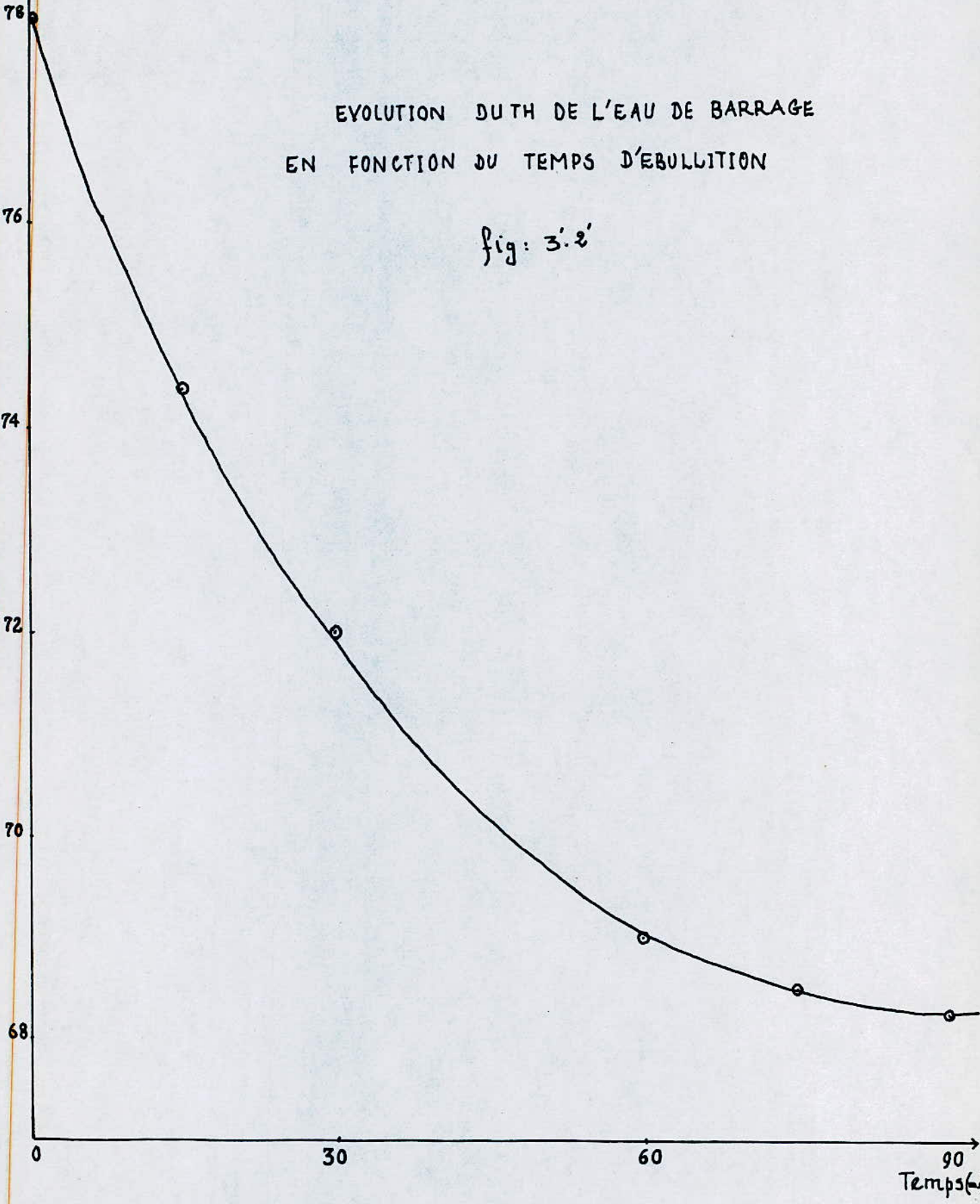
Fig: 3.1'



TH (°F)

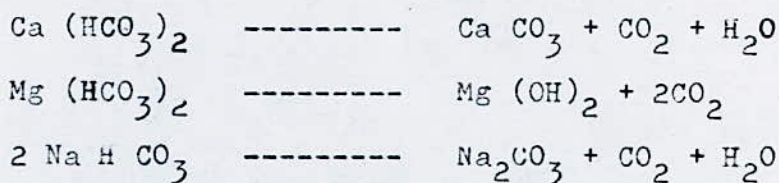
EVOLUTION DUTH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU TEMPS D'EBULLITION

fig: 3.2'



1.1 - Interprétation des résultats

Nous relevons une diminution des valeurs du TH et du TAC avec l'augmentation de la température (voire tableau 3.1 et 3.2). Cela peut s'expliquer par la décomposition des bicarbonates selon les réactions :



Le chauffage provoque l'instabilité de l'eau, l'entartrage puis la stabilisation calcocarbonique, mais aussi un accroissement simultané de la corrosivité. Il en résulte que le PH diminue chaque fois que le temps d'ébullition augmente, il y a donc formation de CO₂.

La dureté totale diminue très légèrement, de sorte que son influence n'est pas prise en considération.

En conclusion : le temps d'ébullition contribue principalement à la réaction de formation du précipité de carbonate de calcium, l'accumulation de ce dernier provoque la formation des dépôts de tartre. Pour remédier à ce phénomène, on procède à une vaccination acide. Celle - ci conduit à une diminution de pH de la solution. Pour ce but on calcule le pH d'équilibre en vue de se renseigner sur la quantité d'acide à injecter.

2. Calcul du pH d'équilibre carbonique (22*, 20*)

On calcule ce pH en tenant compte des conditions d'exploitation de l'eau de forage qui alimente les circuits de refroidissement, c'est à dire à la température de 30°C.

2.1. Détermination de la force ionique de l'eau de forage

$$\begin{array}{l} \text{TH Ca} = 148 \text{ mg/l} = 37 \text{ }^\circ\text{F} \\ \text{TAC} = 14,4 \text{ }^\circ\text{F} \\ \text{Résidu sec} = 1125 \text{ mg/l} = \text{R} \\ \text{J} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ R} \\ \text{J} = 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1125 \end{array}$$

d'ou $J = 0,025$ J : la force ionique

2.2. Détermination des constantes d'équilibre à 30°C
.....

L'évolution des constantes d'équilibre avec la température est donnée par J. Hissel (22*).

Ces constantes d'équilibre sont données pour une force ionique nulle.

On les calcule par notre force ionique par la méthode de LARSON et BRUSWELL.

a) Détermination du terme ϵ (facteur de correction)

$$\epsilon = \frac{\sqrt{J}}{1 + 1,4 \sqrt{J}}$$

$$\epsilon = \frac{0,025}{1 + 1,4 \cdot 0,025} = 0,129$$

$$\epsilon = 0,129$$

b) Détermination des constantes d'équilibre à t=30°C et J = 0,025

$$K_0(30^\circ C) = 2,64 \cdot 10^{-16} \implies PK_0 = 15,578$$

$$K_1(30^\circ C) = 4,52 \cdot 10^{-7} \implies PK_1 = 6,344$$

$$K_2(30^\circ C) = 5,13 \cdot 10^{-11} \implies PK_2 = 10,289$$

Pour $J = 0,025$

$$PK'_0 = PK_0 - \epsilon = 15,578 - 0,129 = 15,449$$

$$PK'_1 = PK_1 - \epsilon = 6,344 - 0,129 = 6,215$$

$$PK'_2 = PK_2 - 2\epsilon = 10,289 - 2 \cdot 0,129 = 10,031$$

Sachant que $PH = -\log_{10} K$

$$K'_0 = 3,556 \cdot 10^{-16}$$

$$K'_1 = 6,095 \cdot 10^{-7}$$

$$K'_2 = 9,311 \cdot 10^{-11}$$

On désigne respectivement K'_0, K'_1, K'_2 , par K_0, K_1, K_2

2.3. Détermination des coefficients d'activité à $t = 30^\circ\text{C}$

On sait que

$$A = \frac{1,826 \cdot 10^6}{(\epsilon_T)^{3/2}}$$

$$\epsilon = 78,54 \cdot [1 - 4,6 \cdot 10^{-3} (t^\circ - 25) + 8,8 \cdot 10^{-6} (t^\circ - 25)^2]$$

$$\epsilon = 78,54 \cdot [1 - 4,6 \cdot 10^{-3} (30 - 25) + 8,8 \cdot 10^{-6} (30 - 25)^2]$$

$$\epsilon = 76,751$$

$$A = \frac{1,826 \cdot 10^6}{(76,751 \cdot 303)^{3/2}} = 0,515$$

$$A = 0,515$$

Puisque la force ionique $J > 0,02$, on calcule les coefficients d'activité par la formule suivante.

$$\text{Log } \gamma_i = \frac{-AZ_i^2\sqrt{J}}{1 + Ba\sqrt{J}}$$

$$a = 4 \cdot 10^{-8}$$

$$B = 0,3301 \cdot 10^8$$

$$A = 0,515$$

$$J = 0,025$$

$$\text{Log } \gamma_i = \frac{-0,515 \cdot Z_i^2 \sqrt{0,025}}{1 + 0,3301 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \sqrt{0,025}}$$

$$\text{Log } \gamma_i = 0,0674 \cdot Z_i^2$$

$$Z_i = 1 \implies \log \gamma_1 = -0,0674 \implies \gamma_1 = 0,86$$

$$Z_i = 2 \implies \log \gamma_2 = -0,269 \implies \gamma_2 = 0,54$$

2.4. Détermination du CO_3 d'équilibre

La condition d'équilibre d'exprime par

$$\gamma^2 [\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{--}] = K_s$$

Où K_s est le produit de solubilité de CaCO_3 qui est donné à différentes températures dans un abaque du manuel J.Hissel. (22*)

$$K_s = 4,422 \cdot 10^{-9}$$

En considérant la relation précédente à 30°C on a

$$\gamma_2^2 [\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--} \text{ eq}] = K_s \text{ eq} = 4,422 \cdot 10^{-9}$$

$$[\text{CO}_3^{--} \text{ eq}] = \frac{K_s \text{ eq}}{\gamma_2^2 [\text{Ca}^{++}]}$$

$$[\text{Ca}^{++}] = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ mole / l}$$

$$[\text{CO}_3^{--} \text{ eq}] = \frac{4,422 \cdot 10^{-9}}{(0,54)^2 (0,74 \cdot 10^{-3})}$$

$$[\text{CO}_3^{--} \text{ eq}] = 2,049 \cdot 10^{-6} \text{ eq g/l}$$

2.5. Détermination du CO_3 total

On sait que

$$[\text{H}^+ \text{ ajouté}] = [\text{H}^+ \text{ total}]_{\text{initial}} - [\text{H}^+ \text{ total}]_{\text{final}} = \Delta C$$

$$[\text{H}^+ \text{ ajouté}] = \text{TAC} = \Delta C \left) \begin{matrix} 8,5 \\ 4,8 \end{matrix} \right.$$

où 8,5 pH de virage de la phénolphthaleine

4,8 pH de virage de l'héliantine

$$\Delta C \left) \begin{matrix} 8,5 \\ 4,8 \end{matrix} \right. = \Delta \left(1 - \frac{K}{\gamma_1 \cdot 10^{-\text{pH}}} \right)_{4,8}^{8,5} [\text{OH total}] + \Delta \left(\frac{2\gamma_2 \cdot 10^{-2\text{pH}} + \frac{\gamma_2}{\gamma_1} K_1 \cdot 10^{-\text{pH}}}{\gamma_2 \cdot 10^{-2\text{pH}} + \frac{\gamma_2}{\gamma_1} K_1 \cdot 10^{-\text{pH}} + K_1 K_2} \right)_{4,8}^{8,5} [\text{CO}_3 \text{ total}] + \Delta \left(\frac{10^{-\text{pH}}}{\gamma_1} \right)_{4,8}^{8,5}$$

$$A = \left[\left(\frac{-3,556 \cdot 10^{-16}}{0,86 \cdot 10^{-4,8}} + 1 \right) - \left(1 - \frac{3,556 \cdot 10^{-16}}{0,86 \cdot 10^{-8,5}} \right) \right] \cdot 55,34$$

$$A = 1,307 \cdot 10^{-7}$$

$$B_i = \frac{2,0,54 \cdot 10^{-2,4,8} + \frac{0,254}{0,86} \cdot 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4,8}}{0,54 \cdot 10^{-2,4,8} + \frac{0,254}{0,86} \cdot 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4,8} + 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 9,311 \cdot 10^{-11}}$$

$$B_i = 1,957$$

$$B_f = \frac{2,0,254 \cdot 10^{-2,8,5} + \frac{0,254}{0,86} \cdot 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-8,5}}{0,54 \cdot 10^{-2,8,5} + \frac{0,254}{0,86} \cdot 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-8,5} + 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 9,311 \cdot 10^{-11}}$$

$$B_f = 0,971$$

$$B = B_i - B_f = 1,957 - 0,971$$

$$B = 0,986$$

$$C = \frac{10^{-4,8} - 10^{-8,5}}{0,86}$$

$$C = 1,842 \cdot 10^{-5}$$

On sait que :

$$\Delta C = TAC = A + B \cdot [CO_3 \text{ total}] + C$$

$$[CO_3 \text{ total}] = \frac{TAC - A - C}{B}$$

$$[CO_3 \text{ total}] = \frac{2,88 \cdot 10^{-3} - 1,307 \cdot 10^{-7} - 1,842 \cdot 10^{-5}}{0,986}$$

$$[CO_3 \text{ total}] = 29,020 \cdot 10^{-4}$$

On sait qu'à l'équilibre on a

$$d_4 \text{ eq} = \frac{[CO_3 \text{ eq}]}{[CO_3 \text{ total}]}$$

$$d_4 \text{ eq} = \frac{2,049 \cdot 10^{-6}}{29,020 \cdot 10^{-4}}$$

$$d_4 \text{ eq} = 7,060 \cdot 10^{-7}$$

On pose $a = \gamma_2 = 0,54$
 $c = K_1 K_2 = 6,095 \cdot 10^{-7} \cdot 9,311 \cdot 10^{-11} = 56,75 \cdot 10^{-18}$
 $b = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} K_1 = \frac{0,54}{0,86} \cdot 6,095 \cdot 10^{-7} = 3,827 \cdot 10^{-7}$
 $X = 10^{-\text{pH}_{\text{eq}}}$

On aura

$$ad_{4\text{eq}} X^2 + b d_{4\text{eq}} X + c(d_{4\text{eq}} - 1) = 0$$

On pose

$$A = ad_{4\text{eq}} = 0,54 \cdot 7,060 \cdot 10^{-4} = 3,812 \cdot 10^{-4}$$
$$B = bd_{4\text{eq}} = 3,827 \cdot 10^{-7} \cdot 7,060 \cdot 10^{-4} = 27,018 \cdot 10^{-11}$$
$$C = c(d_{4\text{eq}} - 1) = 56,75 \cdot 10^{-18} (7,060 \cdot 10^{-4} - 1)$$
$$= 5,670 \cdot 10^{-17}$$

On obtient l'équation suivante

$$AX^2 + BX + C = 0$$

$$3,812 \cdot 10^{-4} X^2 + 27,018 \cdot 10^{-11} X - 5,670 \cdot 10^{-17} = 0$$

$$\Delta = B^2 - 4AC$$

$$\Delta = (27,018 \cdot 10^{-11})^2 - 4(3,812 \cdot 10^{-4})(-5,670 \cdot 10^{-17})$$

$$\Delta = 1,594 \cdot 10^{-19}$$

$$\sqrt{\Delta} = 3,993 \cdot 10^{-10}$$

$$X_1 = \frac{-B - \sqrt{\Delta}}{2A} < 0 \text{ exclue de la zone du pH}$$

$$X_2 = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A}$$

$$X_2 = 1,689 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{pH}_{\text{eq}} = -\text{Log}_{10} X$$

$$\text{pH}_{\text{eq}} = -\text{Log} 1,689 \cdot 10^{-7} = 6,77$$

$\text{pH}_{\text{eq}} = 6,8 \text{ eau de forage}$

$\text{pH}_{\text{eq}} = 7,1 \text{ eau du barrage}$
--

3 . Détermination de la quantité de H_2SO_4 pour ramener le TAC à $0^\circ F$

On prépare une solution de H_2SO_4 0,1 N.

On preleve des échantillons de 100 ml d'eau à analyser et on leur ajoute des quantités différentes et bien déterminées de H_2SO_4 à 0,1 N.

Les résultat de l'expérience sont regroupés dans les tableaux suivants.

Eau de forage

Tableau 4.1

Volume de H_2SO_4 0,1 N (ml)	T.A.C. ($^\circ F$)
0	15,4
0,2	13,2
0,6	10,8
1,0	9,0
1,4	8,4
1,8	6,2
2,0	5,6
2,4	4,4
2,8	3,4
3,0	2,8
3,4	2,1
3,8	1,1
4,0	0,7
4,2	0,3
4,3	0,2
4,4	0
4,6	0

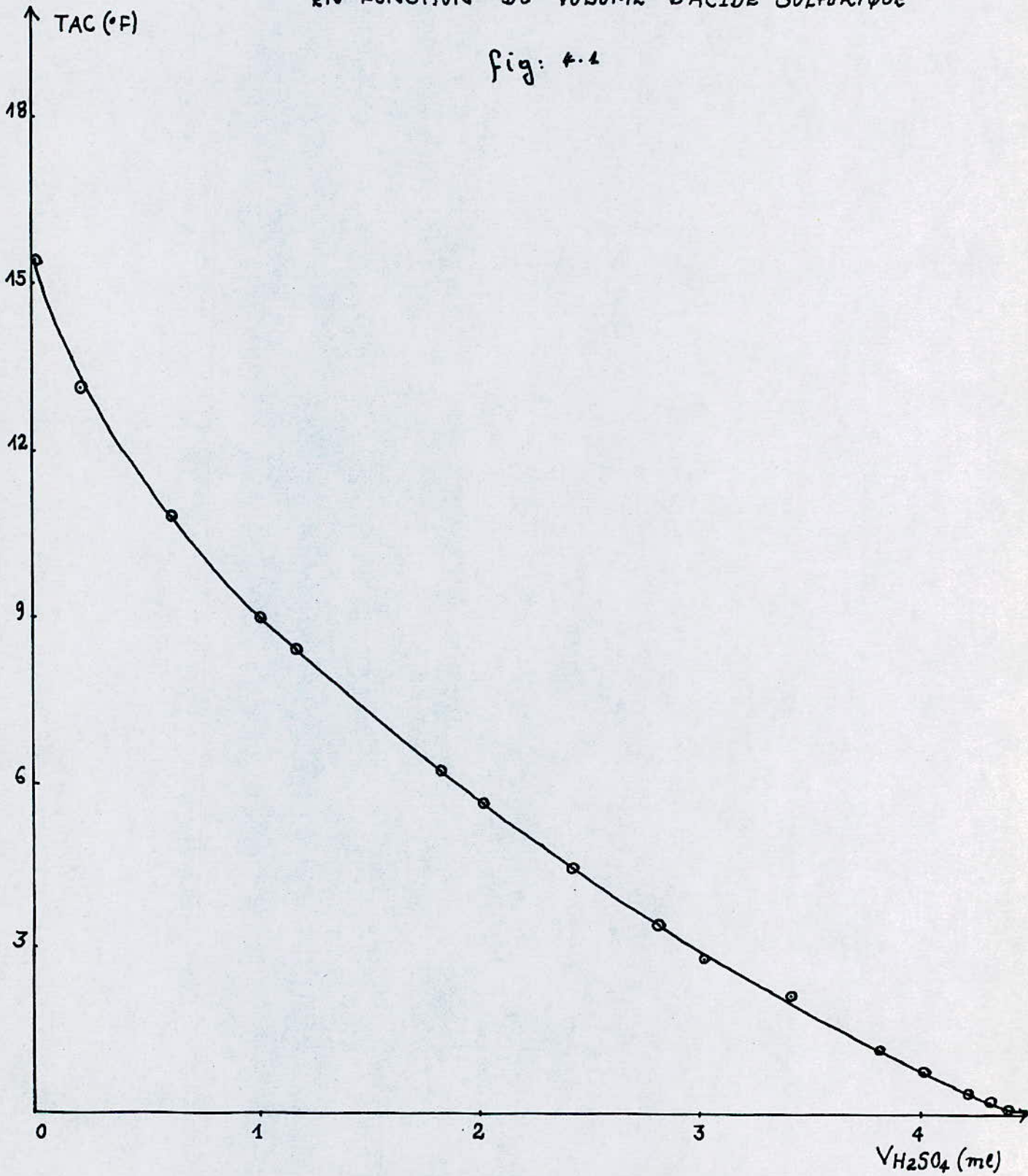
Eau de barrage

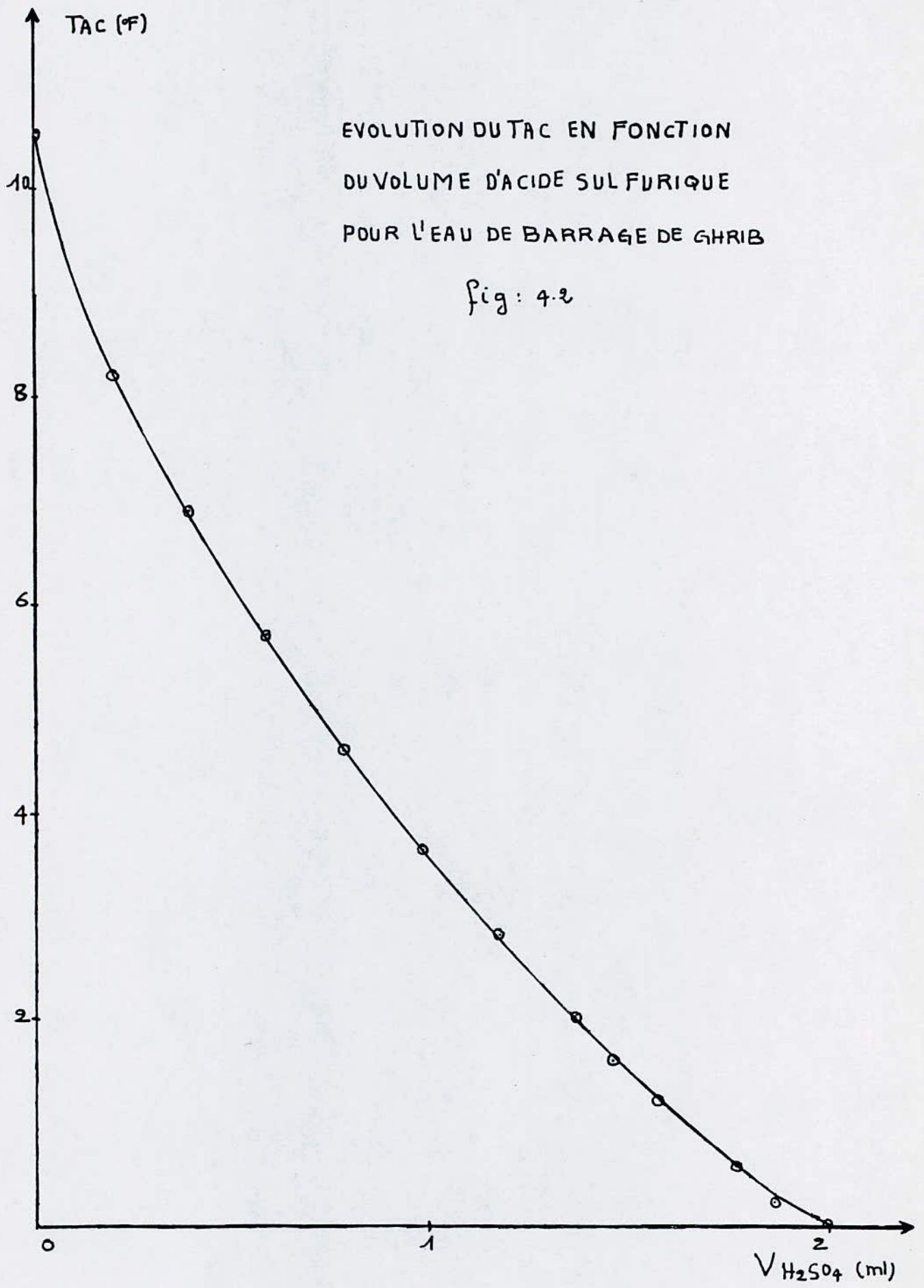
Tableau 4.2

Volume de H_2SO_4 (0,1 N) (ml)	T.A.C. (°F)
0	10,5
0,2	8,2
0,4	6,9
0,6	5,7
0,8	4,6
1,0	3,7
1,2	2,8
1,4	2,0
1,5	1,6
1,6	1,2
1,8	0,55
1,9	0,2
2,0	0,0
2,1	0,0
2,2	0,0

EVOLUTION DU TAC DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME D'ACIDE SULFURIQUE

fig: 4.1





EVOLUTION DU TAC EN FONCTION
DU VOLUME D'ACIDE SULFURIQUE
POUR L'EAU DE BARRAGE DE GHRIB

fig: 4.2

3.1. Interprétation des résultats

.On remarque que le TAC évolue sous forme d'une parabole pour l'eau de forage. Pour l'eau du barrage l'allure de la parabole est caractérisée par une pente assez importante.

.La vaccination acide transforme les bicarbonates de calcium et de magnésium en sels solubles de Ca et Mg qui se traduit par les équations suivantes :



.Pour ramener le TAC à zéro on dépense 4,4 ml d'acide sulfurique 0,1 N pour l'eau de forage , alors que pour l'eau de barrage on dépense 2,0 ml d' H_2SO_4 0,1N. Ceci peut s'expliquer par l'allure de la courbe caractérisée par une pente importante.

En vue de prévoir la formation d'une mince couche de tartre, pour la protection des parois de l'installation contre la corrosion, l'analyse est effectuée dans le but d'aboutir à un TAC légèrement supérieur à zéro, c'est à dire à une valeur de 0,7 °F pour l'eau de forage et 0,55 °F pour l'eau de barrage.

Il en résulte que le volume d' H_2SO_4 à injecter et correspondant à 0,7°F et 0,55°F est successivement de 4,0 ml et 1,8 ml pour 100 ml d'échantillon.

$$V_1 = 40 \text{ ml d}'\text{H}_2\text{SO}_4 (0,1 \text{ N}) / 1 \text{ l d'eau de forage}$$

$$V_2 = 18 \text{ ml d}'\text{H}_2\text{SO}_4 (0,1\text{N}) / 1 \text{ l d'eau de barrage.}$$

En conclusion ; La vaccination acide consiste à injecter un acide fort dans la station de traitement de l'eau d'appoint pour le circuit de refroidissement.

Il faut remarquer que l'eau de forage exige un volume important d' H_2SO_4 à injecter par rapport à celui de barrage. Cela est envisagé dans le but de transformer les bicarbonates de Ca et de Mg en sels solubles.

4. Neutralisation de la dureté temporaire par H_2SO_4 (N/10)

On procède à l'ébullition de 700 ml des échantillons à examiner.

Le début d'ébullition est fixé au temps ($t=0$). Après 40 mn, on arrête le chauffage.

On laisse refroidir l'eau, après filtration, on divise la quantité d'eau en cinq échantillons et on complète à l'eau distillée ($TH=0$) pour avoir les mêmes conditions opératoires.

Ayant mesuré le TH avant et après ébullition de l'échantillon d'eau on ajoute des quantités d'acide sulfurique (N/10) pour chaque échantillon, puis on mesure leur pH.

Les résultats d'analyse sont donnés sur les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n°5.1

Echantillon F N°	Temps d'ébullition (mn)	Volume H_2SO_4 (N/10) (ml)	TH(° F)	pH
1	40	0	56,8	7,2
2	40	0,1	58,6	6,8
3	40	0,2	59,5	4,6
4	40	0,5	61,0	3,7
5	40	0,7	61,7	3,0

TH avant ébullition = 62° F

TH après ébullition = 56,8 ° F

Eau de barrage

Tableau 5.2

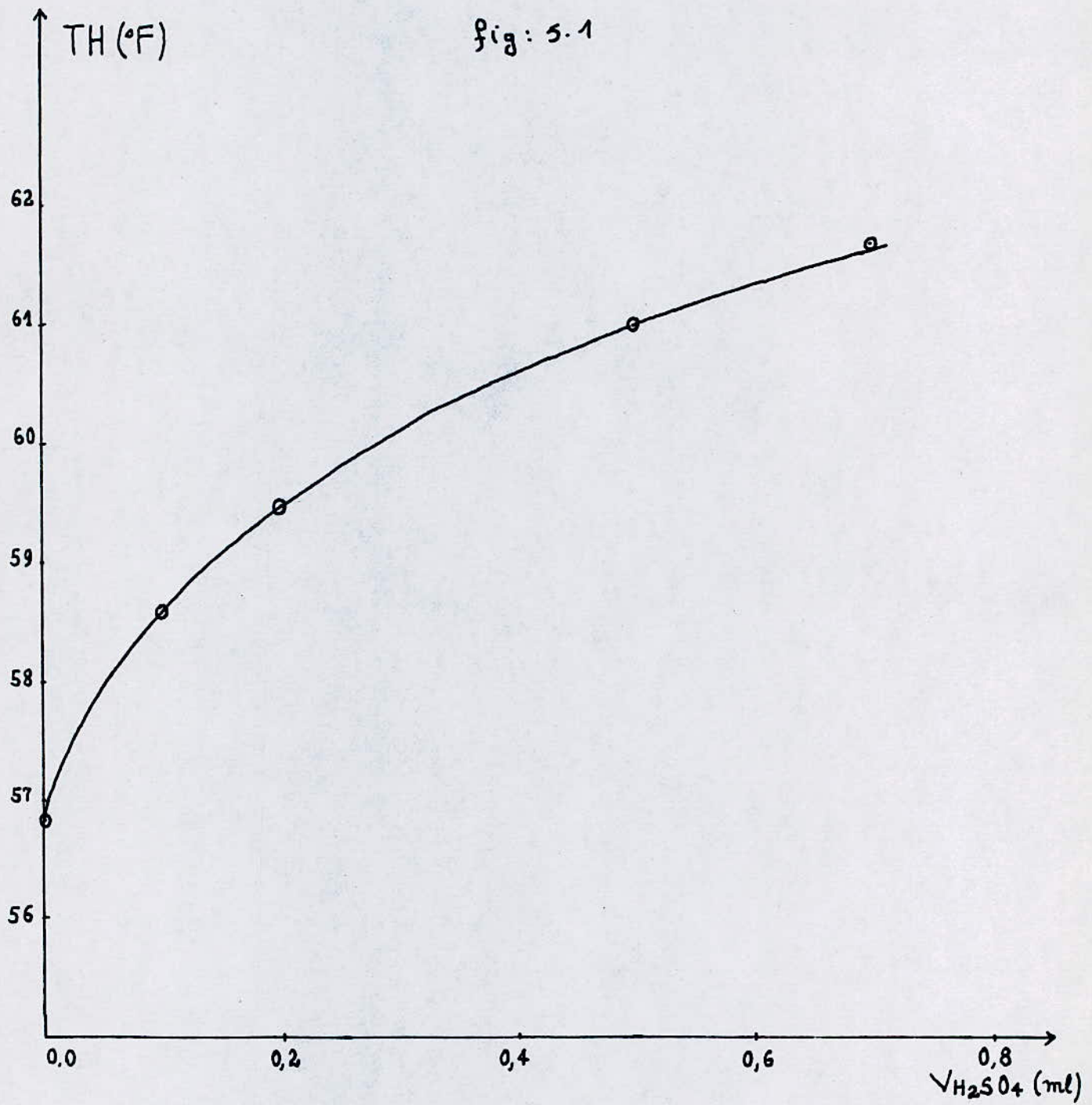
Echantillon B N°	Temps d'ébullition (mn)	Volume H ₂ SO ₄ (N/10) (ml)	TH(° F)	pH
1	40	0	70,8	7,4
2	40	0,1	72,6	6,8
3	40	0,2	74,0	6,0
4	40	0,5	76,6	4,2
5	40	0,7	78,0	3,6

TH avant ébullition 78,4 (° F)

TH après ébullition 70,8 (° F)

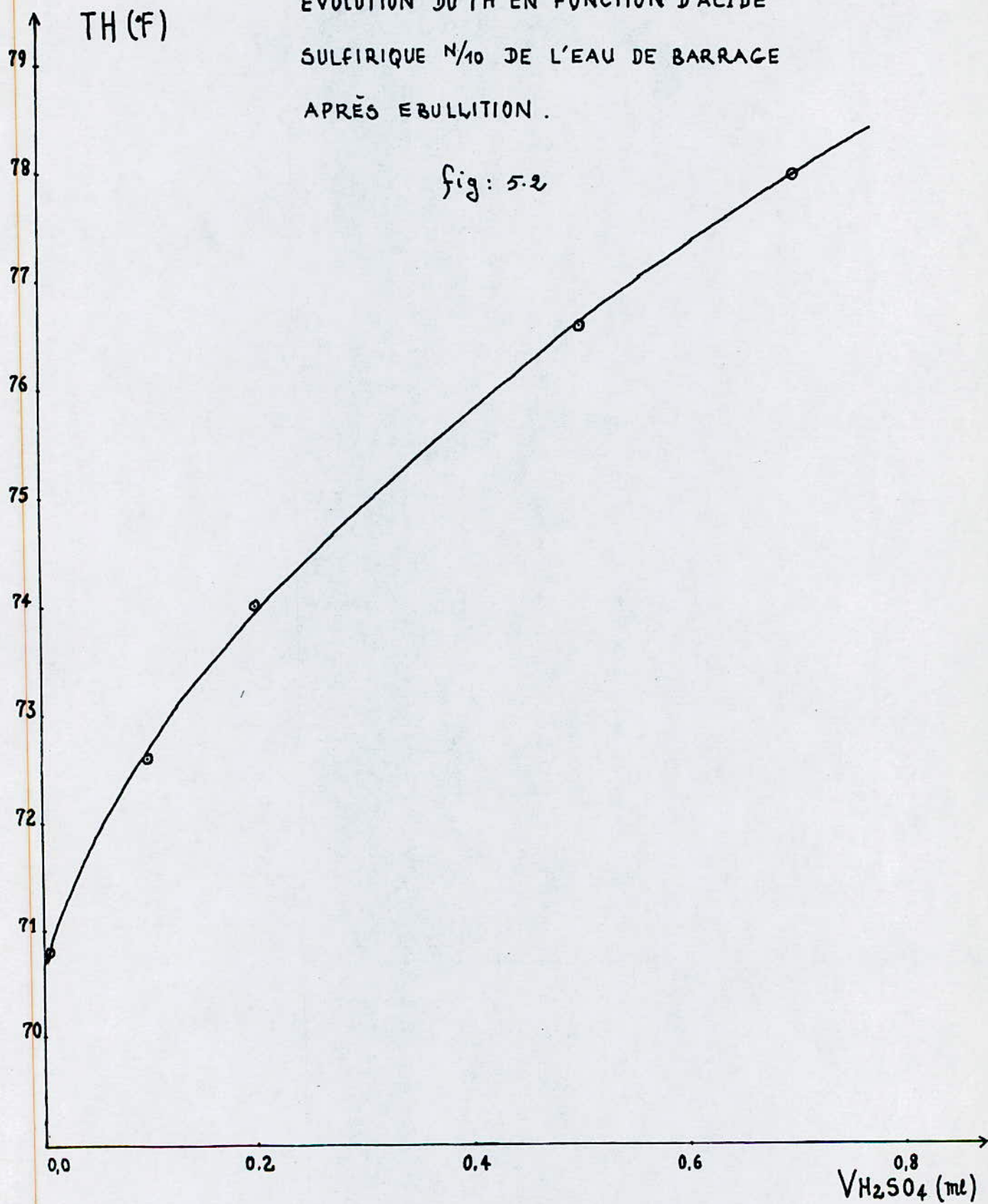
EVOLUTION DU TH EN FONCTION D'ACIDE
SULFURIQUE 0,1N DE L'EAU DE FORAGE
APRÈS EBULLITION

fig: 5.1



EVOLUTION DU TH EN FONCTION D'ACIDE
SULFIRIQUE N/10 DE L'EAU DE BARRAGE
APRÈS EBULLITION .

fig: 5.2



4.1 - Interprétation des résultats

Le TH permanent relatif au temps d'ébullition pour l'eau de forage et de barrage est successivement de 56,8 °F et 70,8 °F.

Le TH temporaire représente la dureté carbonatée en fonction de la température.

$$\text{TH temporaire} = \text{TH total} - \text{TH permanent}$$

Eau de forage

$$\text{TH}_t = 62 - 56,8 = 5,2 \text{ °F}$$

Eau de barrage

$$\text{TH}_t = 78,4 - 70,8 = 7,6 \text{ °F}$$

À la valeur du pH 6,8 (pH d'équilibre) correspond un TH de 58,6 °F.

Pour cette valeur de pH les bicarbonates se décomposent.

Cela permettra donc d'éviter la formation des dépôts de tartre. Cependant, il faut remarquer que la quantité d' H_2SO_4 nécessaire pour ramener le TAC à 0 est plus importante par rapport à celle qui est nécessaire pour neutraliser le TH temporaire.

5. Evolution du pH de l'eau de forage en fonction de la quantité d'acide sulfurique

On prépare une solution d'acide sulfurique à N/10.

On prend un volume de 100 ml d'eau de forage dans un becher. Puis on lui ajoute des quantités croissantes d'acide sulfurique 0,1 N. A chaque addition d'acide, on mesure le pH de la solution jusqu'au pH d'équilibre qu'on a déjà calculé.

Les résultats de l'expérience sont dans les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n°6.1

Volume H_2SO_4 (ml)	pH
0,0	7,9
0,3	7,85
0,6	7,75
1,5	7,45
2,1	7,25
3,0	6,85
3,6	6,80
3,9	6,75
4,5	6,60
4,8	6,50

Eau de barrage

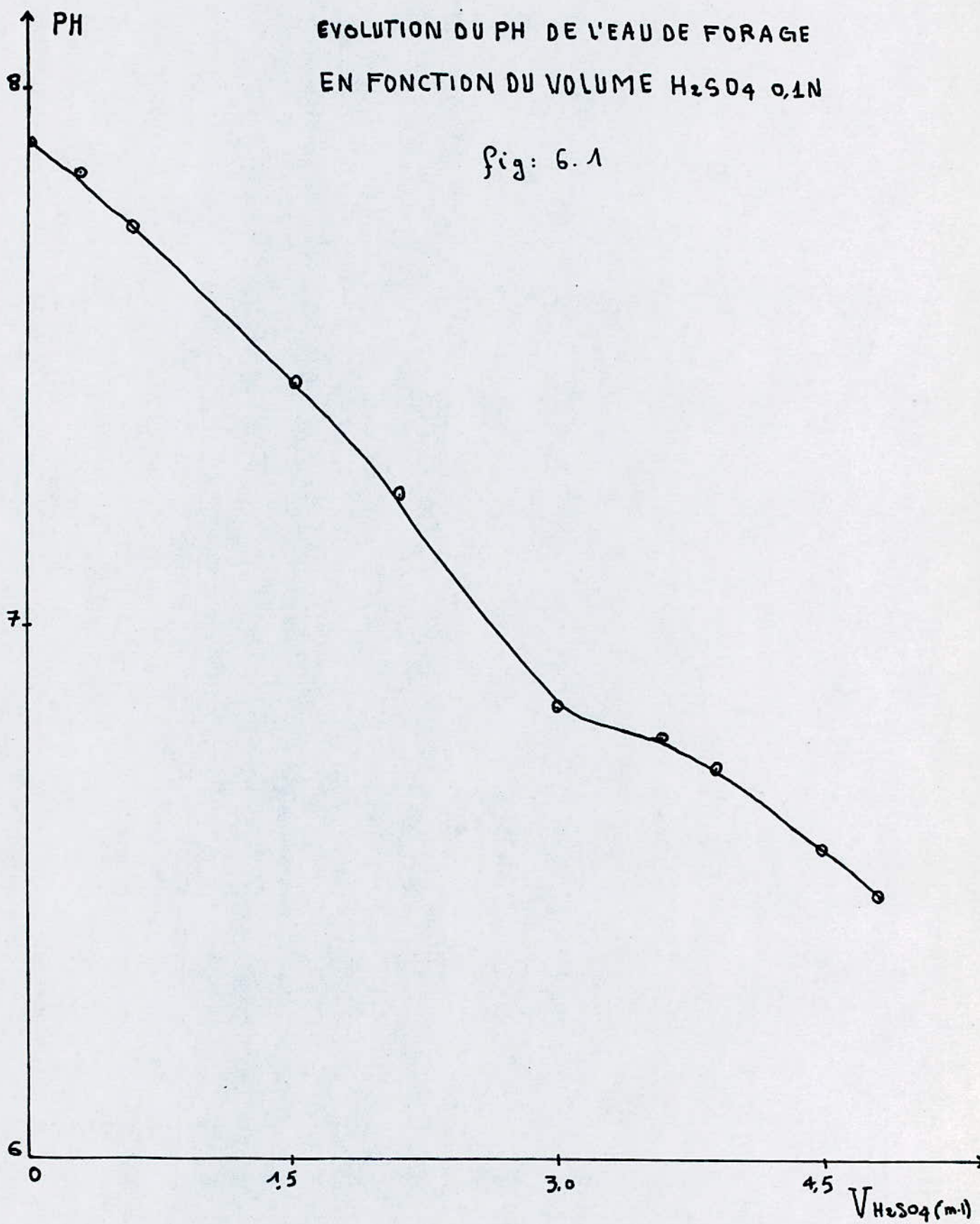
Tableau n° 6.2

Volume H_2SO_4 (ml)	pH
0,0	7,80
0,5	7,65
0,5	7,55
0,9	7,40
1,3	7,22
1,7	7,00
1,9	6,95
2,0	6,90
2,1	6,85
2,3	6,80
2,5	6,70

Nous avons procédé à une température
 $T(^{\circ}C) = 18.$

EVOLUTION DU PH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME H_2SO_4 0,1N

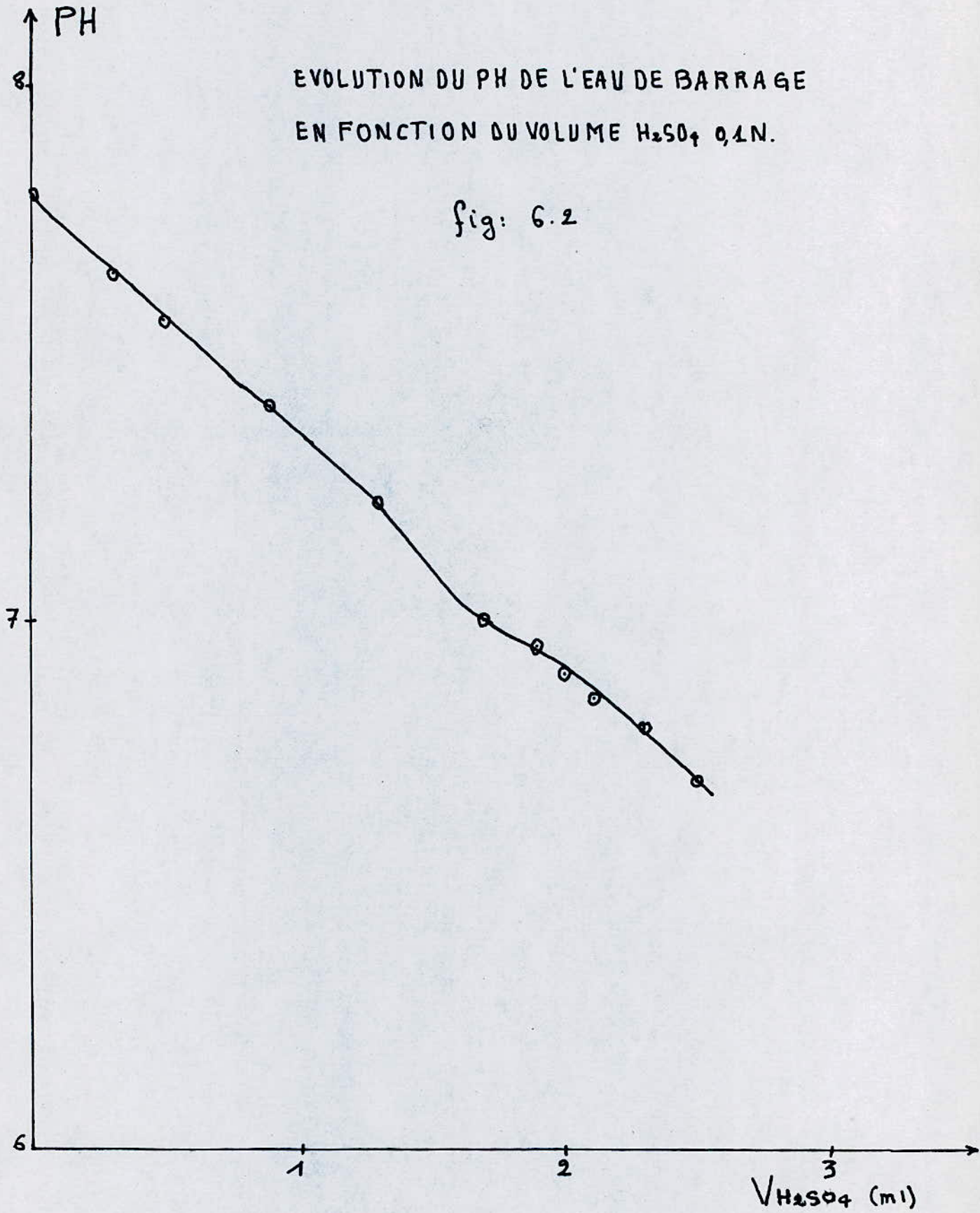
fig: 6.1



↑ PH

EVOLUTION DU PH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME H_2SO_4 0,1N.

fig: 6.2



6. Neutralisation à la soude (NaOH 0,1 N)

Evolution du pH avec l'injection de soude

On prépare une solution de soude NaOH à N/10.

On prend la même eau de forage déjà traitée avec H_2SO_4 0,1N.

Puis on mesure la quantité de soude nécessaire pour ramener le pH de l'eau traitée au voisinage de pH = 9.

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants

Eau de forage

Tableau n°7.1

Volume de NaOH (ml)	pH
0,0	6,75
0,2	6,80
0,3	6,80
0,5	6,85
0,7	6,95
0,9	7,10
1,0	7,25
1,5	8,85
1,7	9,00
2,0	9,20
2,1	9,25
2,4	9,40
2,6	9,45

Eau de barrage

Tableau n°7.2

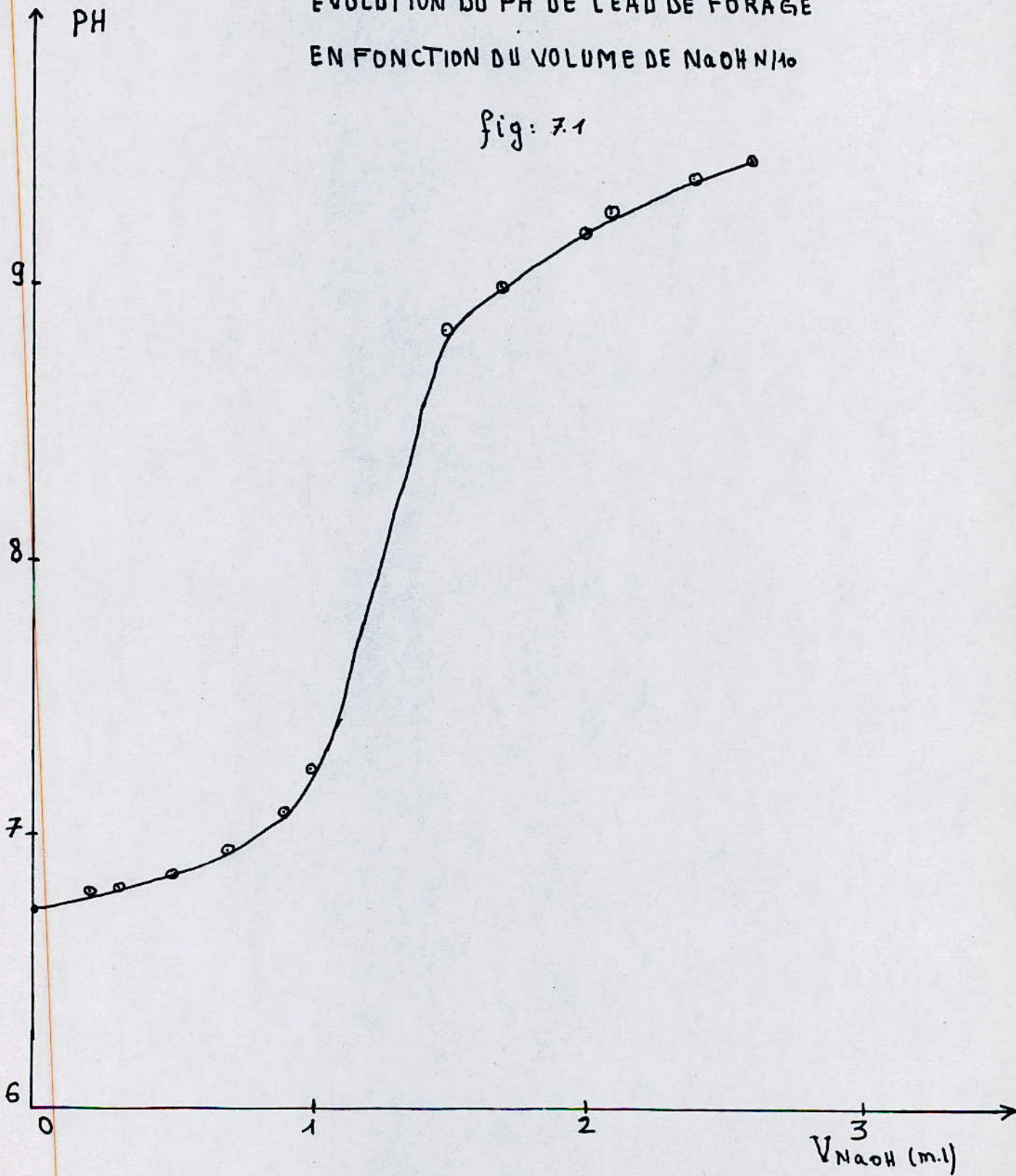
Volume de NaOH (ml)	pH
0,0	6,90
0,2	6,95
0,3	6,95
0,5	7,00
0,8	7,10
1,0	7,20
1,2	7,25
1,5	7,40
1,8	7,55
2,0	8,00
2,3	8,55
2,5	8,65
2,7	8,75
2,9	8,85
3,0	8,90
3,1	8,95
3,3	9,00
3,5	9,10
4,0	9,20
4,7	9,45

Nous avons procédé à la température

T(°C) = 18.

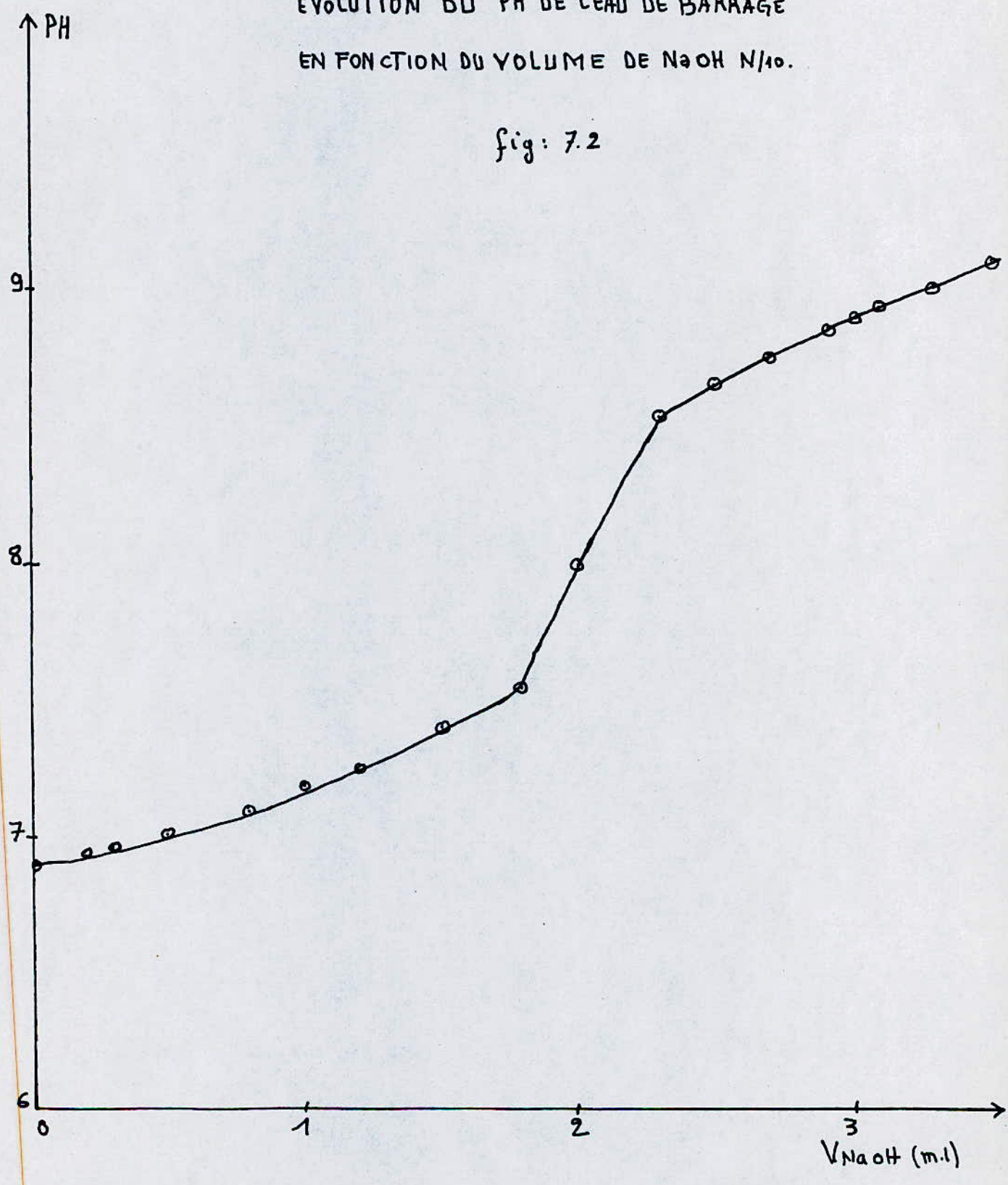
EVOLUTION DU PH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE NaOH N/10

fig: 7.1



EVOLUTION DU PH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE NaOH N/10.

fig: 7.2



CHAPITRE V

Traitement au carbonate de sodium et au phosphate trisodique (Na_2CO_3 et Na_3PO_4)

1. Adoucissement au carbonate de sodium Na_2CO_3

On prépare une solution de Na_2CO_3 à 0,1 N.

Puis, on prend des échantillons de 100 ml d'eau de forage. On leur ajoute des quantités différentes et bien déterminées de Na_2CO_3 à 0,1 N.

Après filtration, on procède à la mesure des caractéristiques (TH, TA, TAC, pH).

On porte les résultats dans les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n°8.1

V Na_2CO_3 (ml)	TH (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	pH
0	61	0	15,1	8,0
4	51	4,2	24,2	8,1
10	41	8,7	24,6	8,3
20	28	16,2	36,7	9,1
30	17	37,7	56,3	9,5
40	14	47,2	66,4	9,8
50	11,5	49,3	68,2	10,0
60	10	50,5	70,1	10,1
70	9	53,6	78,5	10,3
80	7,7	59,1	80,3	10,5
90	7,5	62,7	89,7	10,7
95	7,5	67	98,0	10,9

Eau de barrage

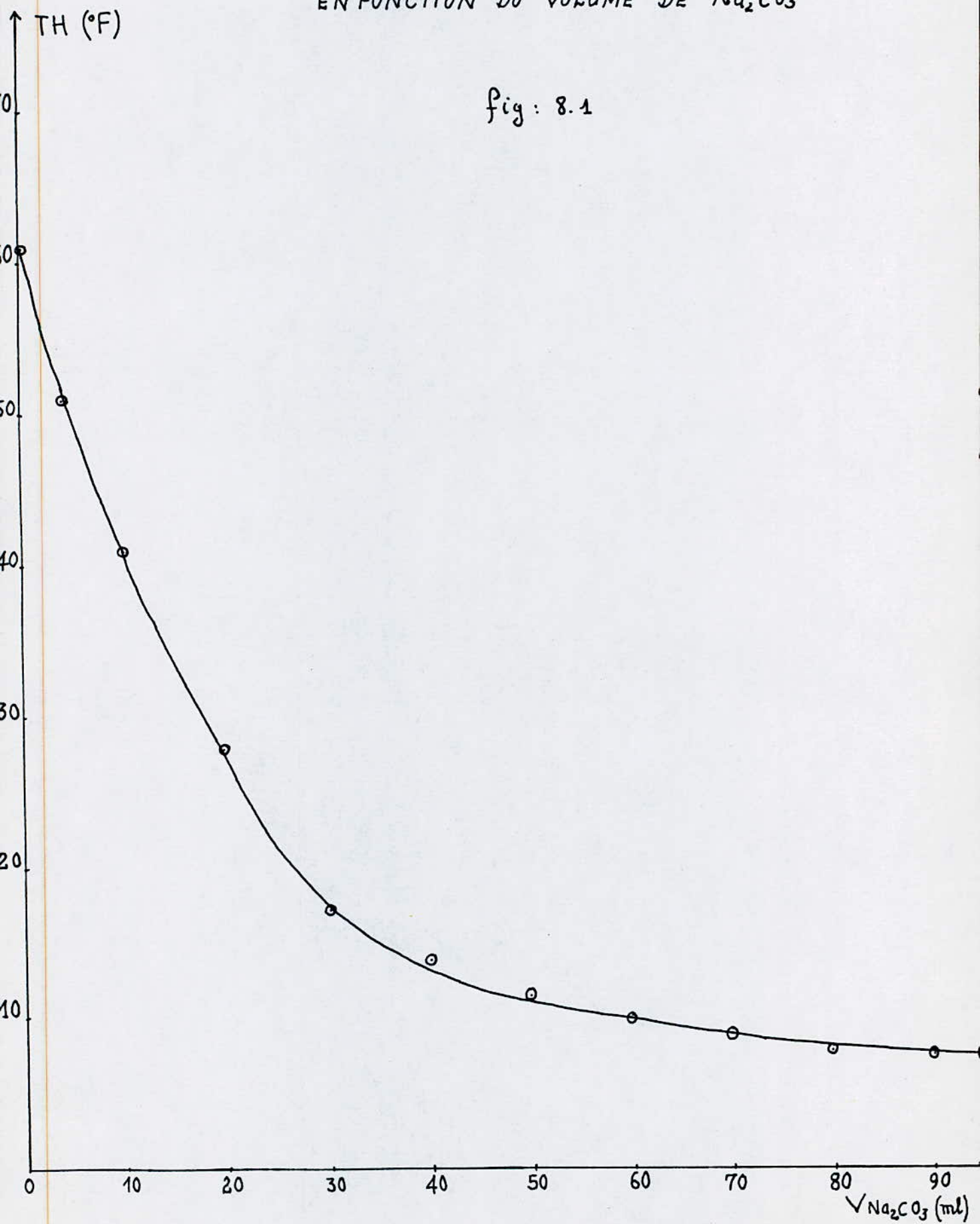
Tableau n°8.2

V Na ₂ CO ₃ (ml)	TH (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	pH
0	68,0	0	10,7	8,0
4	67,0	5,4	16,0	8,6
10	51,0	10,8	21,9	9,0
20	33,0	16,0	25,9	9,1
30	25,5	42,6	52,9	9,7
40	20,0	48,4	60,2	10,0
50	15,3	50,4	86,8	10,1
60	11,8	61,2	90,0	10,2
70	9,5	65,4	95,3	10,5
80	8,7	68,7	98,7	10,7
90	8,7	78,4	100,2	10,7
95	8,7	80,1	110,1	10,8

Nous avons procédé à une température T(°C) = 17.

EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_2CO_3

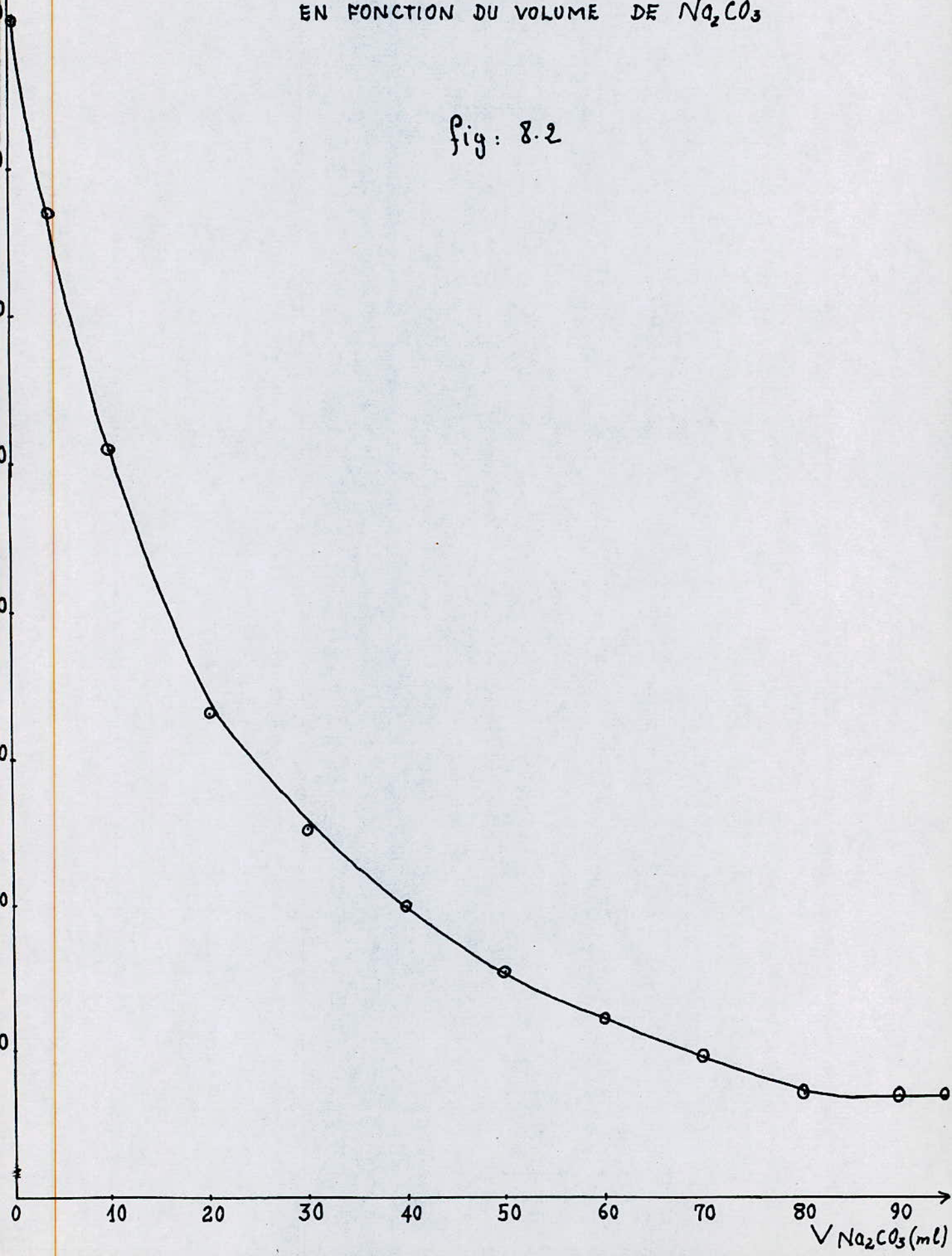
fig: 8.1



↑ TH (°F)

EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_2CO_3

fig: 8.2



1.1. Interprétation et discussion des résultats

Ce traitement est généralement appliqué dans le cas des eaux à haute dureté temporaire et permanente. Il permet de réduire la dureté et la teneur en silice (5*).

Dans le cas de nos échantillons, soumis à ce traitement, la valeur de la dureté totale a sensiblement diminué. La réduction maximale de la dureté de l'eau de forage et de barrage est respectivement de 7,5 °F et 8,7 °F pour un volume de 95 ml de Na_2CO_3 à 0,1 N.

Il faut signaler, également, que les valeurs de TA, TAC et pH se sont notablement accrues.
(voire tableaux et graphiques).

La valeur de TH a été limitée et n'a pu atteindre la valeur zéro. Cela est dûe probablement aux sulfates de la dureté magnésienne (MgSO_4).

Il en résulte de ce traitement que la dureté totale n'est pas complètement éliminée.

L'association à un autre traitement peu probablement améliorer l'adoucissement de ces eaux.

2. Adoucissement au phosphate trisodique Na_3PO_4

On prépare une solution de Na_3PO_4 à 0,1 N.

Puis, on prend des échantillons de 100 ml de l'eau de forage.

On leur ajoute des quantités différentes et bien déterminées de Na_3PO_4 à 0,1 N. Après filtration, on procède à la mesure des caractéristiques (TH, TA, TAC, pH)

On porte les résultats dans les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n°9.1

V Na ₃ PO ₄ (ml)	TH(°F)	TA (°F)	TAC (°F)	pH
0	62	0	14,7	8,0
2	55	0	21,7	8,0
8	45	1,2	22,0	8,2
12	37	2,3	22,5	8,3
16	28,5	4,7	25,1	8,6
24	17,1	6,1	27,0	8,7
35	9,0	9,0	30,0	9,1
45	5,2	10,2	32,1	9,3
60	2,1	11,3	34,5	9,5
70	1,0	13,7	36,0	9,7
80	0,3	15,1	37,3	10
90	0,3	16,7	40,0	10,3

Eau de barrage

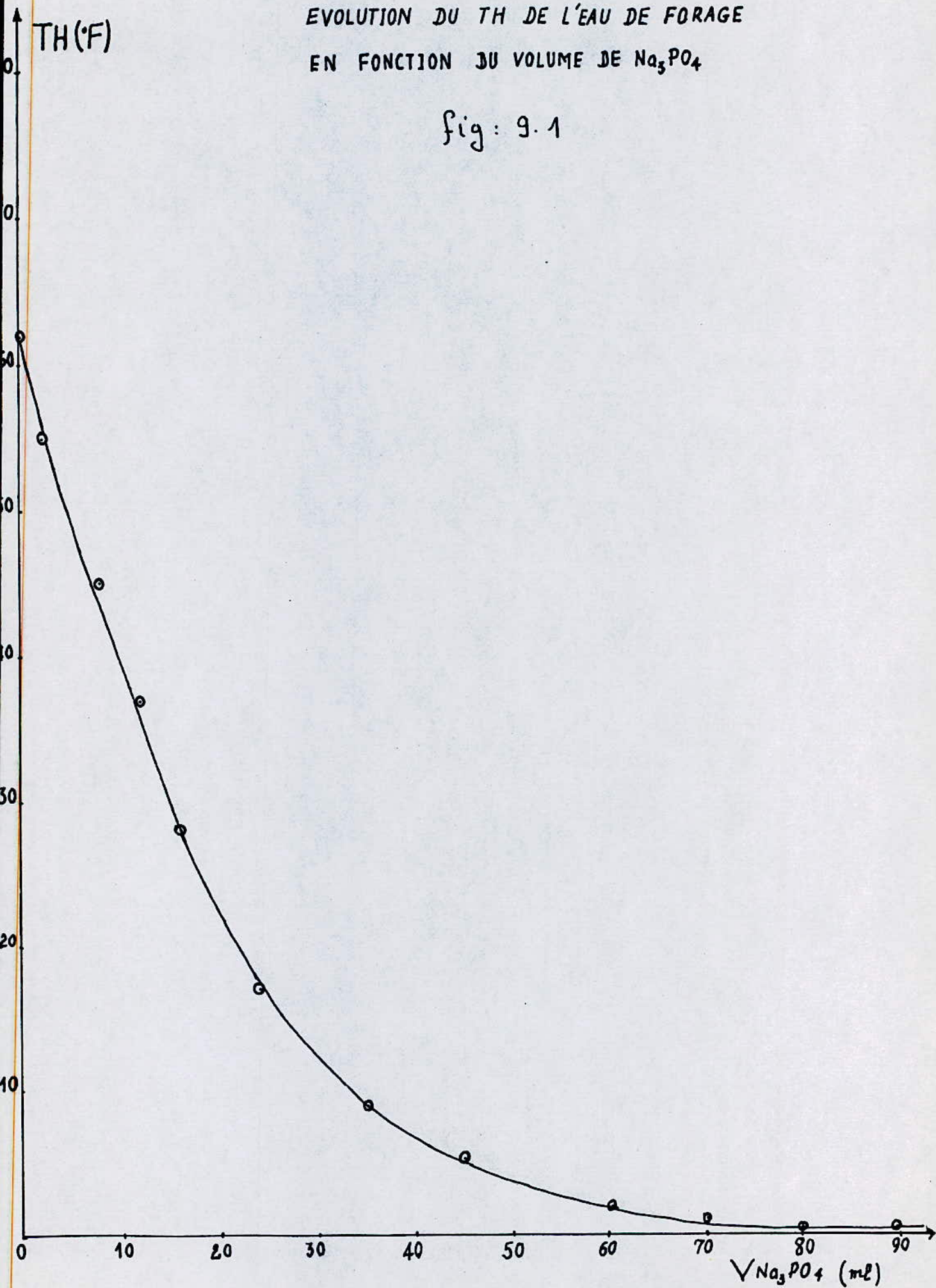
Tableau n°9.2

V Na ₃ PO ₄ (ml)	TH (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	pH
0	78	0	10,6	7,8
2	69	0	10,8	7,9
8	57	1,3	11,0	7,9
12	46	1,7	11,1	8,0
16	36	2,7	11,3	8,0
24	22	6,1	11,6	8,3
35	12	7,2	11,8	8,6
45	4,4	9,0	12,0	8,8
60	3,0	9,7	17,5	9,5
70	1,6	10,3	19,1	9,5
80	0,25	11,0	21,0	9,7
90	0,25	11,8	23,0	10,5

Nous avons procédé à une température T(°C) = 17

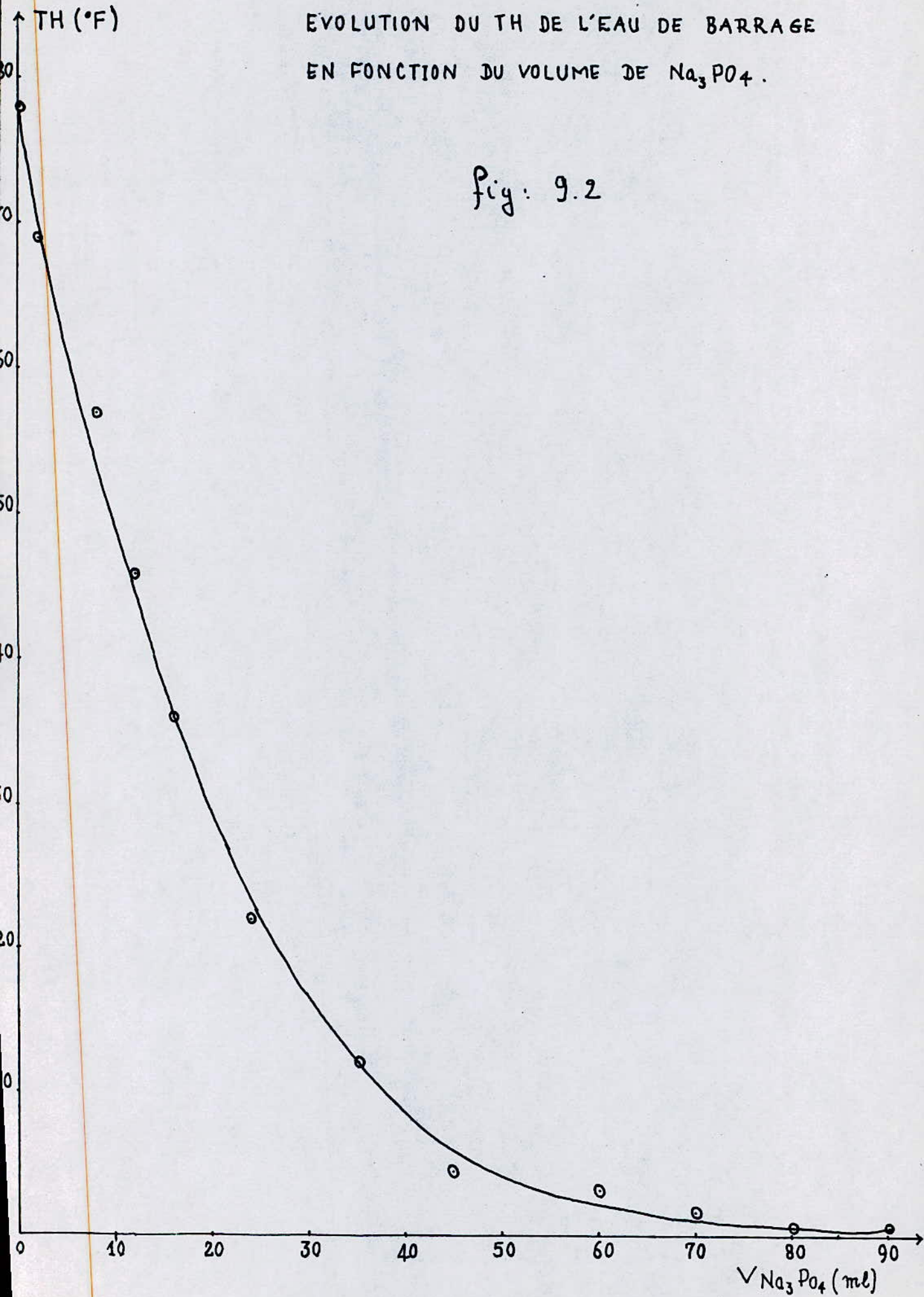
EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_3PO_4

fig: 9.1



EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_3PO_4 .

fig: 9.2



2.1. Interprétation des résultats.

Ce traitement s'applique à des eaux de dureté naturelle faible, où qui ont déjà subi un traitement ayant réduit leur dureté (5*).

Les phosphates ont la particularité de réagir sur l'ensemble des constituents de la dureté de l'eau. Cette réaction résulte sur la formation de phosphate de calcium et de magnésium.

La solubilité de ces derniers est pratiquement nulle ; en particulier ; lorsque la valeur de l'alcalinité est légèrement faible. Les valeurs de la dureté totale issue de ce traitement dans le cas de l'eau de forage et de Barrage sont respectivement (0,3 °F) et (0,25°F). Cela correspond à un volume de 90 ml de Na_3PO_4 à 0,1N.

Les valeurs de TA, TAC et pH, sont sensiblement accrues (voire tableaux et graphiques).

Il apparait de ces résultats, que ce traitement peut être éventuellement promoteur par rapport au précédent traitement au carbonate de sodium.

Compte tenu des coûts de ce réactif, un traitement mixte associant les carbonates de sodium et ce dernier (Na_3PO_4) peut aboutir à des résultats efficaces, en particulier pour le cas de traitement des eaux de chaudières.

3. Adoucissement mixte au carbonate de soude Na_2CO_3 et au phosphate trisodique Na_3PO_4

On prépare une solution N/10 de Na_2CO_3 et N/10 pour Na_3PO_4 . Puis on prend des échantillons de 100 ml d'eau de forage. On leur ajoute la même quantité de volume de Na_2CO_3 à 0,1 N (volume ajouté de Na_2CO_3 est de 95 ml).

Après filtration, on leur ajoute des quantités différentes de Na_3PO_4 à 0,1 N. On filtre de nouveau, puis on procède à la mesure de TH.

Les résultats de l'analyse sont dans les tableaux suivants :

Eau de forage

Tableau n° 10.1

Volume de Na_3PO_4 (ml)	TH (° F)
0,0	7,60
0,2	6,50
0,4	5,35
0,7	4,00
1,0	2,80
1,4	1,70
1,8	0,85
2,0	0,65
2,2	0,42
2,4	0,25
2,6	0,20
2,7	0,20

Eau de barrage

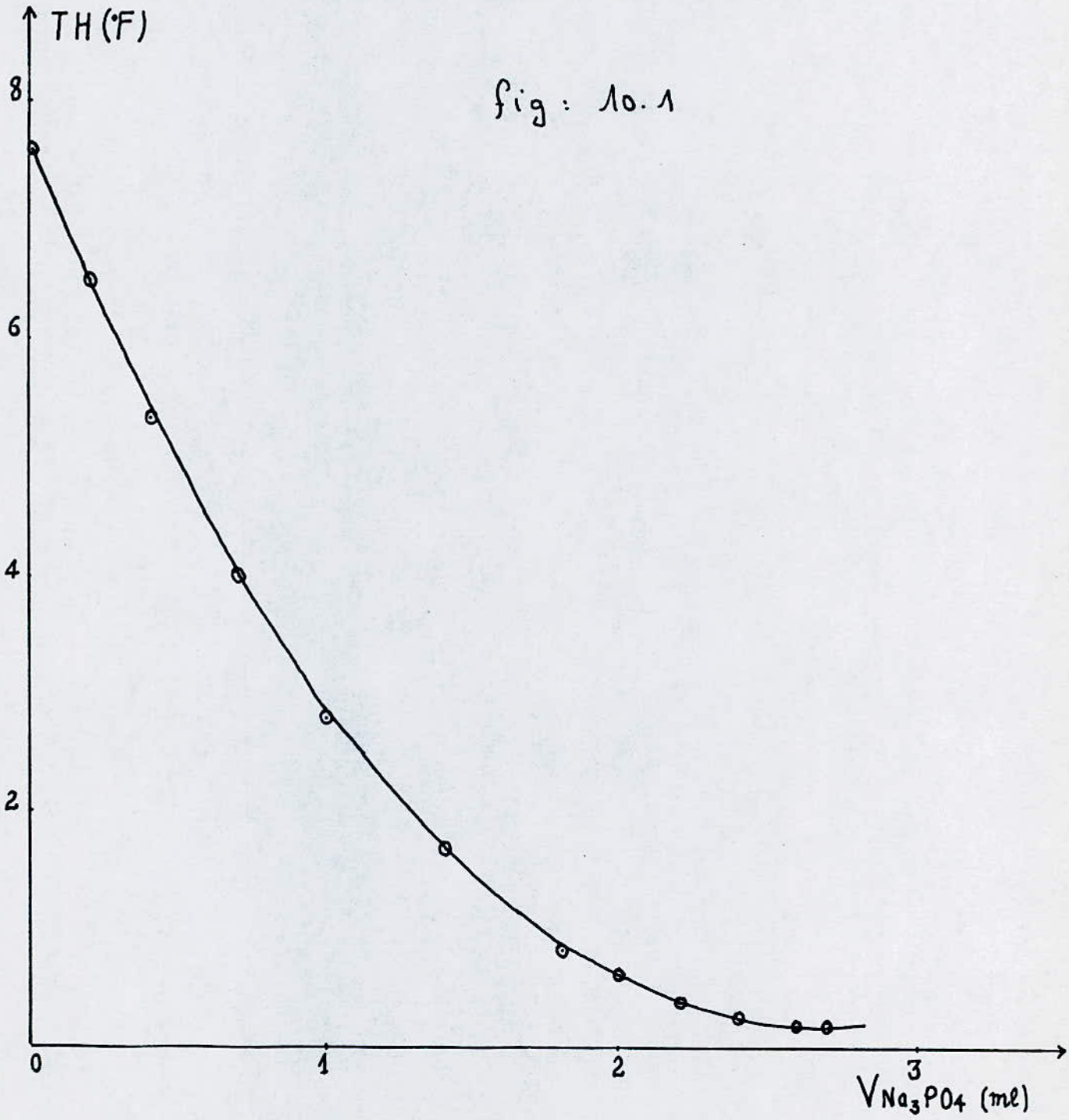
Tableau n° 10.2

Volume de Na_3PO_4 (ml)	TH ($^{\circ}\text{F}$)
0,0	8,70
0,2	7,50
0,4	6,50
0,7	5,00
1,0	3,80
1,4	2,70
1,8	1,40
2,0	1,00
2,2	0,65
2,4	0,40
2,6	0,23
2,7	0,23
2,8	0,23

ADOUCCISSEMENT MIXTE

EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_3PO_4

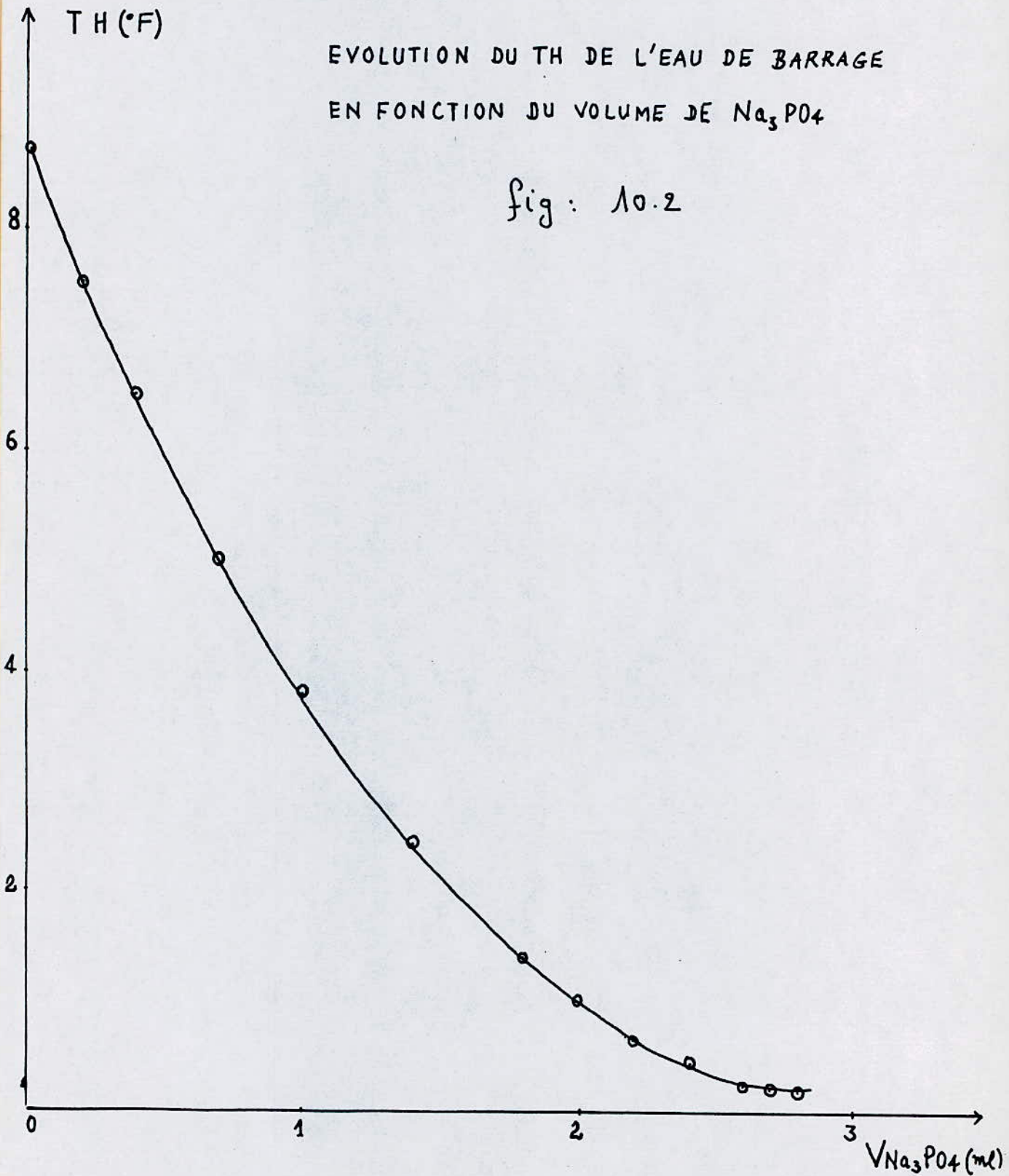
fig: 10.1



ADOUCCISSEMENT MIXTE

EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME DE Na_3PO_4

fig: 10.2



TH (°F)

80

70

60

50

40

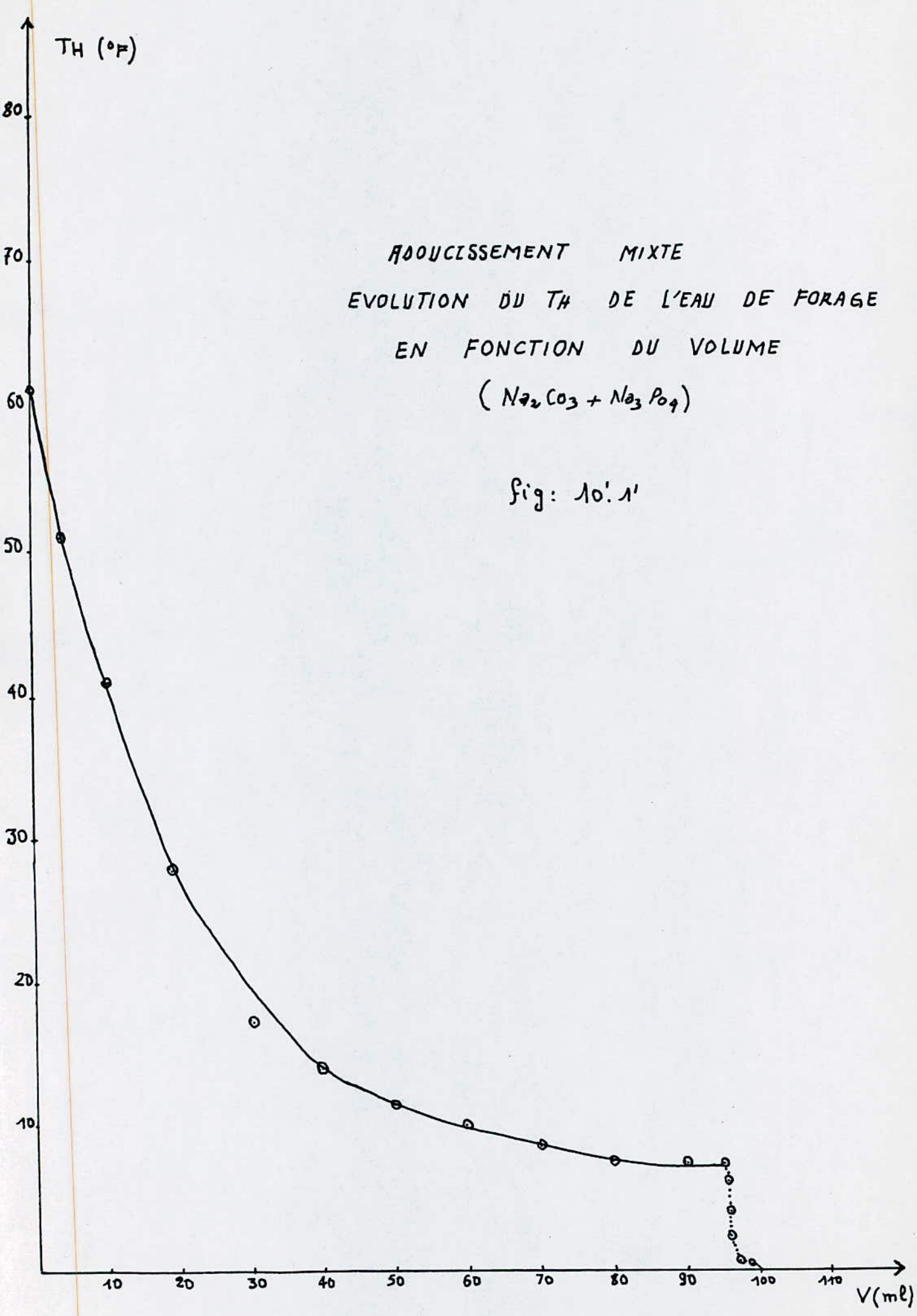
30

20

10

ADOUCCISSEMENT MIXTE
EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE FORAGE
EN FONCTION DU VOLUME
($Na_2CO_3 + Na_3PO_4$)

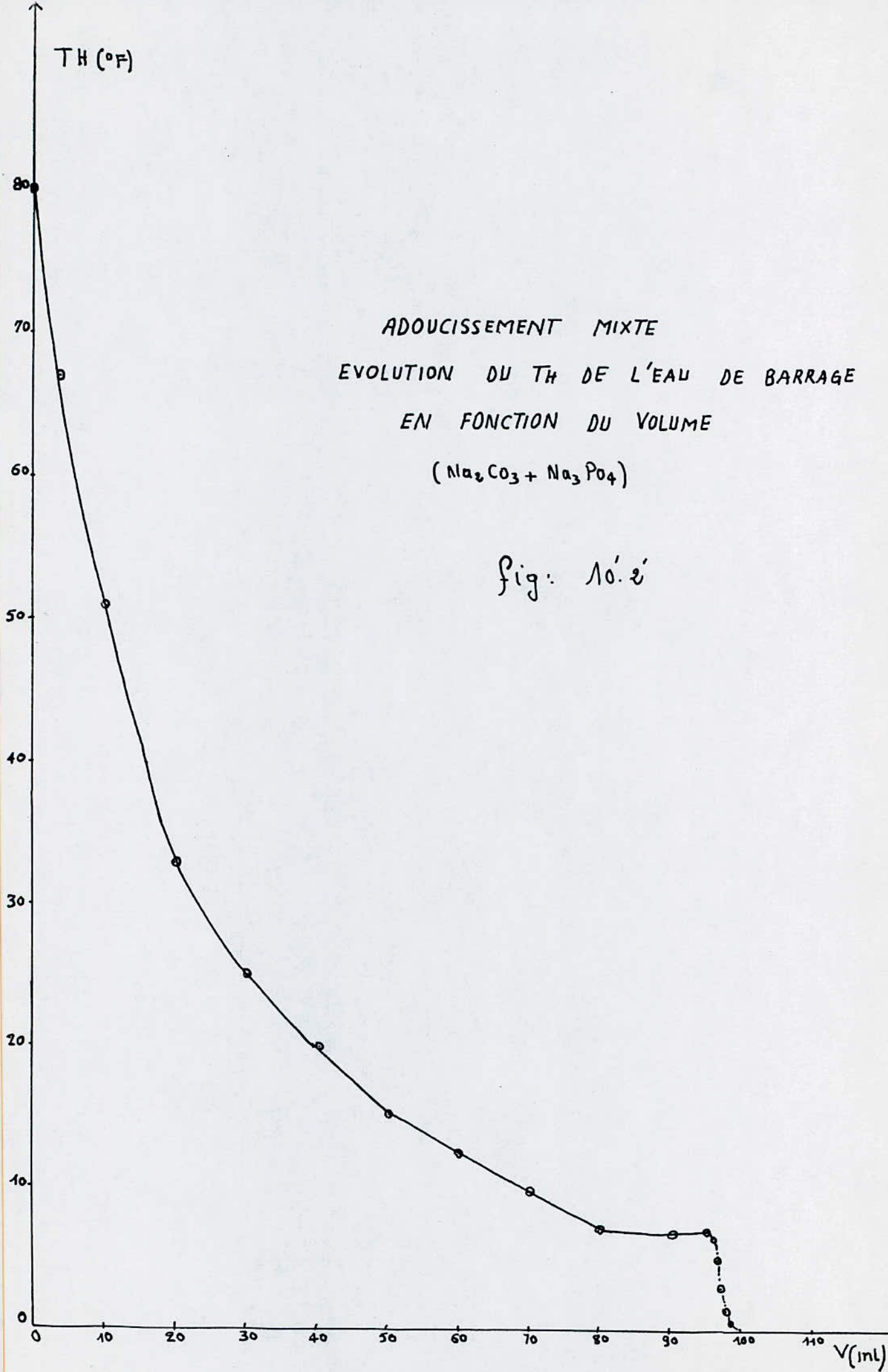
Fig: 10.1'



TH (°F)

ADOUCCISEMENT MIXTE
EVOLUTION DU TH DE L'EAU DE BARRAGE
EN FONCTION DU VOLUME
($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_3\text{PO}_4$)

fig. 10.2



Interprétation et discussions des résultats

Pour ce traitement les valeurs de la dureté totale des deux échantillons ont sensiblement diminué.

Elle est pour l'eau de forage et de barrage respectivement de 0,20 °F et 0,23°F, correspondants aux volumes ajoutés de 95 ml de Na_2CO_3 plus 2,7 ml de Na_3PO_4 (eau de forage) et de 95 ml de Na_2CO_3 plus 2,8 ml de Na_3PO_4 (eau de barrage).

Il apparait qu'une réduction de la consommation de ce réactif lorsque le traitement est simultanément à Na_2CO_3 et Na_3PO_4 .

Cela peut conduire à un traitement relativement économique.

Conclusion Générale

Les résultats d'analyse de l'eau de forage et de barrage révèlent une dureté particulièrement très élevée par rapport à celle de Cheffa ($TH_{\text{barrage}} > TH_{\text{forage}} > TH_{\text{Cheffa}}$).

Le traitement de ces eaux est indispensable pour la prévention de la maintenance des équipements du circuit de distribution.

Le traitement par la vaccination à l'acide sulfurique peut préalablement remédier aux contraintes subies par le circuit de réfrigération de l'E.N.P.M.H. Pour ce faire, l'installation précédemment utilisée, pour la vaccination à l'acide chlorydrique, peut être récupérée éventuellement.

Le traitement mixte aux carbonate de sodium et phosphate trisodique peut être d'un apport efficace dans l'adoucissement de ces eaux pour l'alimentation des chaudières. Cependant ce procédé conduit à une eau sans dureté résiduaire.

La prévision d'installation d'évacuation des boues de formation résultant de ce procédé demeure indispensable.

Il en résulte de ces traitement que le recours à l'eau de barrage GHRIB pour l'alimentation des utilités de l'E.N.P.M.H peut être utilisée sans inconvénients majeurs comparativement à l'eau de forage.

Par ailleurs, le contrôle et le suivi des produits de traitements nécessitent une grande fréquence d'échantillonnage, et une mesure précise au laboratoire et en particulier pour la valeur de pH.

A N N E X E

Mesure du pH

Elle est effectuée à l'aide d'un pH mètre millivolt mètre type U9N.

pH : 0 - 7 - 14 (précision $\pm 0,03$ pH)

Mesure de la conductivité

Elle est effectuée à l'aide d'un conductimètre Model CM - 8ET.

Mesure de la densité

Elle est déterminée avec le Pycnomètre.

Le liquide est introduit dans un pycnomètre, dont le volume exact a été déterminé avec l'eau on pèse le pycnomètre et calcule la densité sur la base de la pesée.

$$d = \frac{P - p}{P_1 - p}$$

P : poids du pycnomètre plein avec l'échantillon à analyser

p : poids du pycnomètre à via

P₁ : poids du pycnomètre plein avec l'eau distillée.

Titre alcalimétrique T_A

Il est mesuré par méthode volumétrique.

Le T_A est égale au nombre de millilitres d'acide sulfurique N/50 nécessaire pour neutraliser à la phénolphtaleine ; c'est à dire à pH de 8,3 ; 100 ml d'eau.

Titre alcalimétrique complet T_{AC}

Mesuré dans le même échantillon que le T_A, il est égal au nombre de millilitres d'acide sulfurique N/50 pour neutraliser au méthylorange, c'est à dire au pH de 4,3 ; 100 ml d'eau.

Titre hydrotimétrique ou T_H

Mesuré par complexométrie (EDTA), le T_H est égal au nombre de millilitres de complexon III à N/50 nécessaire pour le virage au violet du bleu d'ériochrome et le virage au bleu du noir d'ériochrome, par une prise d'essai de 50 ml.

Dosage des sulfates

Ils sont dosés par gravimétrie où les sulfates sont précipités par une solution de chlorure de Baryum.

Teneur en chlorures

Le dosage des chlorures est effectué par la méthode de Mohr. Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique de chromate d'argent.

Le résidu sec

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desseché est ensuite pesé.

Teneur en sodium et potassium

Ces deux éléments sont dosés par spectrophotométrie à flamme ; en utilisant la méthode d'étalon.

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

- 1* - GEORGES BOURREY
L'eau dans l'industrie (Applications, Epuration)
(Eddition Octave Doin et fils - 1909)
- 2* - M.PETROV, L.MIKHILEV
Chimie minérale
(Edition Mir Moscou - 1984)
- 3* - I. MOUKHLEMOV
Principe de la technologie chimique
(Edition Mir Moscou - 1986)
- 4* - LAZERGUI.R et BOUGHEDAOU M.
Etude de la substitution de l'AS P₆ par la
silice activée et la bentonite dans le traite-
ment des eaux de barrage "Ghrib"
(Thèse d'ingénieur, ENP, Alger 1987)
- 5* - LOUIS GERMAIN , LOUIS COLAS
JEAN ROUQUET
Le traitement des eaux destinées à l'alimenta-
tion des chaudières à vapeur aux circuits de
refrégération, aux reseaux de distribution et
et d'eaux industrielles et potables.
(5° édition Dunod - 1976)
- 6* - LOUIS. GERMANI, L.COLAS
Le traitement des eaux destinées à l'alimen-
tation des chaudières à vapeur des circuits
de réfrigération et des reseaux de distribution
d'eaux potables et industrielles.
(Eddition VII - 1964 - PARIS)
- 7* - Sabiha BENOUGUEF
Contribution à l'étude de l'épuration des eaux
(Thèse d'ingénieur, ENP ALGER 1979)
- 8* - L.GERMAIN
Traitement des eaux
(Dunod - 1976)

9* - CYRIL GOMELLA , HENRI GUERRE

Le traitement des eaux publiques, industrielles
et privées.

(2° édition, Ey Rolles - 1978)

10* - DEGREMONT

Mémonto technique de l'eau

(8° édition, Dinod Paris - 1984)

11* - KARL WINNACKER , L. KUCHLER

Technologie minérale

(Editions Ey rolles - 1962)

12* - MONTGOMERY Y.M

Water treatement principales and design

(J. Wiley et sons , NewYork - 1985)

13* - BAKER M.N

The quest for pure water, AWWA, Vol I et II

(2° édition, NewYork - 1981)

14* - RODIER .J

L'analyse de l'eau

(7° édition, DUNOD, Paris - 1984)

15* - Y. LOURIR

Aide memoire de chimie analytique

(Edition MIR - 1975)

16* - G. CHARLOT

Chimie analytique quantitative Méthodes
chimiques et physico chimiques

(Editions MASSON et CTE - 1974)

17* - H. EBERT

Chimie technique

(formulaire de poche - Juillet 1985)

18* - V. ALEXEEV

Analyse qualitative
(3^e édition MIR Moscou - 1984)

19* - PIERRE WUITHIER

Raffinage et genie chimique
(Edition technip I.II - 1965)

20* - BELKALEM

Optimisation du système de traitement d'eau à la
raffinerie de Hassi messaoud
(mémoire de fin d'étude d'ingeniorat l'INH -
Boumerdes - 1980)

22* - J. HISSEL

Pratique du calcul des équilibres
(CEBEDOC - 1975)

23* - L. LEGRAND

Chimie des eaux naturelles
(EYROLLES - 1976)

24* - OUASSINI HADJADJ AOUL

Utilisation et performances de $FeSO_4$ comme inhi-
biteur de corrossion dans l'eau de Mer de circula-
tion pour l'alliage aluminium - laiton.
(Mémoire de fin d'étude d'ingéniorat l'INH
Boumerdes - 1980)

25* - CHARLES R. LOX

Techniques et controle du traitement des eaux
(Genève - 1975)

26* - WATER RESOURLES RESEARCH

(Published by american geophysical union May
1987, Number 6 volume 23)

27* - L'eau l'industrie, les nuisances

(Revue Française - 1986 N° 104,101,100).

