

254.0 000E

DESINFECTION DE L'EAU
IMPORTANCE DE LA TURBIDITE

INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR RESEARCH IN WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

MONTIEL A. - WELTE B.

254.0-000E-707g }

1 INTRODUCTION

Si l'on essaie de hiérarchiser les risques pouvant être induits par la consommation d'eau, le risque microbiologique est le plus important car c'est un risque à court terme. En effet, il suffit de boire qu'une seule fois une eau contaminée par des micro-organismes pathogènes pour être susceptible de contracter une maladie.

L'opération de désinfection est donc le traitement le plus important de la chaîne de potabilisation de l'eau.

Comme il est utopique de vouloir stériliser les eaux destinées à la consommation humaine, l'opération de désinfection consiste à réduire de plusieurs puissances de 10 la quantité de micro-organismes présents dans l'eau.

Dès le début du 20ème siècle, la notion de germes tests de contamination est apparue et a permis de pouvoir vérifier et s'assurer d'une bonne désinfection de l'eau par élimination totale de certains germes témoins de contamination fécale : les coliformes thermo tolérants, les coliformes totaux ainsi que les streptocoques fécaux.

Si ces germes étaient de bons témoins de l'élimination par traitement chimique des micro-organismes "libres", il n'en était pas de même des germes enkystés ou sporulés. C'est la raison de l'introduction dans les contrôles de désinfection d'un germe qui sporule : clostridium sulfito-réducteur. En effet, ce germe résiste aux traitements chimiques de désinfection et ne peut-être retiré que par traitement physique de l'eau : filtration.

Ces dernières années, des maladies d'origine hydrique ont été signalées notamment aux U.S.A. dues à giardia, cryptosporidium. Les études ont montré que les traitements chimiques (chloration) nécessitaient, pour être efficaces, de taux de traitement très importants. Il a donc été décidé que le traitement de potabilisation minimum d'une eau de surface ne pouvait être qu'une filtration suivie d'une désinfection chimique.

L'étude que nous vous proposons a pour but de montrer l'importance de la turbidité de l'eau donc de l'étape de clarification pour assurer, en association avec un traitement chimique de désinfection, une bonne garantie microbiologique de l'eau.

2 - DEFINITION DE LA TURBIDITE DE L'EAU

La turbidité de l'eau est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières soit colloïdales, soit insolubles d'origine minérale (argile, limons, hydroxyde de fer, d'aluminium, sable...) ou organique (acides humiques, acides fulmiques, protéïnes,

micro-organismes de taille supérieure à 0,1 μm). Ces matériaux très différents les uns des autres ont en commun : d'une part, la propriété de troubler l'eau, d'autre part des pouvoirs d'adsorption, d'échange et de support très importants.

La figure 1 montre, suivant la taille des particules, les éléments pris en compte correspondants et leur pouvoir de sédimentation.

figure 1

Il est très net que l'élimination poussée de la turbidité est le garant d'une très bonne épuration de l'eau.

3 - DESINFECTION DE L'EAU

La désinfection de l'eau consiste à éliminer les micro-organismes et principalement les germes pathogènes. Cette opération peut-être obtenue de deux façons différentes :

- Par rétention des germes (traitement physique)
- Par destruction des germes.

les traitements peuvent être soit physique : rayonnements ultra violet, solaires, chaleur (ébullition) soit biologique : concurrence vitale (filtration biologique à faible vitesse), soit chimique : chlore, bioxyde de chlore, chloramines, ozone, argent, ammoniums quaternaires, aldéhydes...

Dans les traitements de potabilisation de l'eau destinée à la consommation humaine, on fera appel à des phénomènes physiques et/ou biologiques et à des phénomènes chimiques. Ces deux traitements sont tout à fait complémentaires et permettent de garantir la qualité bactériologique de l'eau.

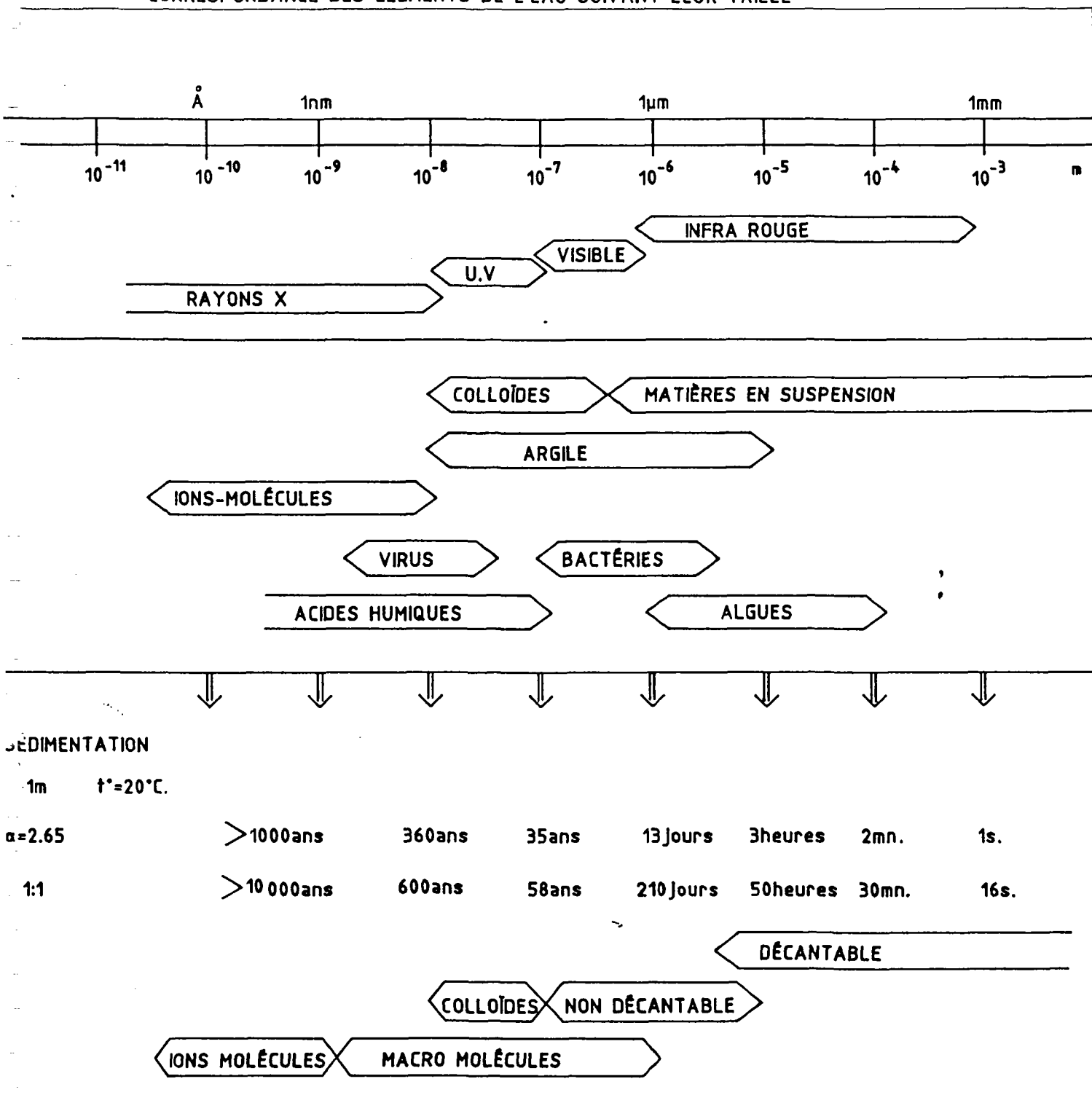
Comme le montre la figure 1, la clarification de l'eau pourra être un bon traitement permettant soit une élimination de certains micro-organismes, soit un meilleur effet des traitements chimiques de désinfection.

3.1 Traitements Physiques et/ou biologiques

Certains micro-organismes pathogènes peuvent résister aux traitements chimiques aux concentrations utilisées pour le traitement des eaux. Ces organismes peuvent être des parasites ou des micro-organismes sous forme de kystes ou de spores.

Figure 1

CORRESPONDANCE DES ÉLÉMENTS DE L'EAU SUIVANT LEUR TAILLE



La seule élimination de ces organismes est un traitement permettant leur rétention. Comme ces organismes ont des tailles correspondant aux éléments pris en compte par la turbidité de l'eau, des relations turbidité élimination de certains organismes ont pu être établies et montrent l'importance de la turbidité de l'eau.

Giardia

C'est le cas, par exemple, pour giardia voir figure 2 où une relation a pu être établie.

figure 2

Log abattement de kystes de giardia = $-3,678$ turbidité en NTU $+2,16$.

Algues

Dans le cas des usines de traitement d'eau de la S.A.G.E.P. alimentant Paris, des relations identiques ont pu être établies entre la turbidité résiduelle de l'eau et le nombre d'algues après traitement par filtration biologique à faible vitesse. Nous obtenons une relation du type :

log de l'abattement des algues = $-1,64$ turbidité de l'eau traitée en NTU $+2$

Cette relation a été obtenue par compilation des données obtenues durant une année dans les usines d'IVRY et de ST. MAUR (figure 3).

figure 3

Clostridium sulfito réducteur

Les spores de clostridium sulfito réducteur qui ne sont pas à proprement parler des germes tests de contamination fécale sont des témoins de la bonne rétention des germes pouvant se trouver dans les eaux sous forme de kystes ou de spores et permettant de mettre en évidence l'efficacité de l'étape de filtration.

Comme la S.A.G.E.P. dispose de deux types d'usines de potabilisation d'eau : usine physico-chimique pour ORLY et biologique pour IVRY et ST. MAUR, il nous a été possible pour les spores de clostridium sulfito réducteur de mettre en évidence une différence de comportement dans l'élimination de ces organismes.

Le principe de traitement de la première usine est basé sur la neutralisation des colloïdes négatifs de l'eau, par ajout d'un réactif chimique ($Fe Cl_3$) leur coagulation, floculation et décantation. La figure 4 montre la très grande importance de la turbidité résiduelle de l'eau. La relation obtenue est du type :

figure 4

Log abattement en spores de clostridium sulfito réducteur = $-5,778$ turbidité en NTU $+3,23$.

Par contre, pour les usines basées sur la filtration biologique, deux phénomènes sont pris en compte, une clarification de l'eau par neutralisation biologique des colloïdes (polysaccharides) et une concurrence vitale à l'intérieur des filtres. Dans ce cas, l'influence de la turbidité de l'eau est beaucoup moins importante :

log abattement des spores de clostridium sulfito réducteur = -4,18
turbidité +1,948 (figure 5).

figure 5

3.2 Traitements chimiques de désinfection.

L'efficacité d'un traitement chimique de désinfection dépend de nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- . Le type de réactif chimique : chlore, chloramine, ozone...
- . La quantité de réactif ajouté à l'eau et actif vis à vis des micro-organismes à détruire.
- . La forme sous laquelle se trouve ce réactif (pH).
- . La vitesse de diffusion du réactif vers et à travers les micro-organismes (pH, température).
- . Le type de micro-organismes à détruire.
- . La quantité de micro-organismes à détruire.
- . Le degré de protection des micro-organismes.
- . La quantité de composés pouvant réduire l'action du désinfectant.
- . Le temps de contact organisme à détruire - désinfectant.

la relation est du type : $Ct = K^a \cdot C^b \cdot \text{tem}^c \cdot \text{pH}^d$

C = concentration en désinfectant chimique après le temps de contact t,

t = temps de contact,

K = constante qui dépend du germe à détruire,

tem = température de l'eau,

pH = pH de l'eau,

a, b, c, d, = constantes établies de façon statistique.

Ct = ce couple Ct correspond à la dose de réactif appliquée à la bactérie

Si l'on étudie tous ces paramètres, la turbidité de l'eau peut intervenir à différents niveaux.

3.2.1. Quantité de micro-organismes à détruire.

Elle dépend :

- de l'abattement désiré, par exemple pour 1 log on a Ct, pour 2 log ce sera 2 Ct, 3 Ct pour 3 log et ainsi de suite.
- de la température de l'eau. Ct est divisé par 2 chaque fois que l'on a une augmentation de température de 10°C.

La quantité initiale de germes présents dans l'eau à traiter par un réactif de désinfection chimique est très importante et influe sur la quantité de réactif à ajouter et/ou sur le temps de contact.

Un prétraitement qui permet un bon abattement de ces germes permet une meilleure efficacité de l'étape finale de désinfection. Comme pour les spores de clostridium sulfito réducteur, nous avons pu mettre en évidence une nette différence entre les usines traitant l'eau sur le principe physico-chimique et celle sur le principe biologique. Les figures 6 à 11 montrent certaines de ces relations.

figure 6
figure 12

Le tableau 1 quant à lui, donnent la totalité des relations obtenues pour les germes tests de contamination fécale ainsi que les germes aérobies revivifiables à 20 et 37°.

tableau 1

3.2.2. La protection des micro-organismes

La turbidité résiduelle de l'eau constituée essentiellement d'argile ou de matières humiques peut protéger certains micro-organismes vis à vis des oxydants ajoutés à l'eau.

La figure 12 montre en fonction de la turbidité de l'eau, le nombre de germes masqués. L'étude a été effectuée en comparant les résultats de méthodes de détection bactéries par membranes ou par milieu liquide. Ces résultats donnent une idée du pouvoir de protection de ces matières colloïdales.

3.2.3. La quantité de réactif à ajouter à l'eau afin d'obtenir un effet bactéricide.

Les expériences ont été menées sur les eaux de sources alimentant la Ville de Paris où on a pu établir une relation, turbidité de l'eau/ demande en chlore de l'eau soit, :

consommation de chlore = 0,085 turbidité + 0,191,

et une autre relation qui prend en compte l'effet protecteur et la consommation de chlore, soit :

chlore résiduel après 15 mn pour avoir un abattement de 3 log = 0,423 log turbidité - 0,512 (figures 13 et 14)

figure 13

figure 14

Si l'on étudie notamment les valeurs de coefficient A qui déterminent la pente de la courbe, on peut voir la très grande différence entre les traitements physico-chimiques dont la relation avec la turbidité est très importante car l'élimination de ces germes ne se fait que par coprécipitation avec le floc.

Dans le cas de la filtration biologique à faible vitesse, l'élimination par concurrence vitale joue un rôle important ce qui réduit la dépendance vis à vis de la turbidité résiduelle de l'eau.

A partir de ces expériences, il a été possible d'établir une relation entre Ct et la turbidité résiduelle de l'eau. Cette relation statistique permet de s'assurer de l'efficacité de ce traitement final de désinfection : $Ct = [Ct]_0 (0,4 \log \text{turbidité} + 1,5)$.

4 - CONCLUSION

L'étude que nous avons présentée montre que malgré le principal inconvénient de la turbidité qui ne renseigne absolument pas sur la taille et le type de particules prises en compte, ce paramètre est un des plus importants du traitement de l'eau. Le suivi de la turbidité et de son élimination pourra donc être un très bon critère à prendre en compte pour l'évolution d'un traitement d'eau (potabilisation d'eau de surface) et permettra de mieux préciser l'efficacité de l'étape de désinfection. En ce qui concerne le risque microbiologique, la turbidité a d'autant plus d'importance que l'on a affaire à un traitement de filtration rapide par coagulation, floculation chimique. Cela permet de mieux comprendre pourquoi l'O.N.U et l'O.M.S, lors de la décennie de l'eau, ont recommandé l'usage de la filtration biologique à faible vitesse pour l'épuration de l'eau. En effet, deux phénomènes sont pris en compte : rétention physique, concurrence vitale et l'importance de la turbidité finale est moins importante. Ces traitements peuvent être qualifiés de passifs à l'opposé de la

filtration rapide qui est un traitement actif où toute erreur humaine peut avoir de très grandes conséquences surtout lorsque les maladies d'origine parasitaire sont à craindre.

L'étape de désinfection chimique seule, si elle se justifie pour les eaux souterraines exemptées de turbidité, ne peut se suffire à elle-même pour le traitement des eaux de surfaces. Les épidémies d'origine hydrique recensées ces dernières années aux Etats Unis, ont fait modifier la législation américaine qui impose maintenant un traitement minimum des eaux de surfaces qui est : filtration - désinfection chimiques. Les fortes teneurs en chlore généralement utilisées ne suffisaient pas.

L'étude a montré que la turbidité résiduelle de l'eau jouait plusieurs rôles :

- . Réduction du nombre de germes de l'ordre de deux puissance de dix,
- . réduction de la consommation en oxydant,
- . réduction de la protection des bactéries,
- . élimination des organismes résistants ou sous des formes résistantes au chlore : parasites, spores, kystes.

- Figure 1 : Correspondance taille. Eléments présents dans les eaux.
- Figure 2 : Relation turbidité de l'eau/abattement de Giardia.
- Figure 3 : Relation turbidité de l'eau/abattement Algues.
- Figure 4 : Relation turbidité de l'eau/abattement Clostridium sulfite réducteur Traitement physico-chimique.
- Figure 5 : Relation turbidité de l'eau/abattement Clostridium sulfite réducteur Traitement biologique.
- Figure 6 : Relation turbidité de l'eau/abattement Coliforme thermotolérant : traitement Physico-chimique.
- Figure 7 : Relation turbidité de l'eau/abattement Coliforme thermotolérant : traitement Biologique.
- Figure 8 : Relation turbidité de l'eau/abattement Streptocoques fécaux : traitement Physico-chimique.
- Figure 9 : Relation turbidité de l'eau/abattement Streptocoques fécaux : traitement Biologique.
- Figure 10 : Relation turbidité de l'eau/abattement Germe aérobie revivifiable à 37°C : traitement Physico-chimique.
- Figure 11 : Relation turbidité de l'eau/abattement Germe aérobie revivifiable à 37°C : traitement Biologique.
- Figure 12 : Nombre de germes masqués en fonction de la turbidité de l'eau.
- Figure 13 : Relation demande en chlore de l'eau/turbidité.
- Figure 14 : Relation chlore résiduel nécessaire/turbidité de l'eau.

Tableau 1

RELATIONS : ABATTEMENT DE GERME TURBIDITE

Log Abattement de germes = A Turbidité + B

	A		B	
	Usine P.Chimique	Usine Biologique	Usine P.Chimique	Usine Biologique
Coliformes thermotolérants	- 11,379	- 0,71	3,584	2,31
Coliformes totaux	- 16,510	- 2,52	3,900	2,84
Streptocoques fécaux	- 11,167	- 2,435	3,427	2,447
Bactéries aérobies revivifiables à				
20° C	- 4,310	- 6,04	2,21	4,09
37° C	- 19,060	- 2,45	3,86	2,533

Figure n° 2

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT DE GIARDIA

Abattement kystes de Giardia

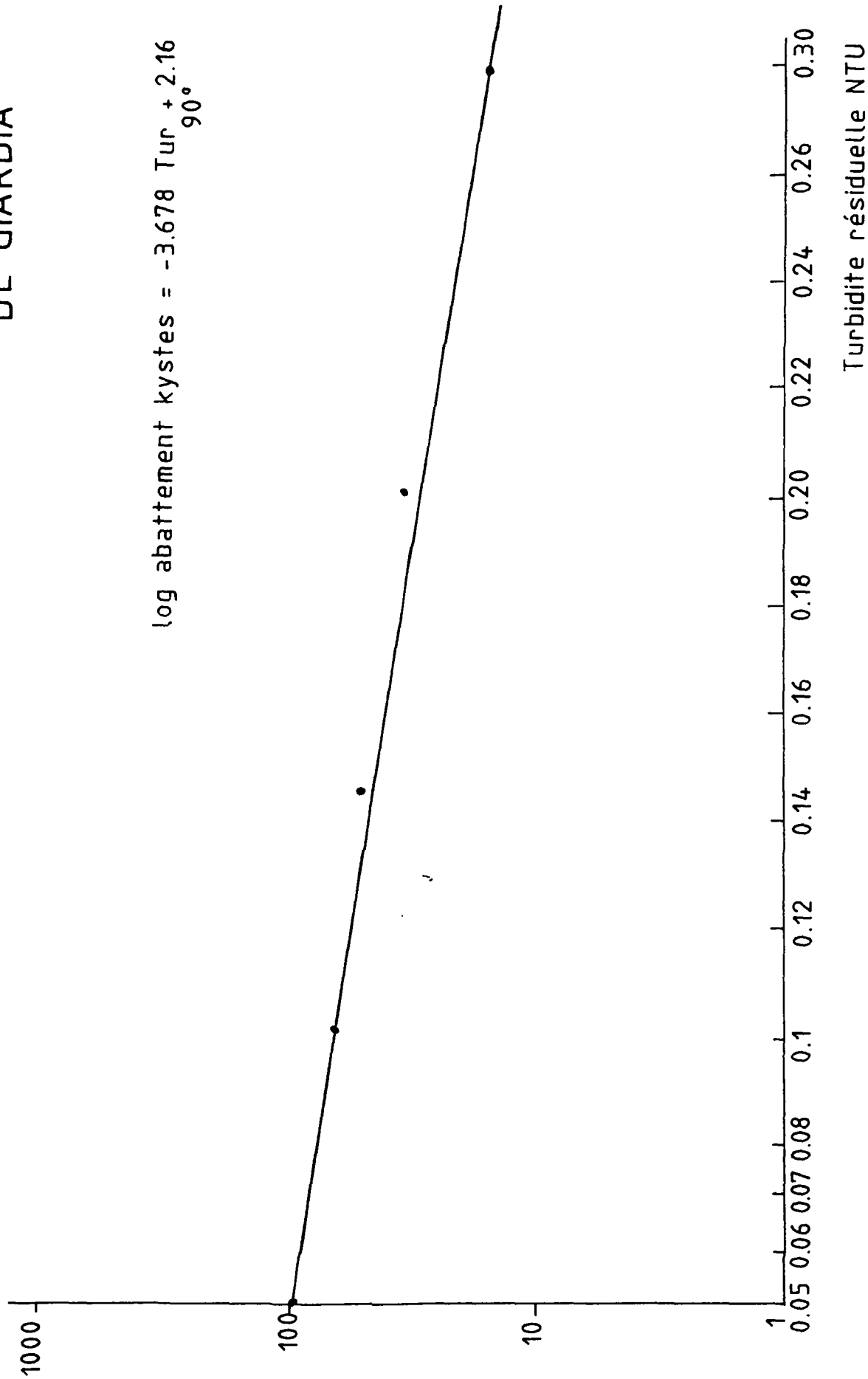


Figure n° 3

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT ALGUES

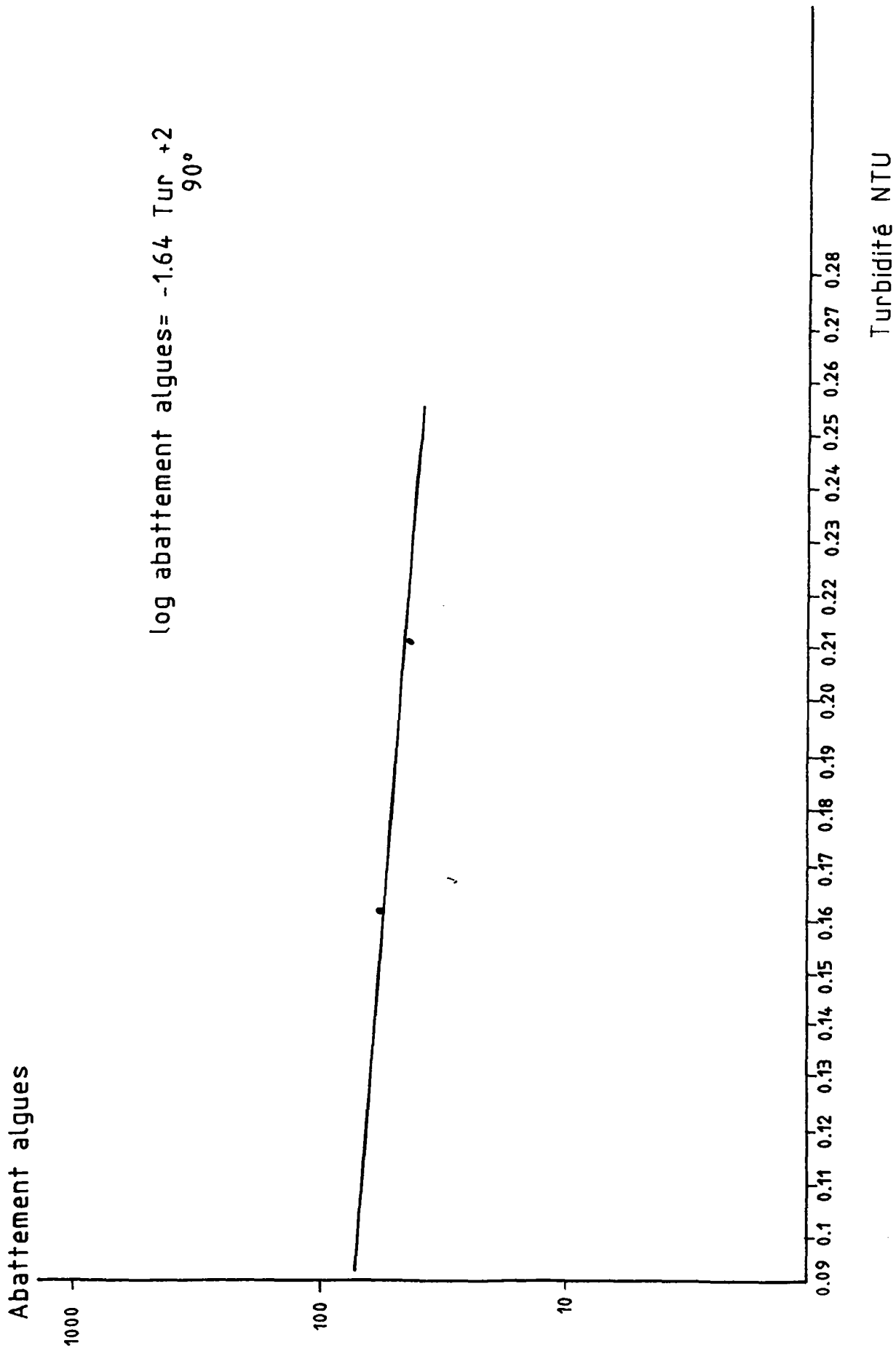


Figure n° 4

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT SULFITE RÉDUCTEUR TRAITEMENT PHYSICO-CHEMIQUE

Abattement clostridium

log abattement clostridium sulfite-réducteurs
= $5.778 \cdot \text{Tur}_{90^\circ} + 3.23$

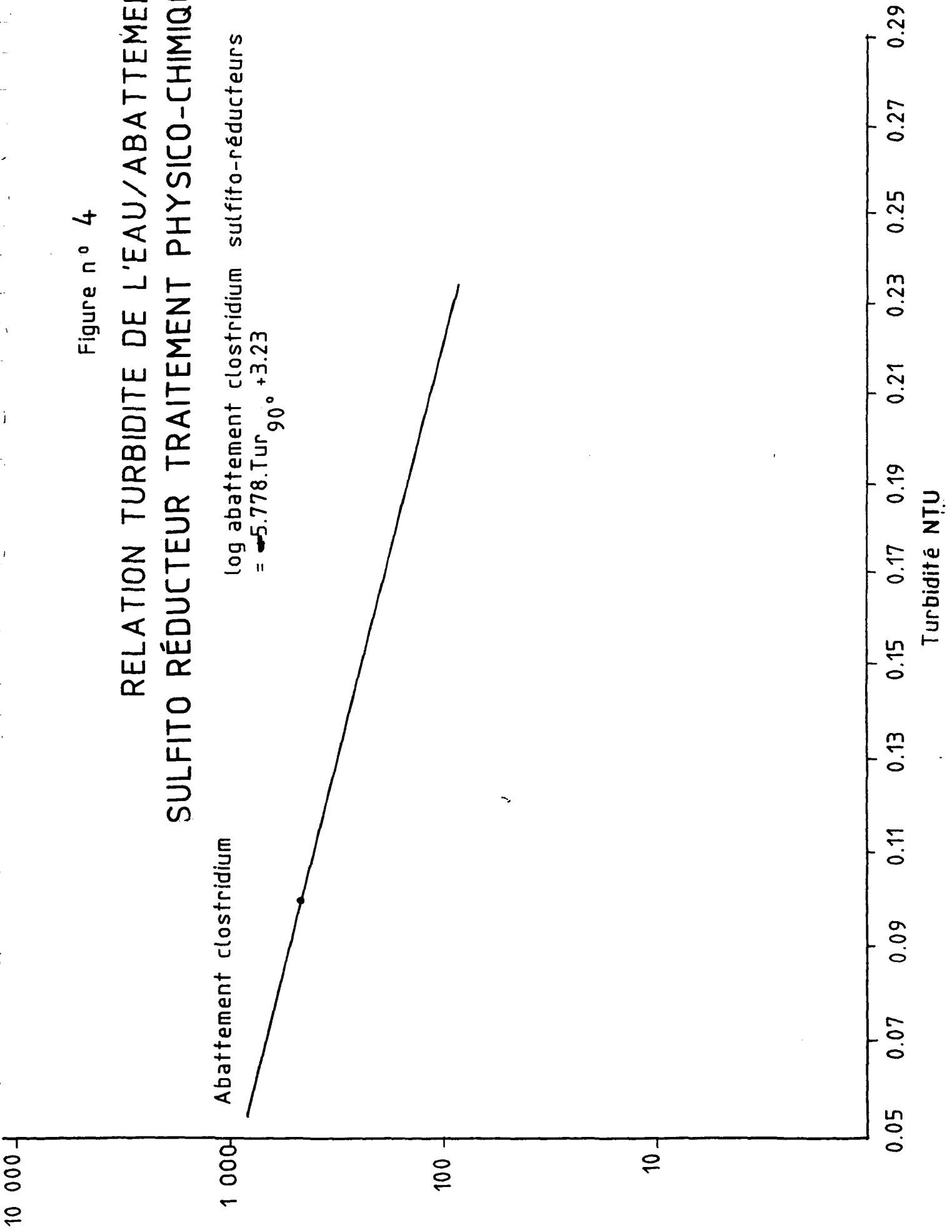


Figure n° 5

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT CLOSTRIDIUM SULFITO REDUCTEUR TRAITEMENT BIOLOGIQUE

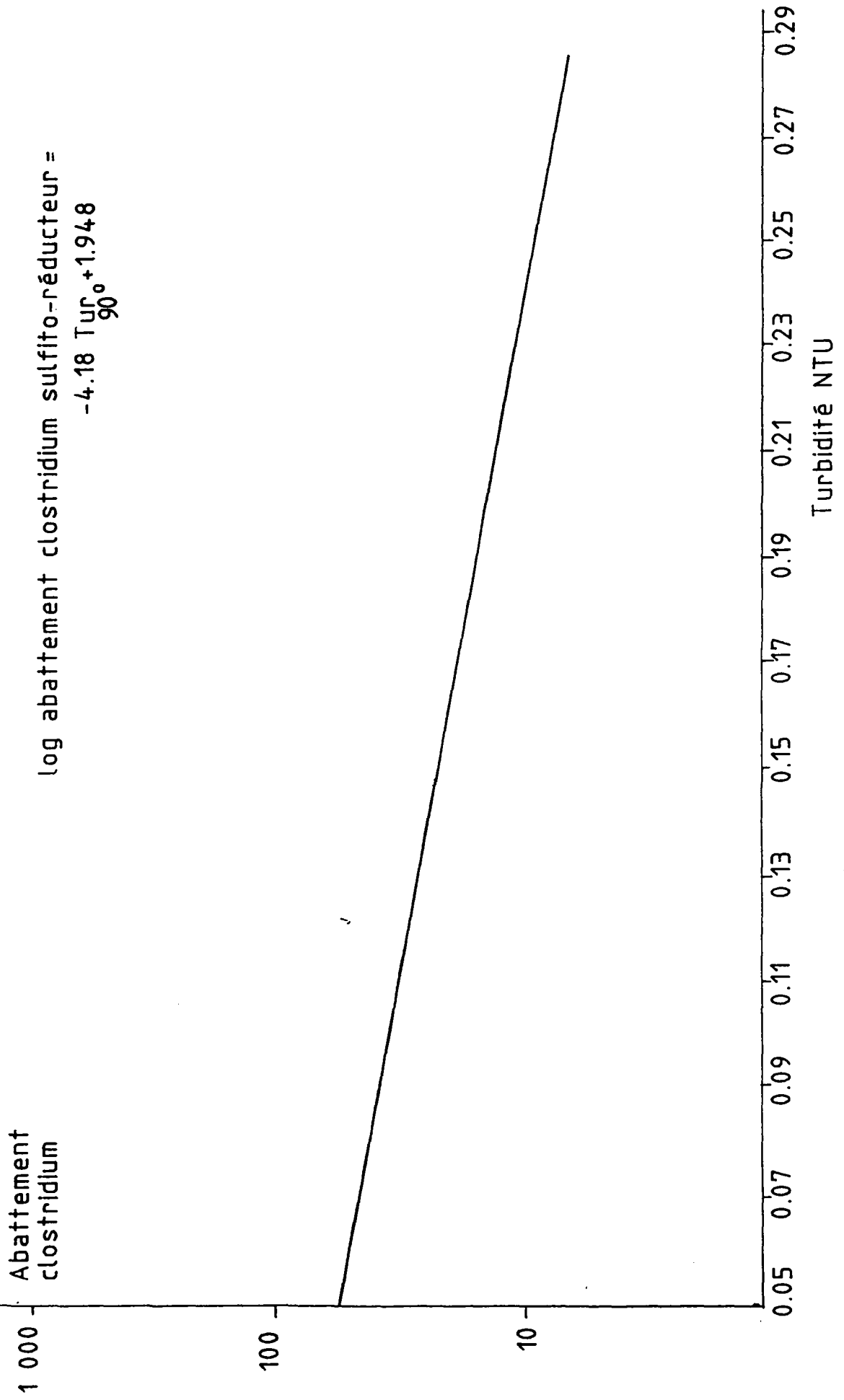


Figure n° 6

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT COLIFORME THERMOTOLERANT TRAITEMENT PHYSICO-CHEMIQUE

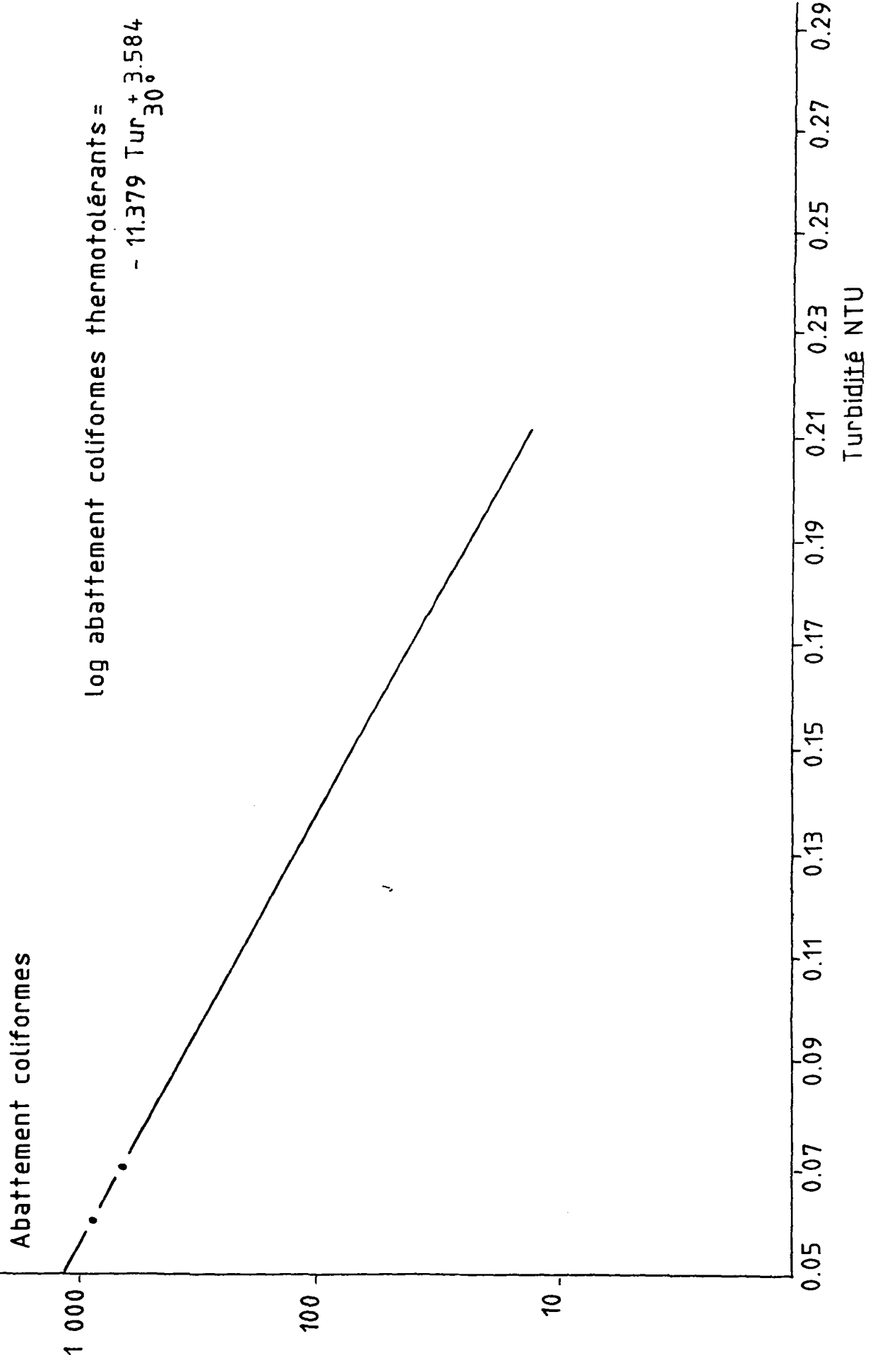


Figure n° 7

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT COLIFORME THERMOTOLERANT .TRAITEMENT BIOLOGIQUE

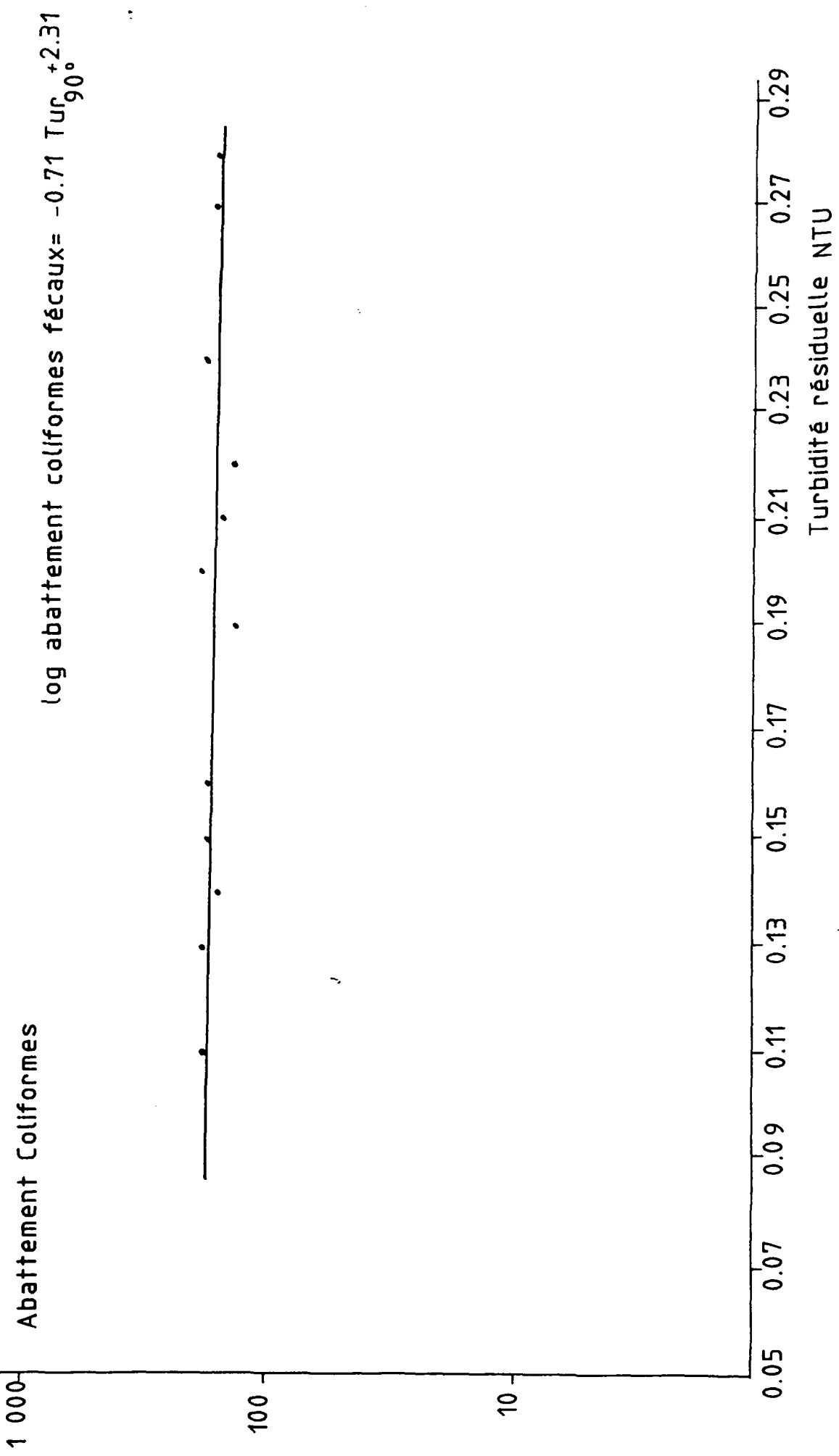
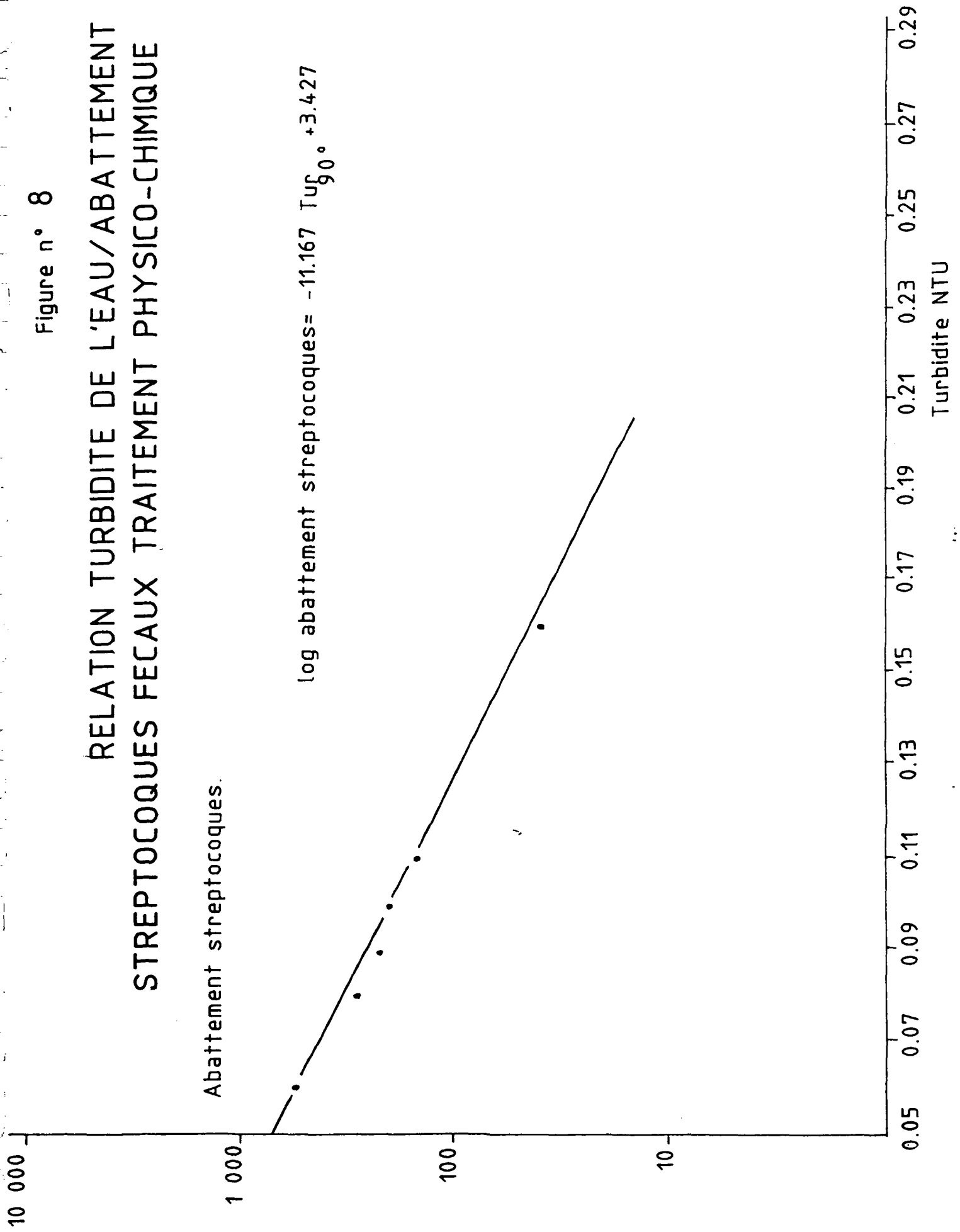


Figure n° 8

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT STREPTOCOQUES FECAUX TRAITEMENT PHYSICO-CHEMIQUE

Abattement streptocoques.

$$\log \text{abattement streptocoques} = -11.167 \text{ Turb}_0 + 3.427$$



Turbidite NTU

Figure n° 9

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT STREPTOCOQUES FECAUX TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Abattement
streptocoques

$$\log \text{abattement streptocoques} = -2.435 \text{ Tur} + 2.447 \cdot 90^\circ$$

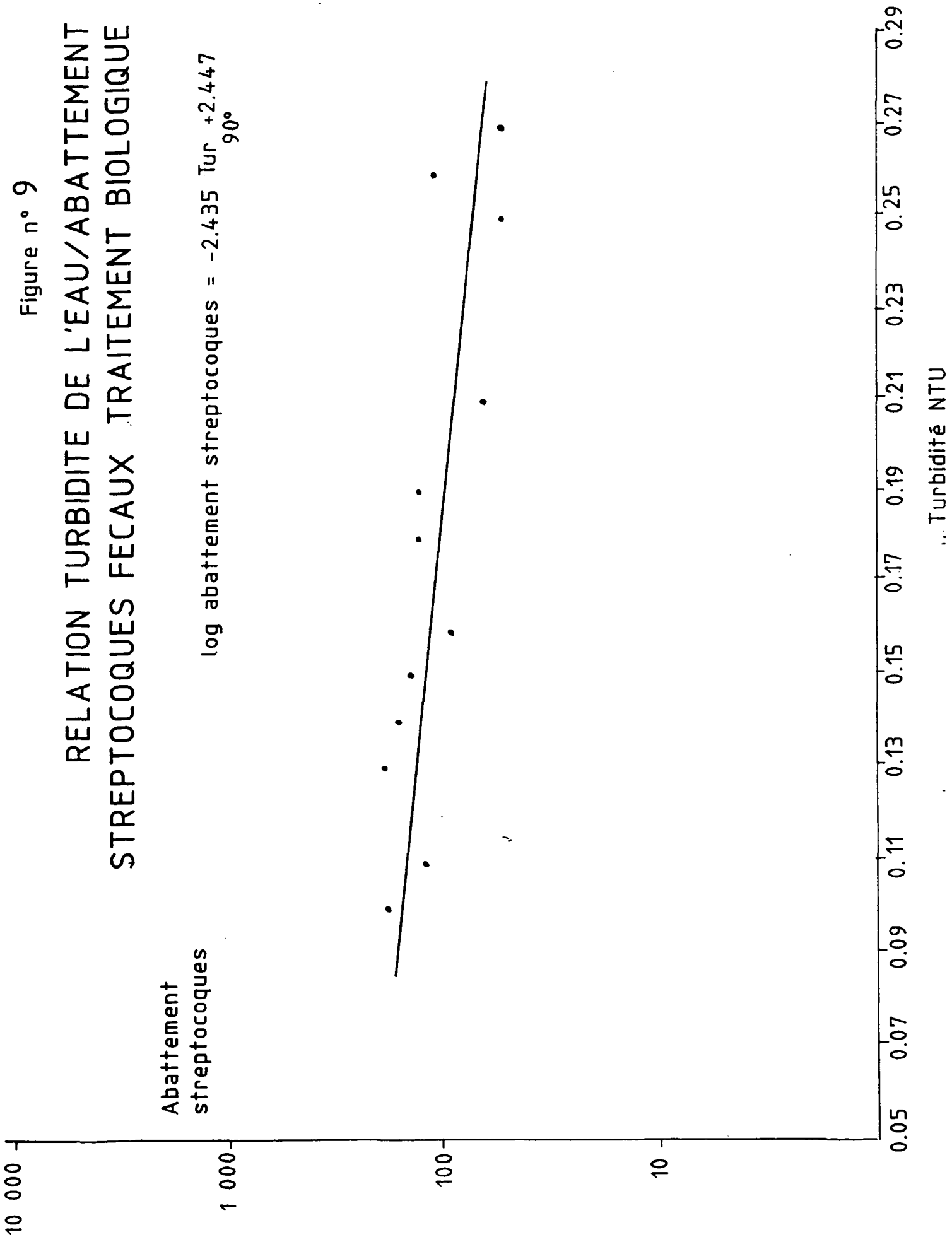


Figure n° 10

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT
GERME AEROBIE REVIVIFIABLE A 37°C
TRAITEMENT PHYSICO-CHEMIQUE

Abattement germes 37°

$$\log \text{abattement germes}_{37^\circ} = -19.06 \text{ Tur}_{90^\circ} + 3.86$$

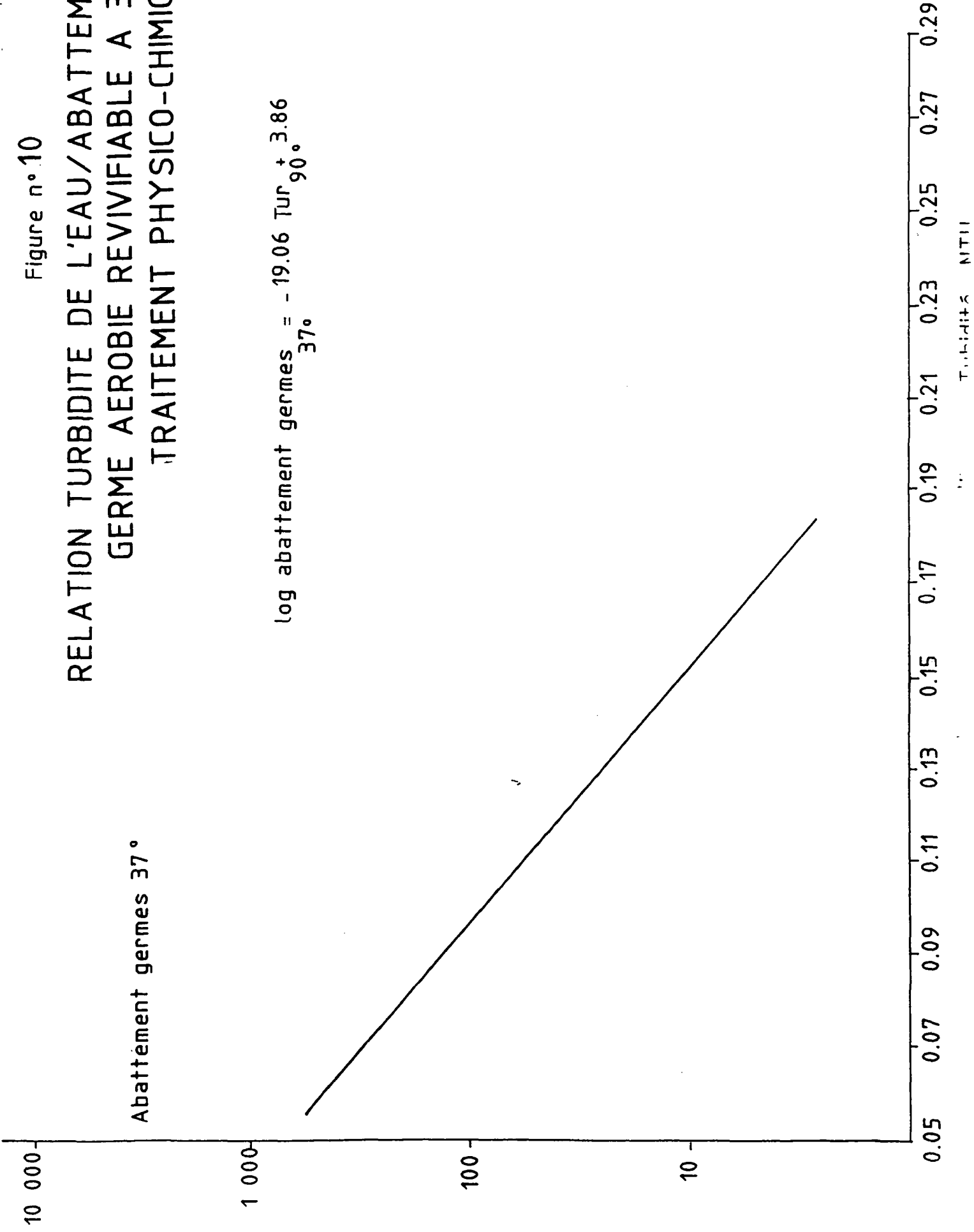
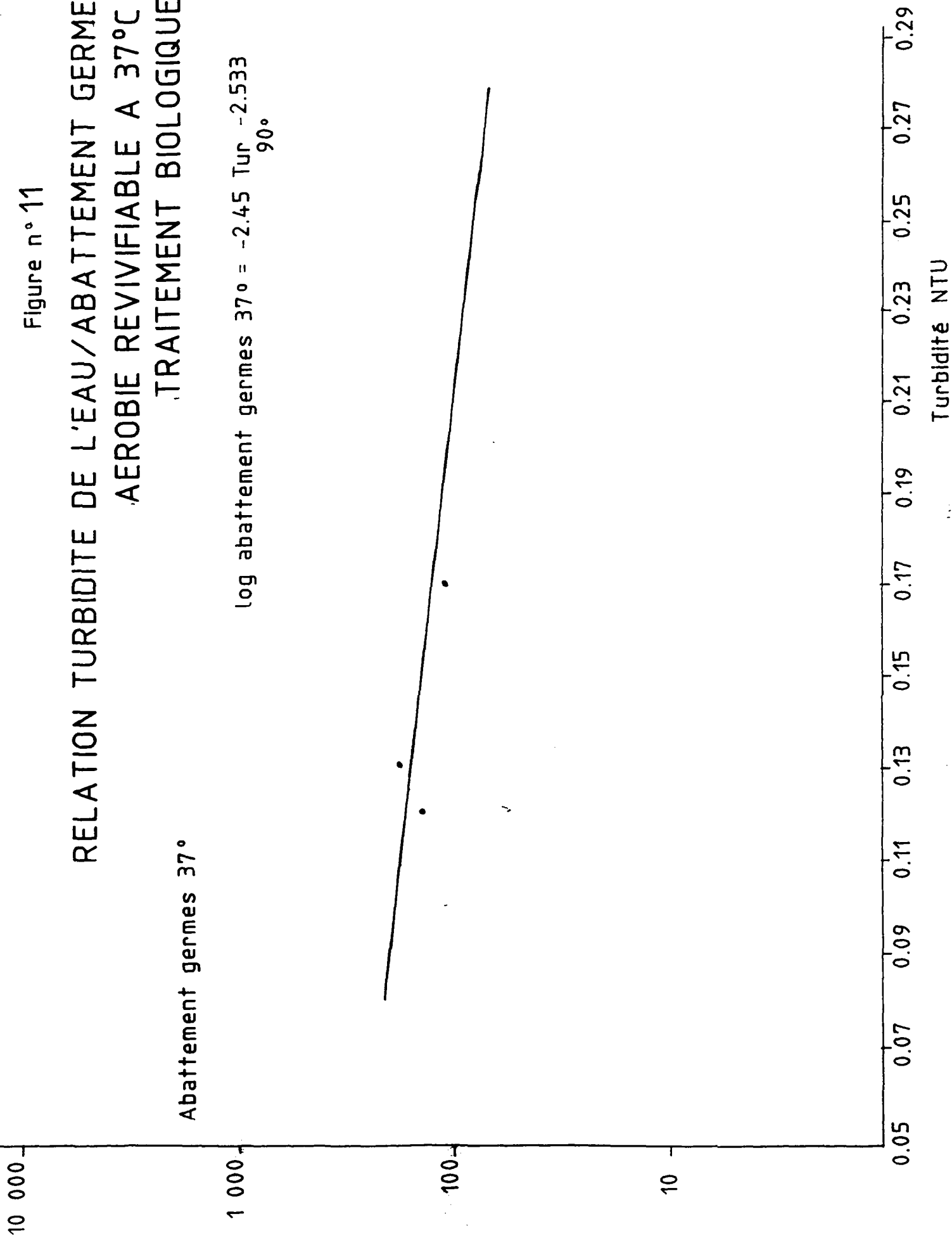


Figure n° 11

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT GERME
AEROBIE REVIVIFIABLE A 37°C
TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Abattement germes 37°

log abattement germes 37° = -2.45 Tur^{0.90°} - 2.533



Turbidite NTU

Figure n° 12

NOMBRE DE GERMES MASQUES
EN FONCTION DE LA TURBIDITE DE L'EAU

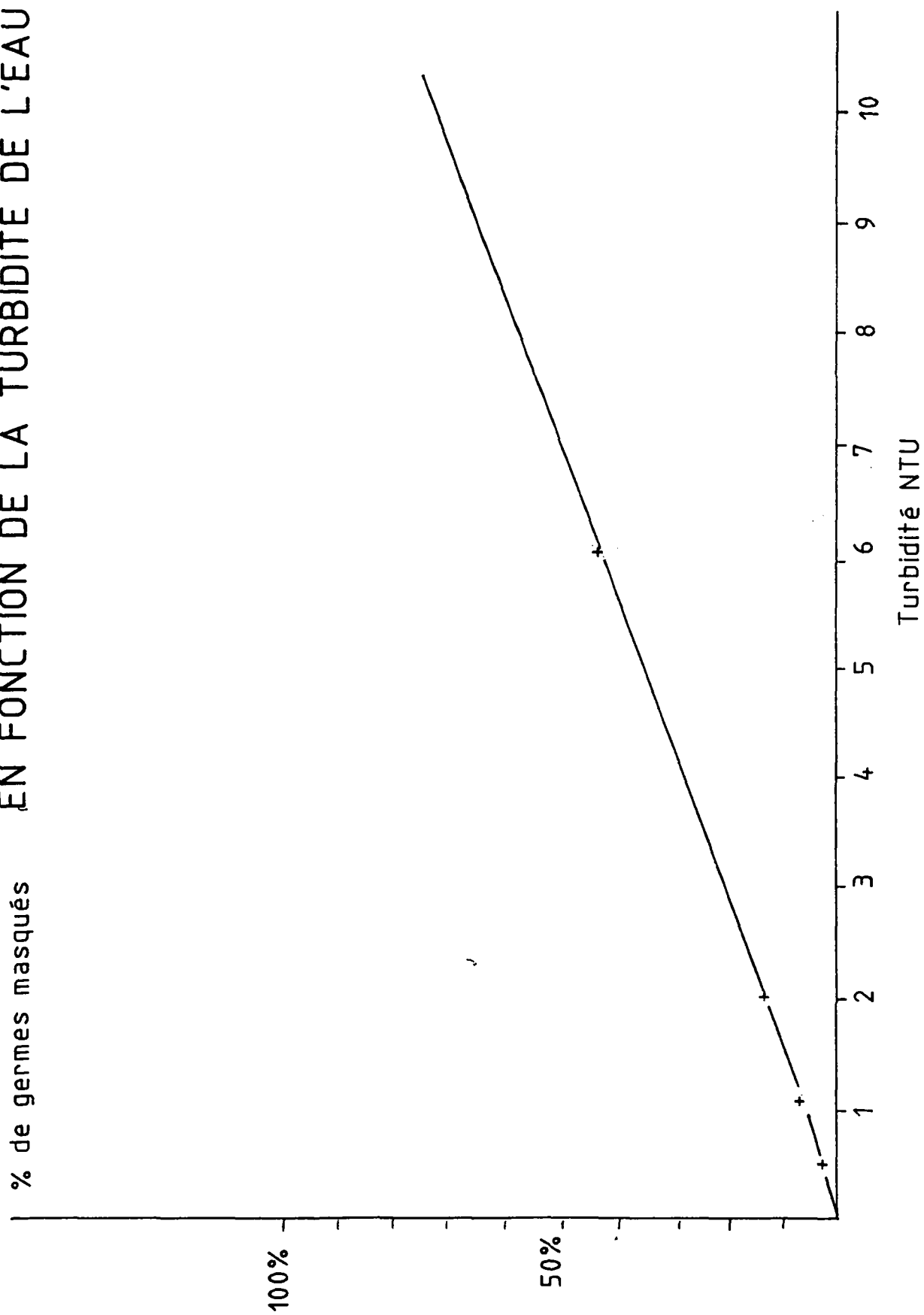


Figure n° 13

RELATION DEMANDE EN CHLORE DE L'EAU/ TURBIDITE

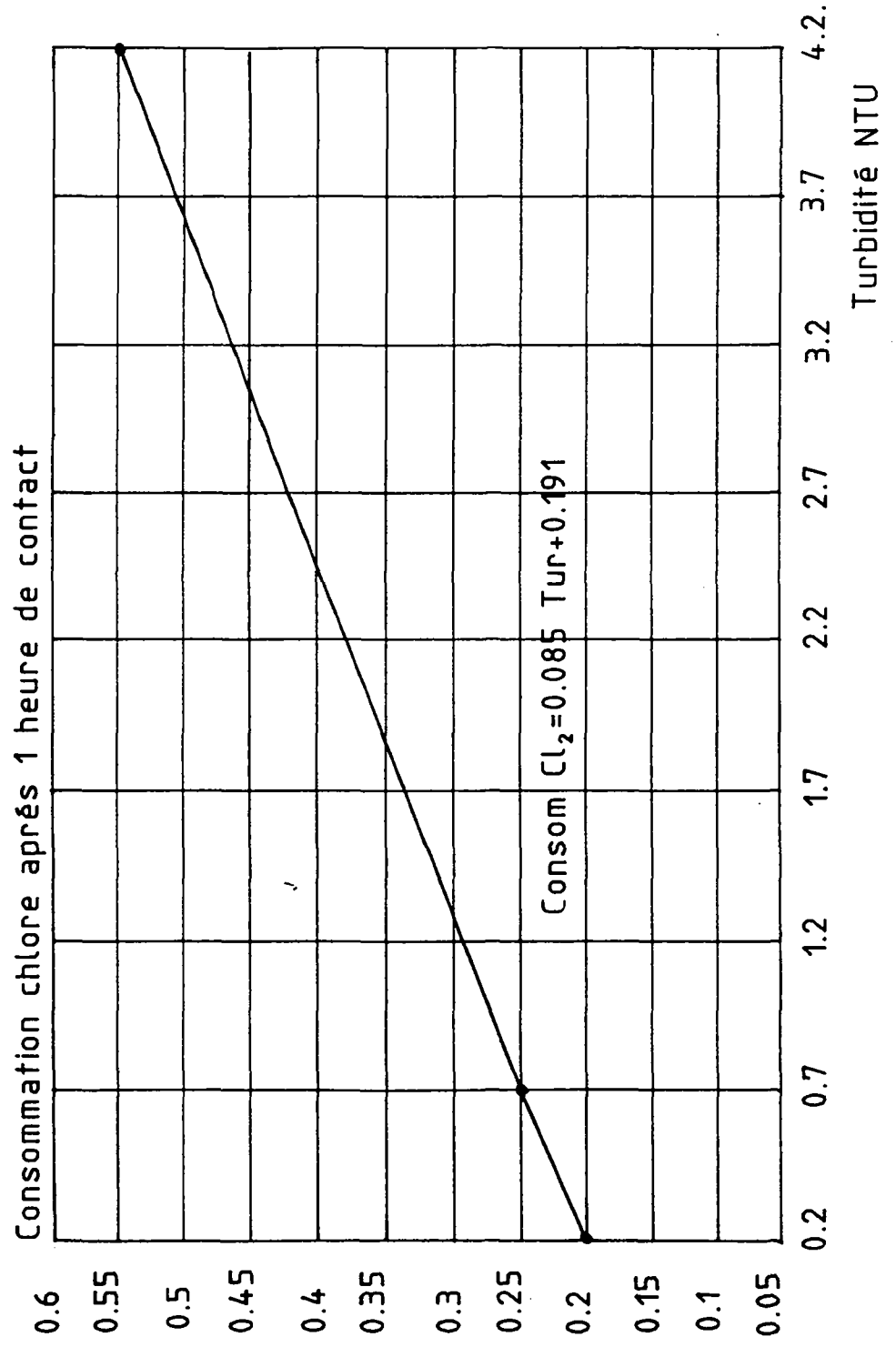


Figure n° 14

RELATION CHLORE RESIDUEL
NECESSAIRE/TURBIDITE DE L'EAU

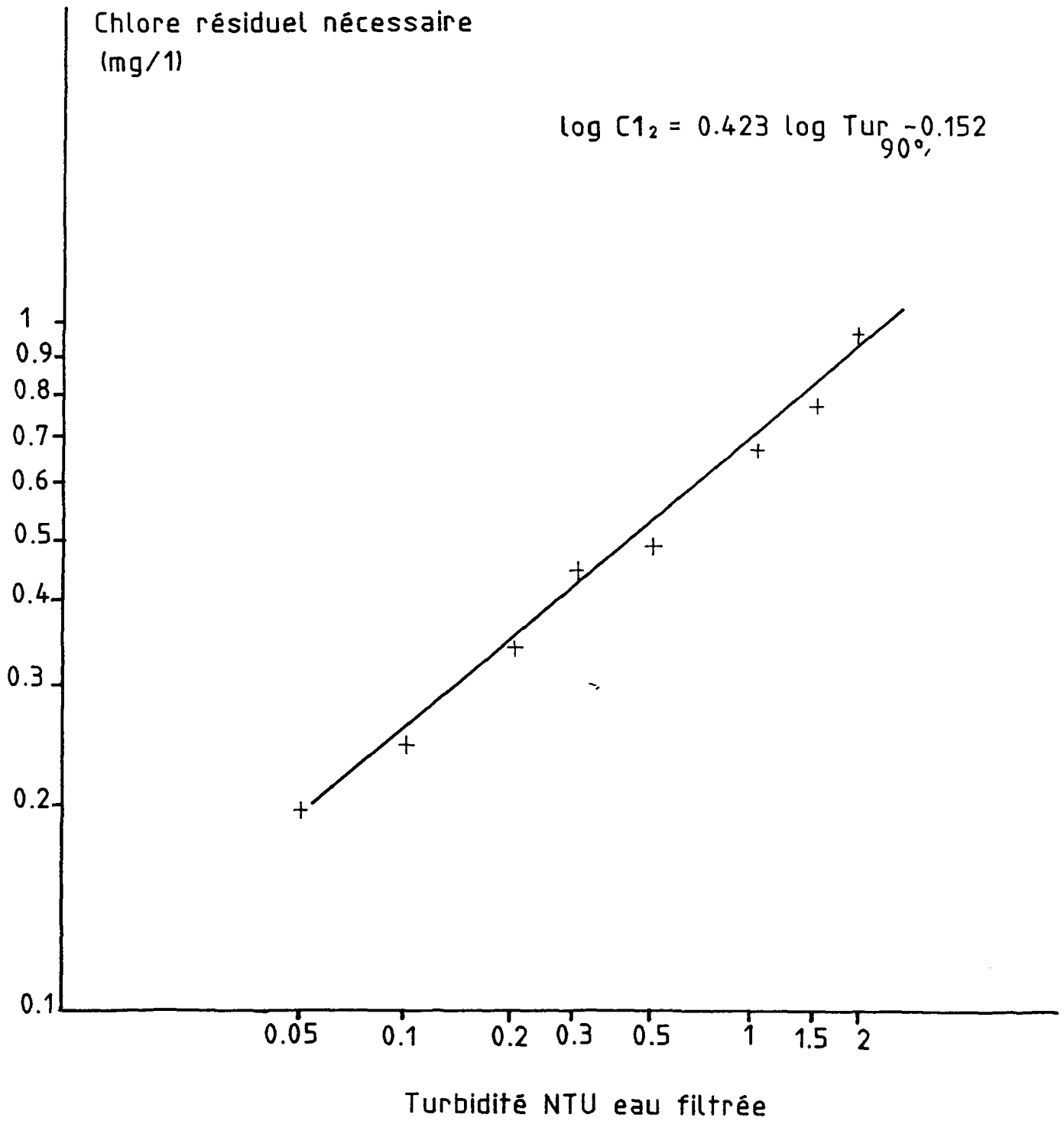


Figure n° 3

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT ALGUES

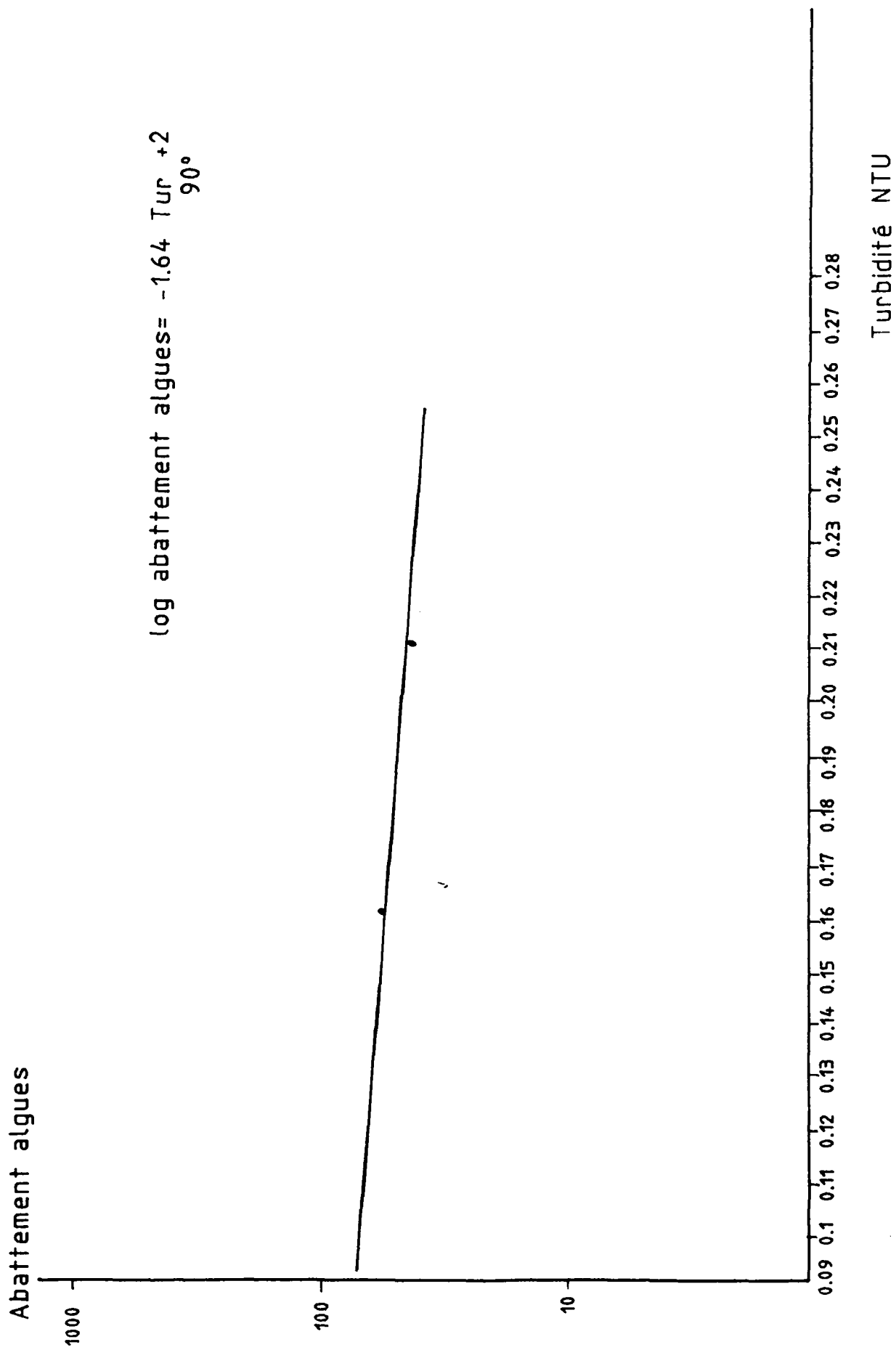
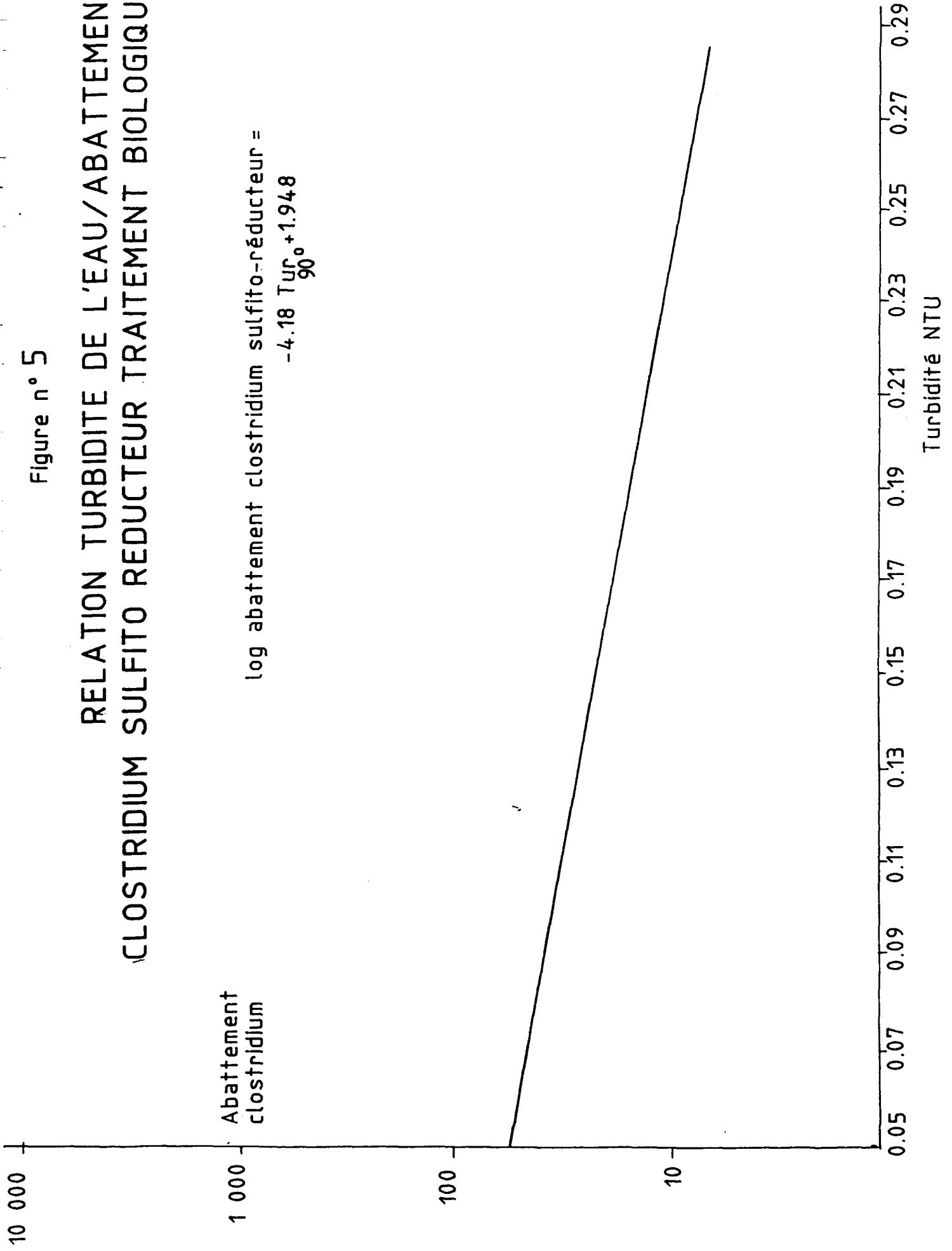


Figure n° 5

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT CLOSTRIDIUM SULFITO REDUCTEUR TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Abattement
clostridium

log abattement clostridium sulfito-réducteur =
 $-4.18 \text{ Tur}_{90^{\circ}} + 1.948$



Turbidité NTU

Figure n° 7

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT COLIFORME THERMOTOLERANT TRAITEMENT BIOLOGIQUE

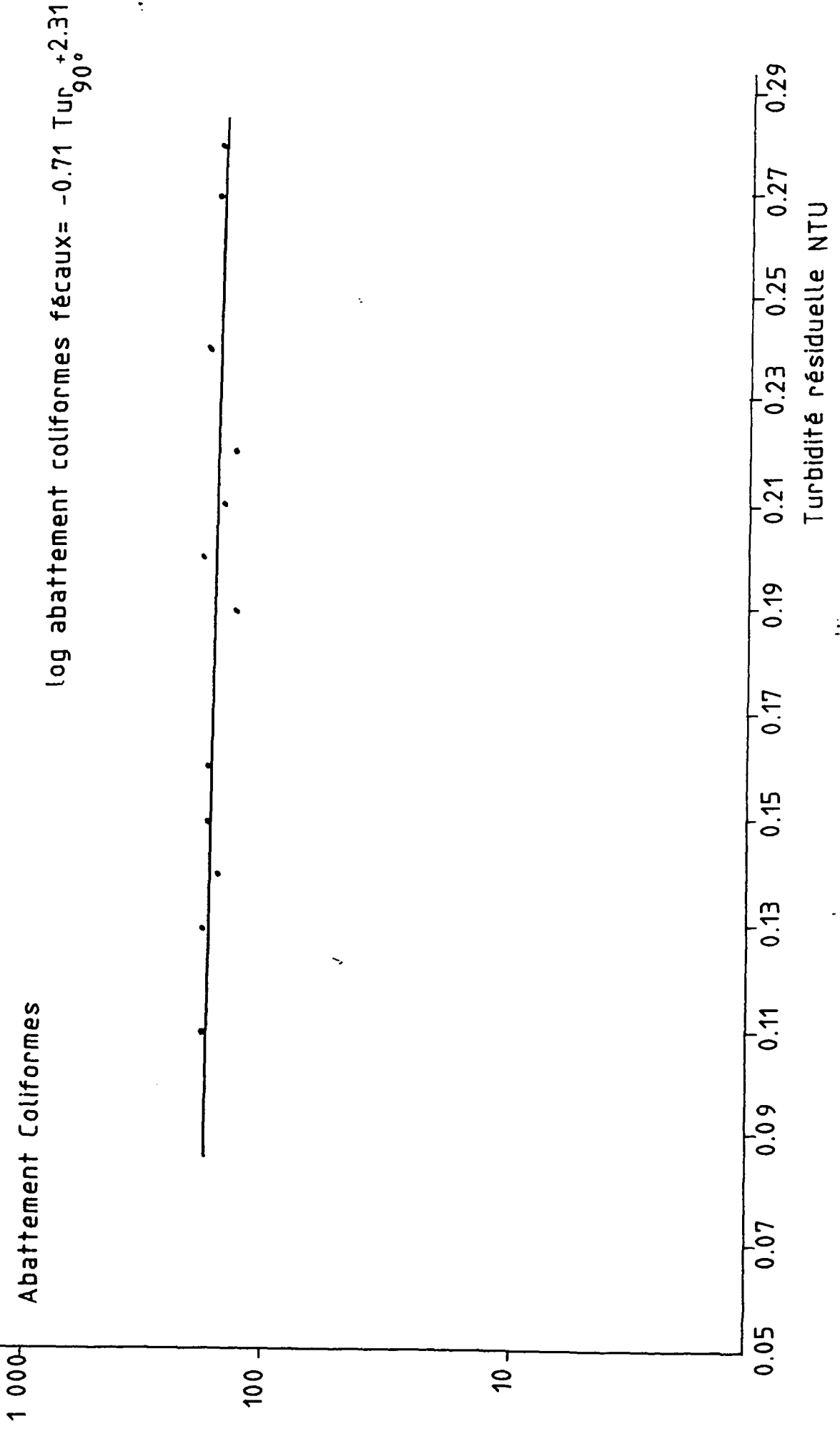
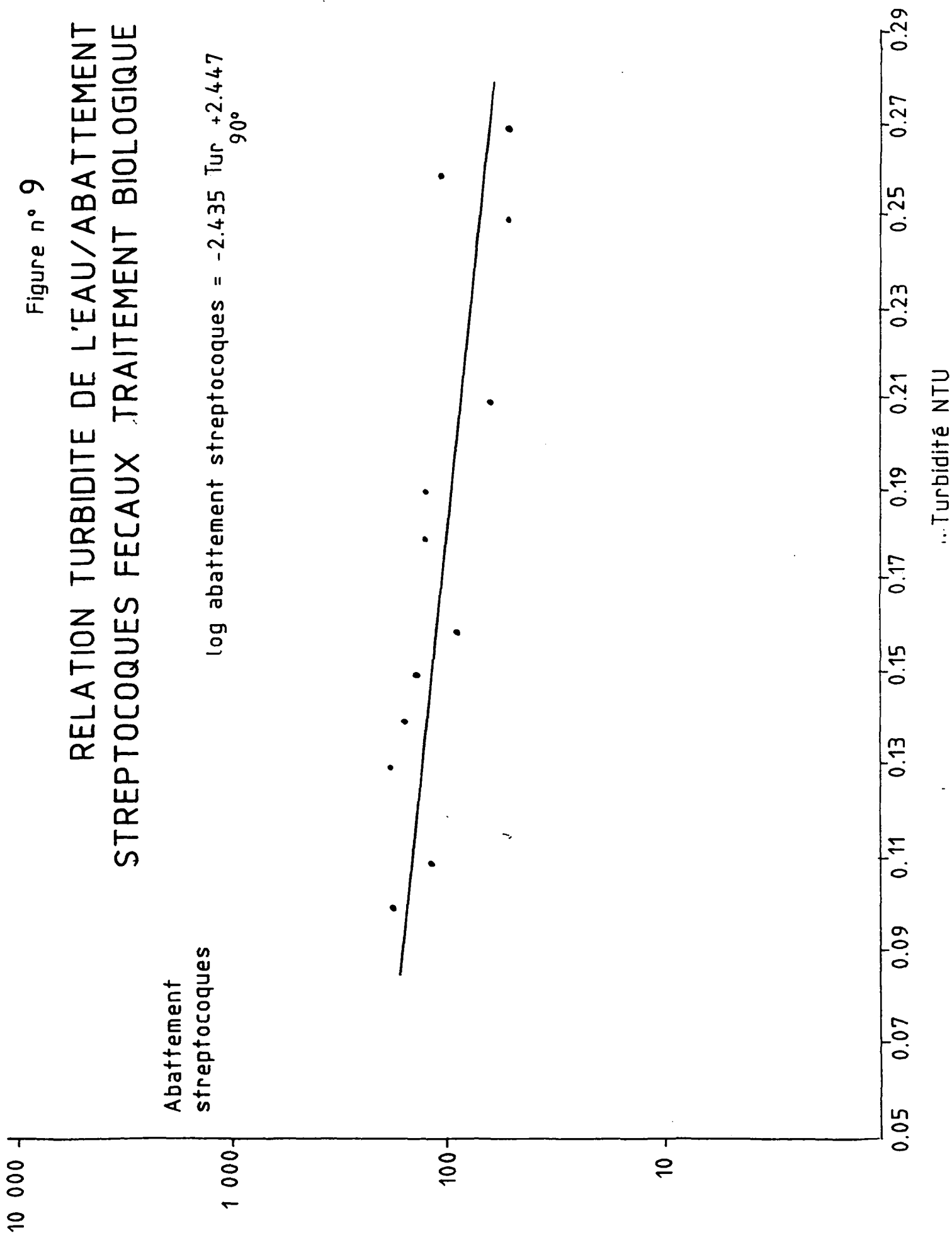


Figure n° 9

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT STREPTOCOQUES FECAUX TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Abattement
streptocoques

log abattement streptocoques = -2.435 Tur + 2.447
90°



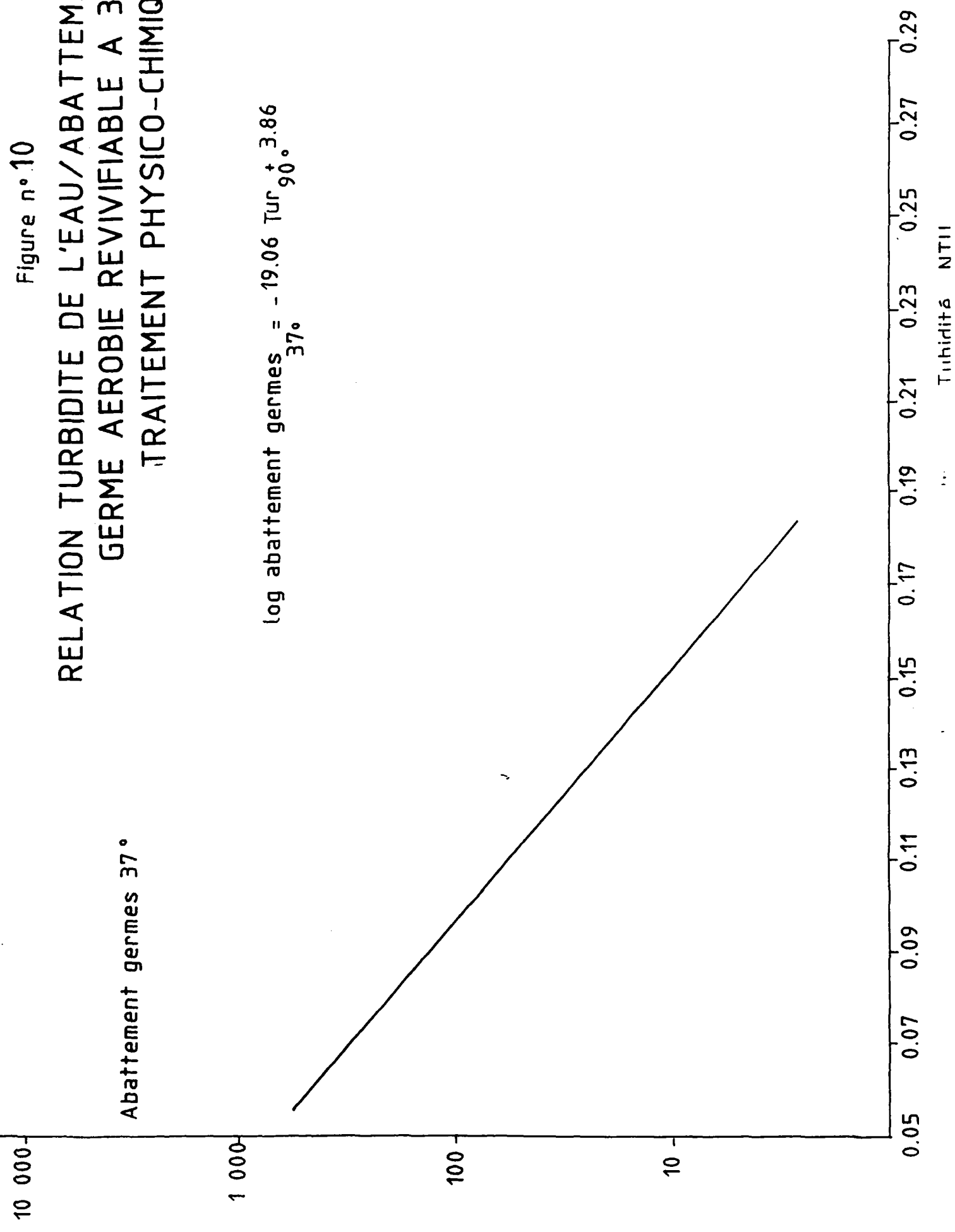
...Turbidité NTU

Figure n° 10

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT GERME AEROBIE REVIVIFIABLE A 37°C TRAITEMENT PHYSICO-CHEMIQUE

Abattement germes 37°

$$\log \text{abattement germes}_{37^\circ} = -19.06 \text{ Tur} + 3.86$$



Turbidité NTU

Figure n° 11

RELATION TURBIDITE DE L'EAU/ABATTEMENT GERME
AEROBIE REVIVIFIABLE A 37°C
TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Abattement germes 37°

log abattement germes 37° = -2.45 Tur^{-2.533}_{90°}

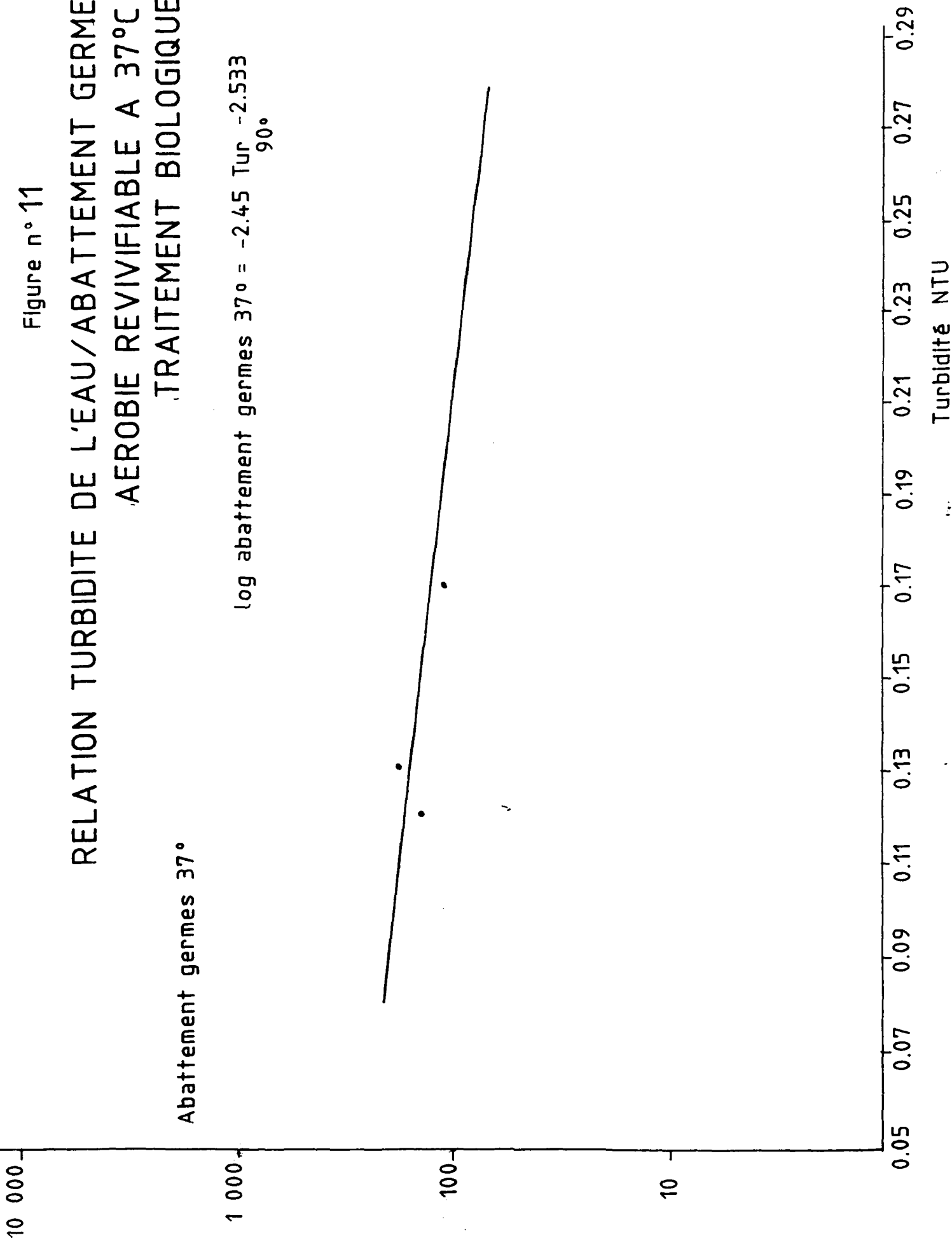


Figure n° 12

NOMBRE DE GERMES MASQUES
EN FONCTION DE LA TURBIDITE DE L'EAU

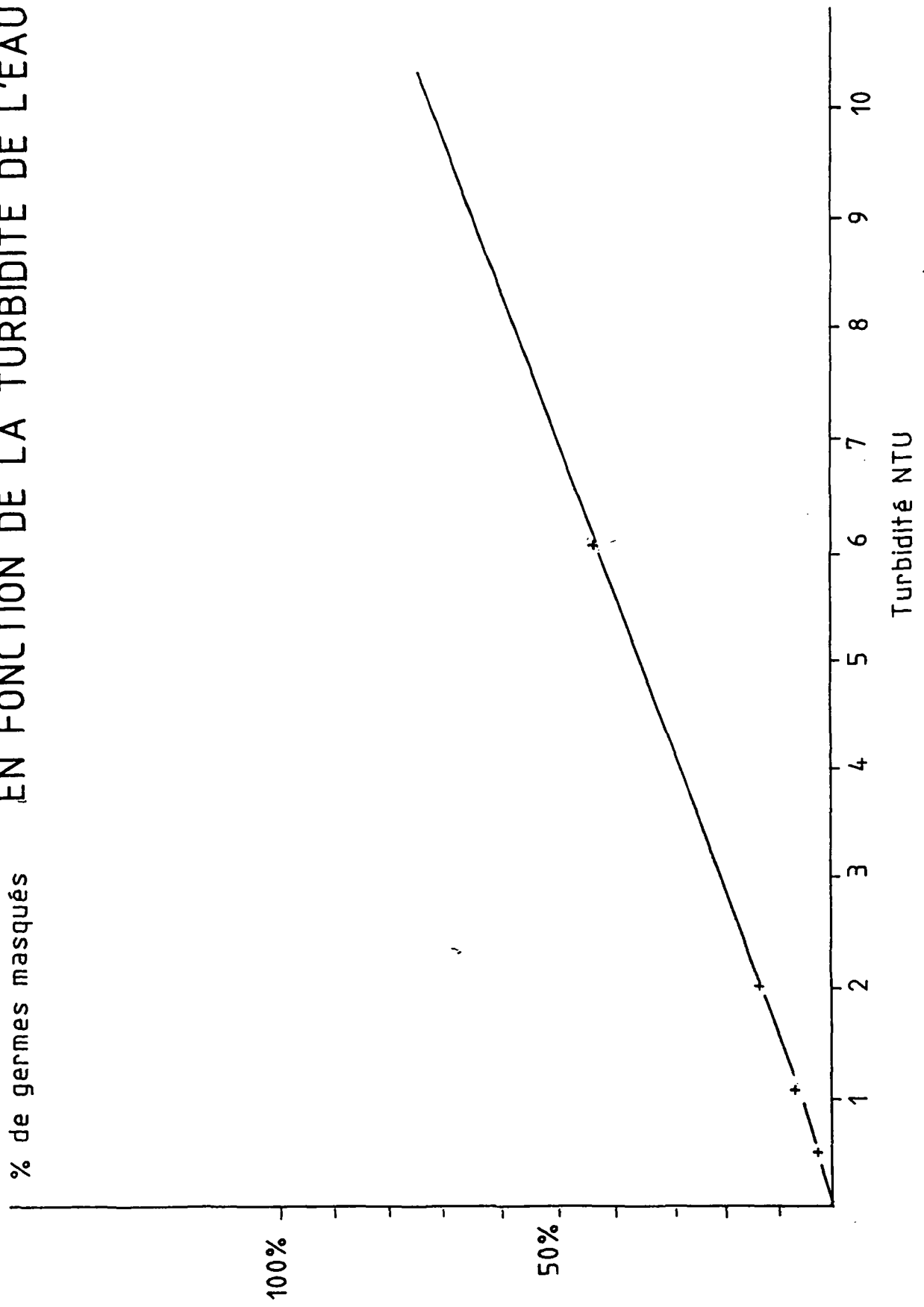


Figure n° 13

RELATION DEMANDE EN CHLORE DE L'EAU/TURBIDITE

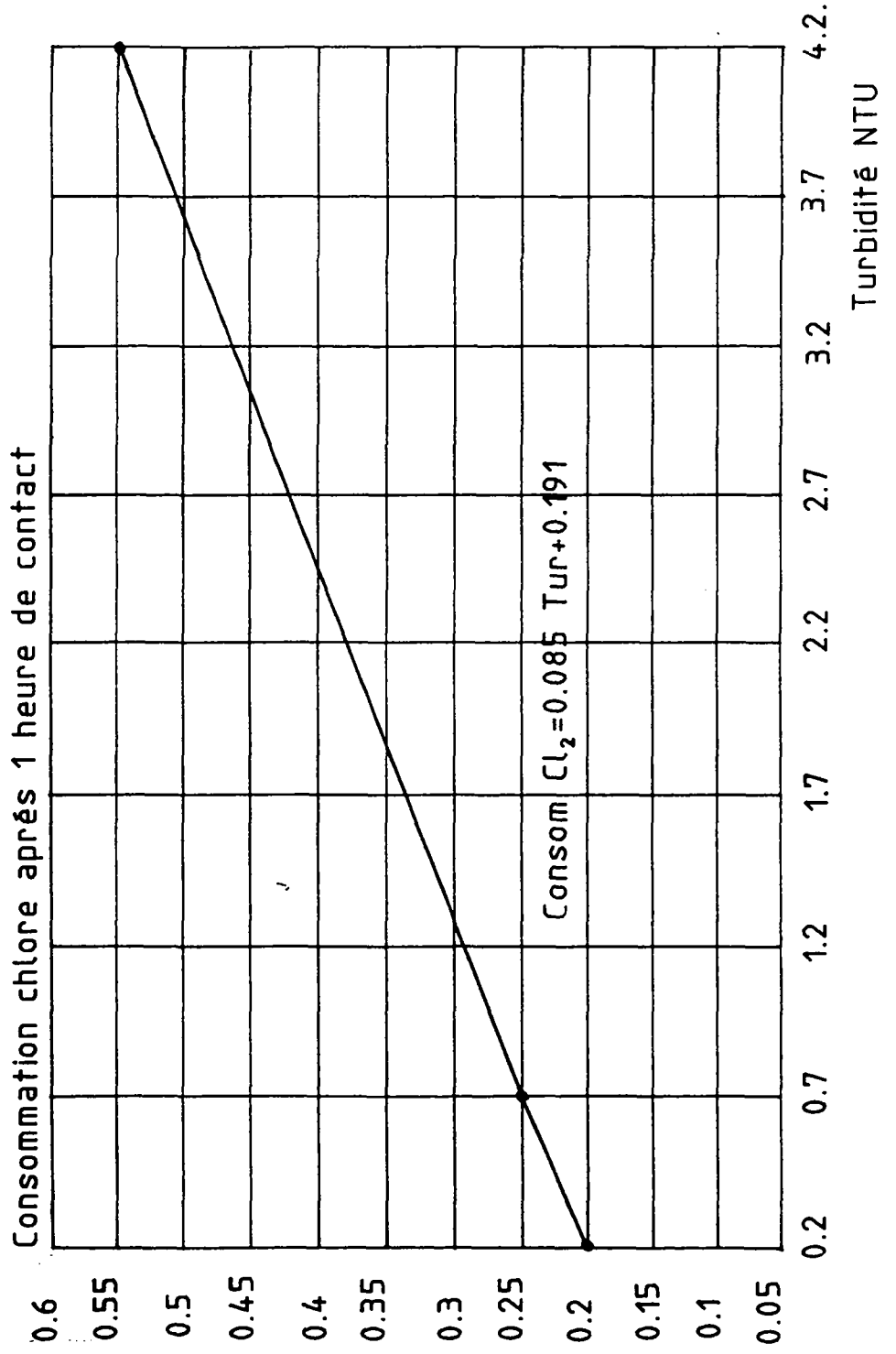


Figure n° 14

RELATION CHLORE RESIDUEL
NECESSAIRE/TURBIDITE DE L'EAU

