
241.4 88IM

LIBRARY
INTERNATIONAL REFERENCE CENTER
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND ENGINEERING

IMPORTANCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU

Première partie : mesures et équivalences

A. MONTIEL - B. WELTE

Mission Qualité

La participation en France du décret concernant les eaux destinées à la consommation humaine, qui reprend la directive des Communautés Européennes du 15 juillet 1980, a fait apparaître de très nombreux nouveaux paramètres. Ces nouveaux paramètres concernent essentiellement les micropolluants organiques et minéraux, qui ont un grand impact médiatique. De ce fait, dans l'esprit de beaucoup de personnes, ils ont eu tendance à faire oublier l'importance de quelques paramètres simples qui paraissent même dans certains cas sans importance.

Sans vouloir minimiser ces micropolluants, il nous paraît indispensable de rétablir l'importance de quelques paramètres dont la turbidité. Il faut rappeler que les premières normes de potabilité étaient : une eau potable doit être limpide, sans odeur, sans saveur, sans couleur.

241.4.88JM-7878

En effet, dans les discussions préparatoires de Bruxelles concernant cette directive, il semble que la turbidité de l'eau ait été négligée. Il faut dire à la décharge des experts nationaux présents qu'autour de la table personne ne parlait de la même chose. En effet, la turbidité de l'eau peut être mesurée et exprimée de façons très différentes.

Dans cet article, nous nous attacherons d'une part à définir la mesure de la turbidité, ainsi que les différents équivalents, d'autre part nous essaierons de montrer l'importance de ce paramètre et toutes les déductions que l'on peut en tirer d'autant plus qu'il est très facilement mesurable, surtout en continu.

I - MESURE DE LA TURBIDITE DE L'EAU

Une eau trouble, turbide est une eau qui contient soit des particules en suspension, soit des matières colloïdales organiques ou minérales. Ce sont des argiles, des limons, des matières organiques : acides fulviques, acides humiques, protéines, des micro-organismes : bactéries...

La mesure de la perte de transparence de l'eau correspond à la mesure de la turbidité de l'eau. Cette mesure peut être effectuée de plusieurs façons. La mesure peut être effectuée de façon visuelle ou à l'aide d'un appareil à cellules.

I.1 - Evaluation visuelle de la turbidité de l'eau

I.1.2 - Mesure à l'aide du tube :

Le système est constitué d'un tube de verre ayant une longueur de 1,20 m à 1,50 m, de diamètre intérieur de 25 mm et gradué en centimètres. Ce tube est bouché par un bouchon dont la partie en contact avec l'eau est blanche avec une croix noire dessinée.

Le principe de la mesure consiste à remplir le tube d'eau jusqu'à disparition de la croix noire ou d'une anse de platine brillant. On donne ensuite la mesure de la limpidité de l'eau exprimée en centimètres.

ISBN 7070

241.4 881M

D'autres variantes peuvent encore exister :

Le tube est protégé par une enveloppe de la lumière latérale. Il n'est éclairé que par le fond où l'on a dessiné une croix noire.

Un des premiers "turbidimètres" consistait en un tube du même type que celui décrit précédemment, mais on regardait la lumière d'une bougie dont la composition était définie : la bougie de Jackson qui a conduit aux unités Jackson.

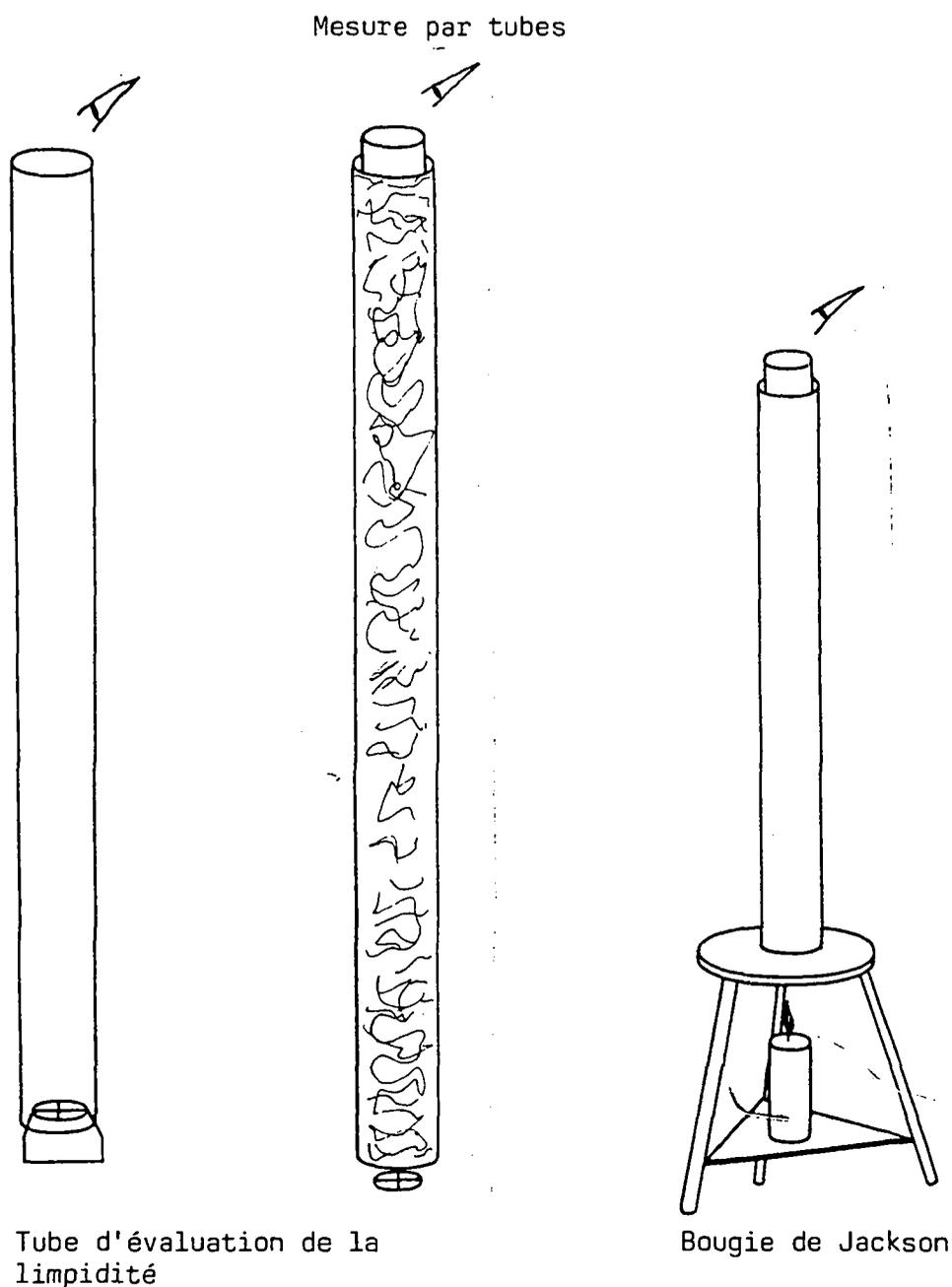
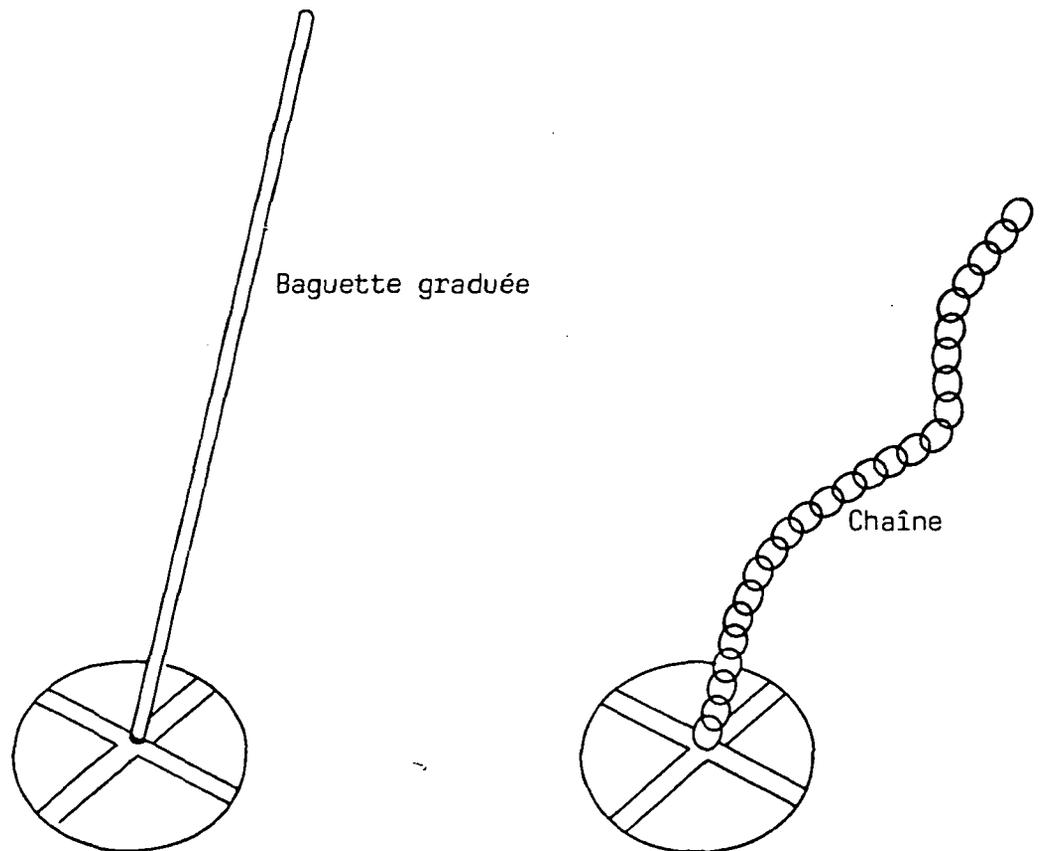


Figure n° 1 : observation visuelle de la turbidité.

I.1.2 - Mesure à l'aide d'un disque :

L'appareillage comprend un disque lourd blanc ou noir, relié par exemple à une chaîne ou une baguette : disque de SECCHI. Le principe de la méthode de mesure consiste à immerger le disque jusqu'à ce qu'il ne devienne plus visible. On donne ensuite les résultats en mètres. Certains auteurs ont montré qu'un disque noir donnait de meilleurs résultats qu'un disque blanc. Dans ce système de mesure, l'éclairage joue un rôle très important.



Disques blancs avec ou sans croix noire ou disques noirs.

Figure n° 2 : mesure visuelle de la turbidité
disque de Secchi

I.1.3 - Mesure pour la méthode de Diemert :

L'appareillage comprend deux cuves de 50 ml traversées par un faisceau lumineux. L'une est remplie d'eau dont on veut connaître la turbidité, l'autre est remplie d'une eau de référence, non turbide. Le principe de la mesure consiste à troubler l'eau de référence par ajout d'une solution alcoolique de mastic végétal à 1 g/l jusqu'à obtention d'une opalescence comparable à celle produite par le faisceau lumineux à travers l'eau sans analyse. Le nombre de gouttes de mastic ajoutées indique la turbidité.

Certains appareils dérivent de ce principe, la cuve de référence est remplacée par un verre plus ou moins dépoli que l'on a étalonné en gouttes de mastic. Là encore, on apprécie visuellement le trouble de l'eau soumise à analyse : appareil Dratz - Gomella.

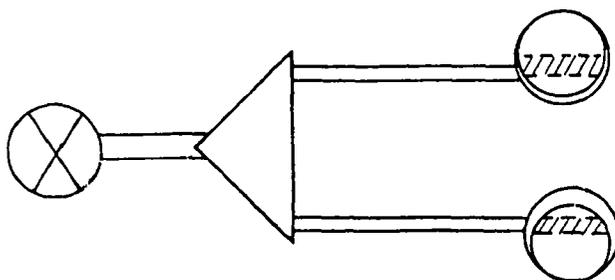


Figure n° 3 : mesure visuelle de la turbidité.
appareil de Dienert et Guillerd.

I.2 - Méthode de mesure instrumentale de la turbidité de l'eau

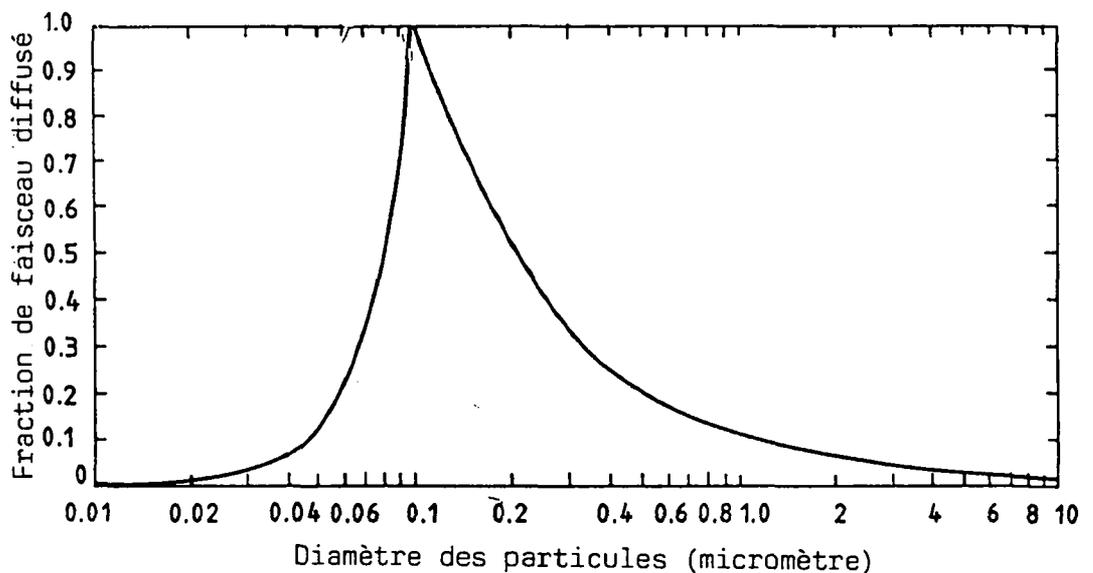
L'eau soumise à l'analyse est introduite dans une cuve traversée par un faisceau lumineux. On mesure alors soit la lumière transmise, soit la lumière diffusée par l'échantillon d'eau. L'évolution de la turbidité se fait ensuite par comparaison avec une gamme étalon constituée d'une substance qui donne une turbidité.

La mesure de la lumière transmise (absorptiométrie) est significative pour les eaux de turbidité visible à l'oeil nu (eaux de surface, eaux usées) et pour les eaux de faible turbidité mais contenant des substances qui ne diffusent pas, mais absorbent à la longueur d'onde d'analyse.

Par exemple, les molécules polyaromatiques à 254 nm, on les trace de particules de charbon actif en poudre dans le spectre du visible. Nous voyons ici l'importance de la longueur d'onde de la lumière émise.

La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'oeil nu (eaux de consommation). Cette mesure peut être effectuée à 90 ° mais aussi à un autre angle. Certains appareils du commerce effectuent par exemple cette mesure à 25 °.

La mesure de la lumière transmise ou diffusée est effectuée par une cellule photoélectrique.



La figure n° 4 montre la relation qui existe entre le diamètre des particules contenues dans l'eau et la diffusion de la lumière. Dans le cas de la figure, la longueur d'onde de la lumière était de 0,45 μm (lumière bleue).

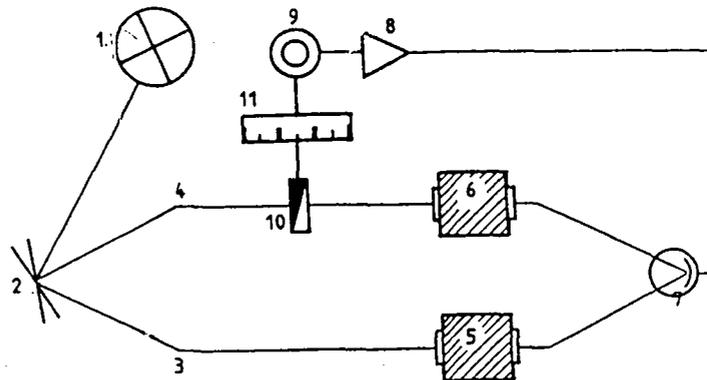
Pour les petites particules, la diffusion est proportionnelle au cube du diamètre :

$$\text{Effet Rayleigh } I = I_0 \frac{e^{-k} d^3}{\lambda^4} \quad \begin{array}{l} d = \text{diamètre de la particule} \\ \lambda = \text{longueur d'onde de la lumière} \end{array}$$

Pour les grosses particules, la diffusion est proportionnelle à l'inverse du diamètre (réflexion et diffraction).

I.2.1 - Mesure de la diffusion - Importance de la longueur d'onde de la lumière incidente et de l'angle d'observation :

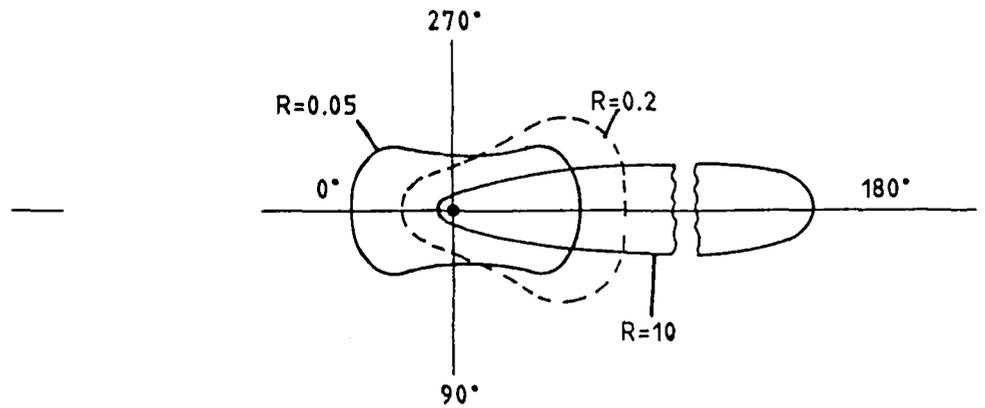
Comme nous ne traitons ici que la mesure de la turbidité dans les eaux destinées à la consommation humaine, nous ne nous intéresserons qu'à la mesure de la lumière diffusée.



1. Source de lumière blanche
2. Miroir oscillant
3. Faisceau mesure
4. Faisceau référence
5. Cellule de mesure
6. Cellule de référence
7. Diode à gaz
8. Amplificateur
9. Moteur d'asservissement
10. Diaphragme
11. Tambour gradué

Figure n° 5 : mesure instrumentale de la turbidité.
(principe général)

Selon les dimensions de la particule colloïdale, une partie de l'énergie émise par la source lumineuse est dispersée. Il n'y a diffusion par réflexion que si le diamètre des particules est supérieur ou égal à $\lambda/20$ (λ = longueur d'onde de la lumière émise) Le rapport diamètre de la particule / longueur d'onde joue donc un rôle très important. De plus, la théorie de la diffusion de la lumière montre que l'intensité diffusée varie selon l'angle d'observation, d'où l'importance du choix de l'étalon.



$$R = \frac{\text{Diamètre de la particule}}{\text{Longueur d'onde}}$$

La figure n° 6 montre en fonction du rapport diamètre de la particule / longueur d'onde, la forme du diagramme de répartition de la diffusion d'un faisceau de lumière monochromatique par une particule en suspension.

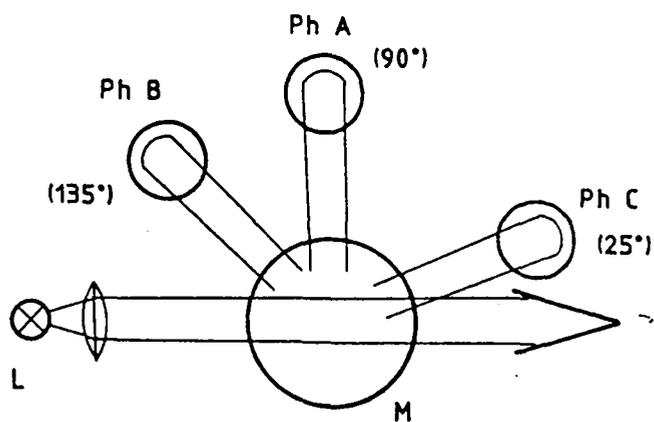
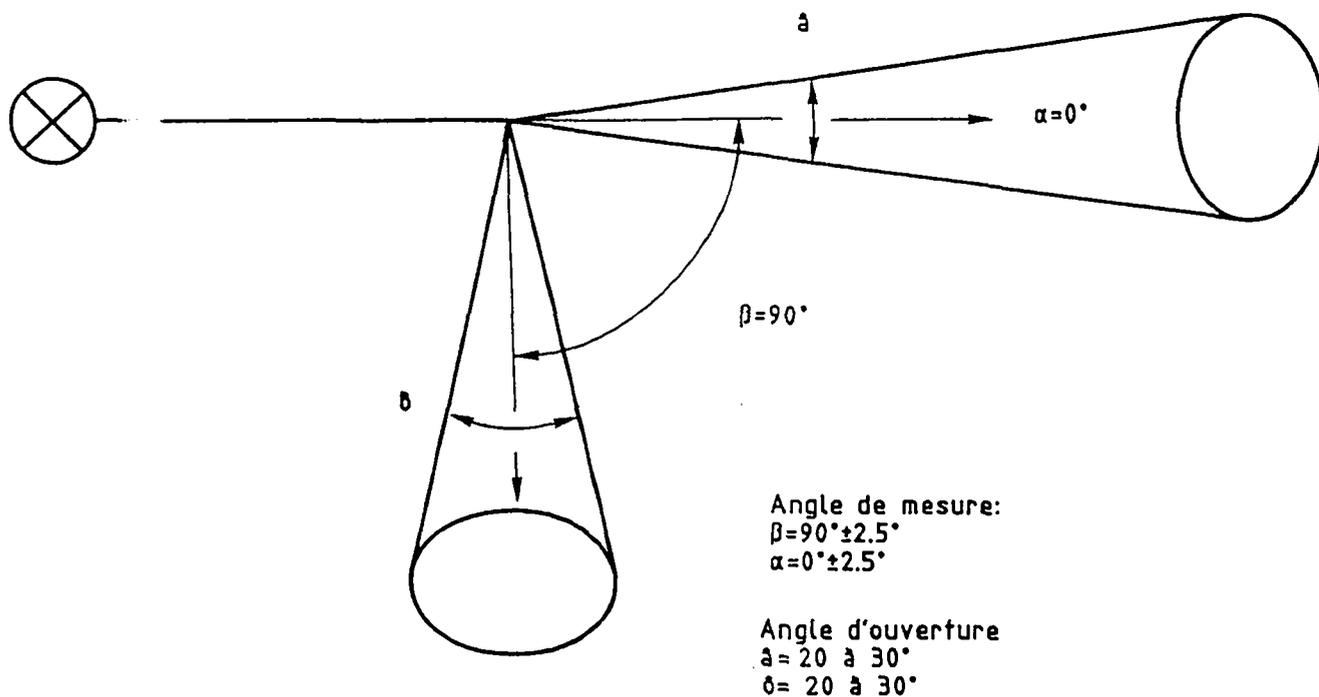
I.2.2 - Importance du choix de l'étalon de turbidité :

Les matières en suspension ou colloïdales prises en compte peuvent être très complexées et varier d'une eau à l'autre. En conséquence, les unités les plus diverses ont été prises comme étalons. On peut cependant les réunir en plusieurs catégories :

- les unités de limpidité : tube, méthode Jackson, disque de Secchi, dans ce cas, la mesure est établie au moyen d'un système parfaitement défini, la valeur est donnée dans une unité purement géométrique : le mètre. Malgré cela, il peut y avoir des petites variations dues à l'éclairage, au degré d'activité visuelle de l'observateur ;
- les unités Zeiss : comme le montre la figure n° 6, la diffusion de la lumière se fait dans toutes les directions. Si l'on pouvait avoir une infinité de cellules électriques, il serait possible de mesurer la totalité de la lumière diffusée. La mesure Zeiss consiste à faire le rapport lumière émise / lumière diffusée. Une turbidité de l'unité Zeiss correspond à une particule qui diffuse la totalité de la lumière reçue. Cette unité paraît utopique et ne pourra être utilisée que dans des cas tout à fait particuliers qui ne concernent pas l'eau ;

- les unités gouttes de mastic : comme nous l'avons décrit auparavant, cette unité correspond à une comparaison visuelle du trouble de l'eau soumise à l'analyse et de celui provoqué par l'ajout d'une solution alcoolique de mastic végétal. Nous avons deux sources de divergences d'une mesure à l'autre, bien que l'appareillage soit parfaitement défini :
 - l'acuité visuelle de l'observateur,
 - la préparation de la solution de mastic et surtout l'origine du mastic.

- les unités utilisées pour étalonner les systèmes à cellules photoélectriques : comme il est utopique de mesurer la totalité de la lumière diffusée par la particule, on effectuera la mesure sous un angle donné avec une configuration donnée. La valeur mesurée de la lumière transmise dépend de l'angle α du faisceau lumineux arrivant sur la particule et de l'angle \hat{a} d'ouverture de la mesure.



Appareil Sigrist :

A : KTL 65
 KTL 30

B : KTY

C : KTJ 25

Figure n° 7a : angle de mesure de la turbidité et cône d'observation.

Figure n° 7b : exemple d'appareillage existant.

Le principe de la mesure consiste à comparer la quantité de lumière diffusée par l'eau soumise à l'analyse à celle obtenue par une préparation étalon.

Comme la substance de référence ne se comporte pas du tout de la même façon que les particules responsables de la turbidité de l'eau à analyser, il n'est pas possible de donner une valeur de turbidité sans fixer d'une part l'angle d'observation et d'autre part le cône de prise en compte de la mesure.

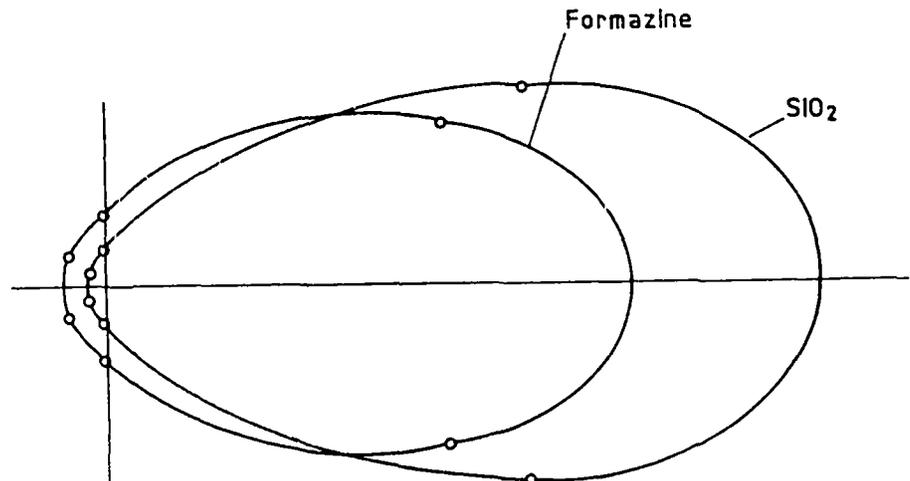


Figure n° 8 montre pour la silice et la formazine qui sont les deux principales substances de référence, leur diagramme de diffusion.

Cela montre pour l'eau destinée à la consommation humaine l'importance du choix d'un étalon unique de turbidité, d'autre part la définition exacte de l'angle d'observation.

Le choix a été fixé par l'ISO et l'AFNOR ensuite :

Observation à 90° - étalon : FORMAZINE (NTU) ou (FTU)

II - CORRESPONDANCES ENTRE LES DIFFERENTES UNITES

Le problème qui se pose maintenant est celui des correspondances entre les différentes unités :

- limpidité / turbidité NTU,
- gouttes de mastic / turbidité NTU,
- degré silice / turbidité NTU.

De plus, comme nous l'avons vu, certains appareils peuvent mesurer la lumière diffusée à des angles différents et il est bon pour une eau donnée, dans une gamme de turbidité donnée d'avoir des relations entre les différentes valeurs obtenues. Cela est très important pour plusieurs raisons :

- 1°) Interprétation des valeurs d'archives exprimées à l'aide d'autres unités ou de mesures obtenues avec des systèmes de principes différents.
- 2°) Suivi de la qualité d'une eau dont les mesures sont effectuées par des appareillages différents.

Ces deux cas se passent à la SAGEP, où nous disposons pour les eaux de sources ou de surface traitées de séries de données qui datent du début du siècle et où il nous est indispensable d'établir des études statistiques.

L'autre cas existe aussi où la turbidité de l'eau est suivie en automatique avec des appareillages qui mesurent la lumière diffusée à 25° ou à 90°.

Nous avons donc établi avec l'aide de nos laboratoires de sources ou des usines de potabilisation des eaux, des relations permettant sans erreur grossière de passer d'une unité à l'autre ou de données d'un appareillage à l'autre.

II.1 - Corrélation entre différentes unités de turbidité

II.1.1 - Gouttes de mastic :

La mesure de la turbidité exprimée en gouttes de mastic a été mise au point et utilisée pour les eaux destinées à la ville de Paris dès son apparition, puisque c'est Dienert et Guillert responsables du service de surveillance des sources de la ville de Paris qui en sont les auteurs.

De nombreuses études de correspondance entre les valeurs obtenues par la méthode de Dienert et la mesure expérimentale exprimée en unité normalisée NTU nous ont permis d'établir une relation linéaire. Cette relation n'est valable qu'entre 0 et 4 NTU et pour une mesure à 90°.

Soit 1 NTU = 20 gouttes de mastic

la variation allant suivant les mesures de 18 à 25 gouttes.

II.1.2 - Degré silice :

Parallèlement à la goutte de mastic, une autre unité était beaucoup utilisée surtout à l'étranger : le degré silice qui correspondait à la turbidité d'une solution qui contenait 1 mg/l de silice colloïdale. La préparation de la solution de silice étant très bien définie.

Comme pour les gouttes de mastic, il a été possible d'établir une relation linéaire entre les unités silice et les unités NTU. Cette relation n'étant valable comme pour les gouttes de mastic qu'entre 0 et 4 NTU et une mesure à 90°.

Soit 1 NTU = 3° silice

A partir de là, il est possible d'avoir une relation entre les gouttes de mastic et les degrés silice :

1° silice = 7 gouttes de mastic

II.2 - Corrélation entre mesures effectuées à différents angles

C'est le cas des appareils Sigrist qui font soit la mesure à 90° KTL 65 et KT 30, soit à 25° KTJ 25.

La figure n° 9 montre la quantité de lumière diffusée par la formazine et à 25°, sept fois plus grande qu'à 90° alors que pour la silice, nous obtenons un facteur 20. Dans ce cas, le type d'eau à surveiller joue un rôle très important dans cette corrélation.

Nous avons établi une telle correspondance pour des eaux souterraines de régions crayeuses où les troubles passagers ne sont dus qu'à la remise en suspension d'argiles de décalcification lors de la montée brutale des eaux en pression dans les diaclases de la craie.

Les figures n° 10, 11 et 12 montrent ces correspondances. Les appareils sont étalonnés à partir d'une solution de formazine.

II.3 - Correspondance turbidité / limpidité mesurée au disque de Secchi

Avant l'apparition de systèmes portables de détermination de la turbidité (Lange) dans la plupart des cas, le seul système simple était l'utilisation du tube du disque de Secchi.

De plus, avant l'installation d'appareillages automatiques de suivi de la turbidité de l'eau, il était courant de la mesurer à l'aide du disque de Secchi. Il nous a donc été indispensable d'établir une corrélation entre la mesure de la limpidité et les valeurs obtenues soit à 90°, soit à 25°.

Les figures n° 13 et 14 donnent les relations existant entre ces valeurs pour des eaux souterraines dont la seule source de turbidité est due à des argiles de décalcification de la craie.

Figure n° 8

CORRELATION TURBIDITE KTJ25/KTL65

(Février 88 à Juillet 88)

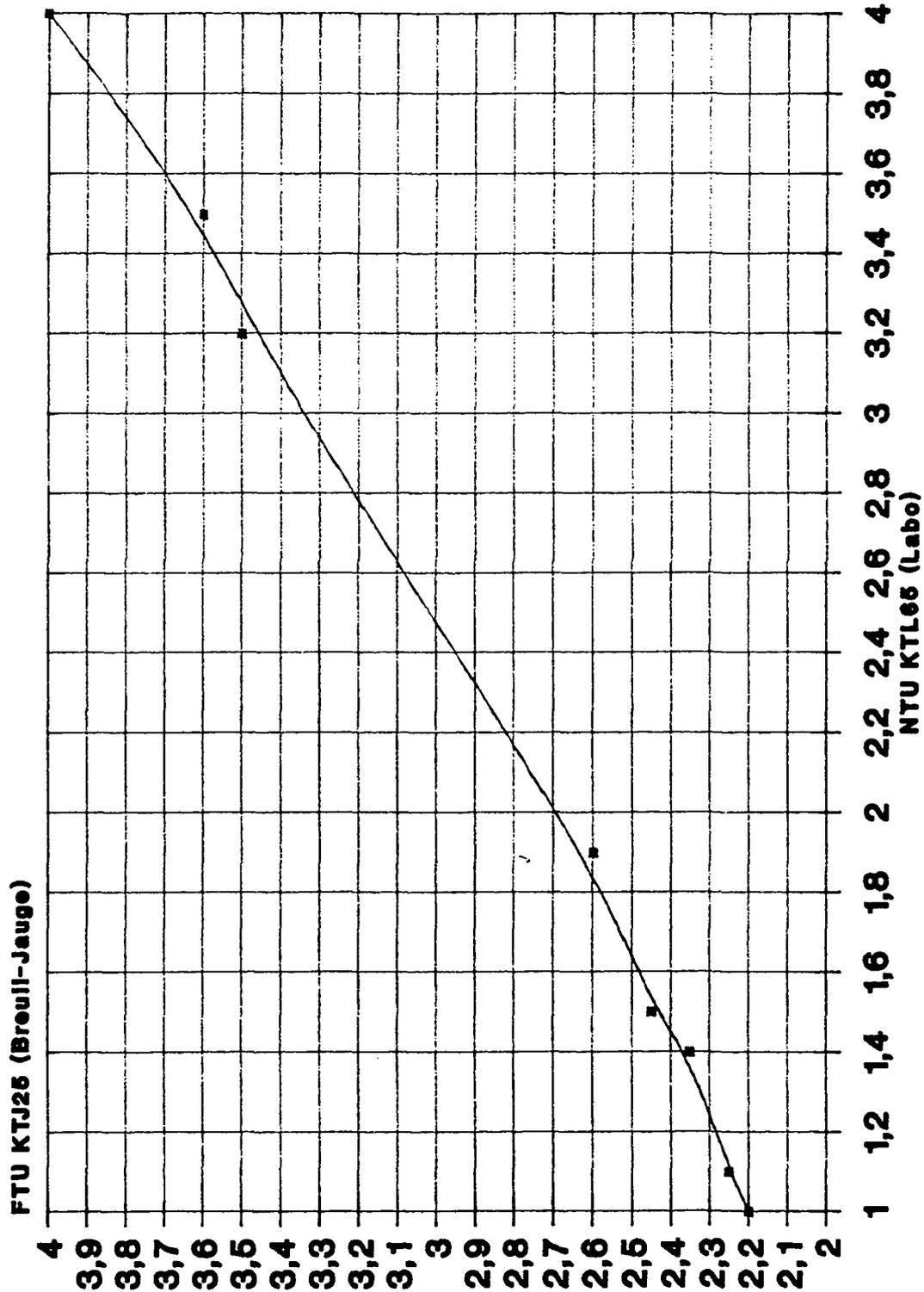


Figure n° 9

CORRELATION TURBIDITE KTJ25/KTL65

(Fevrier 88 à Juillet 88)

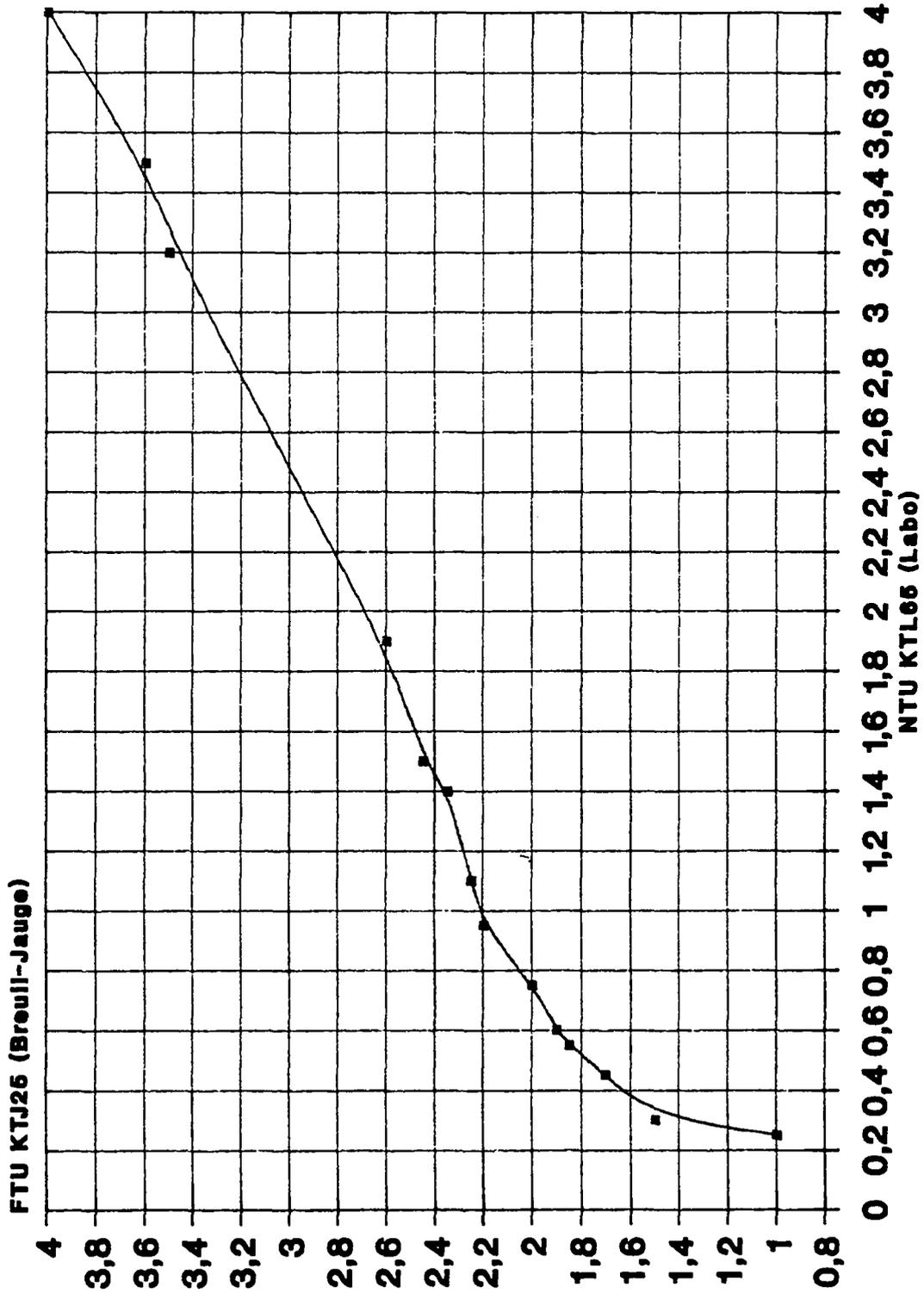


Figure n° 10

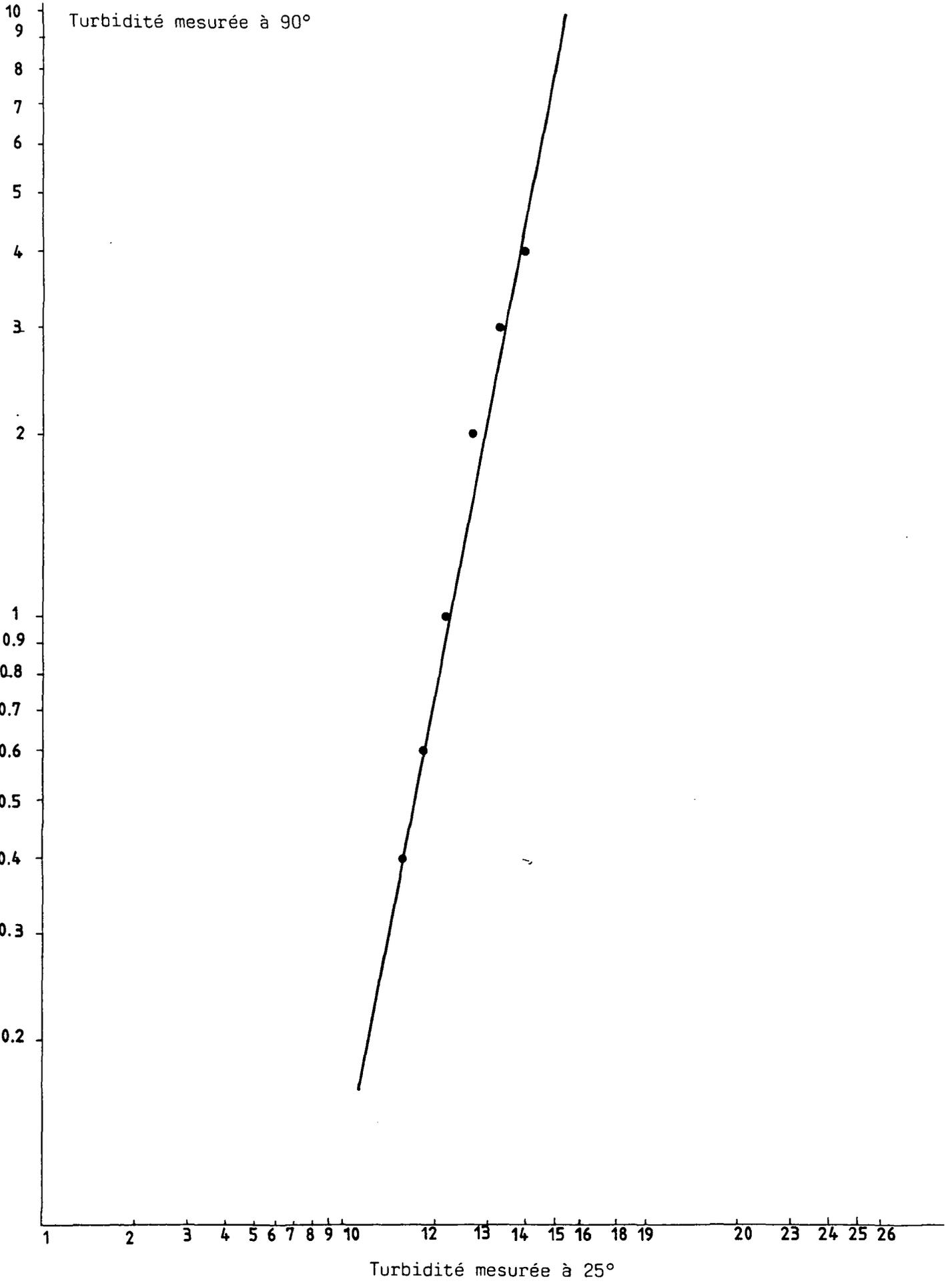


Figure n° 11

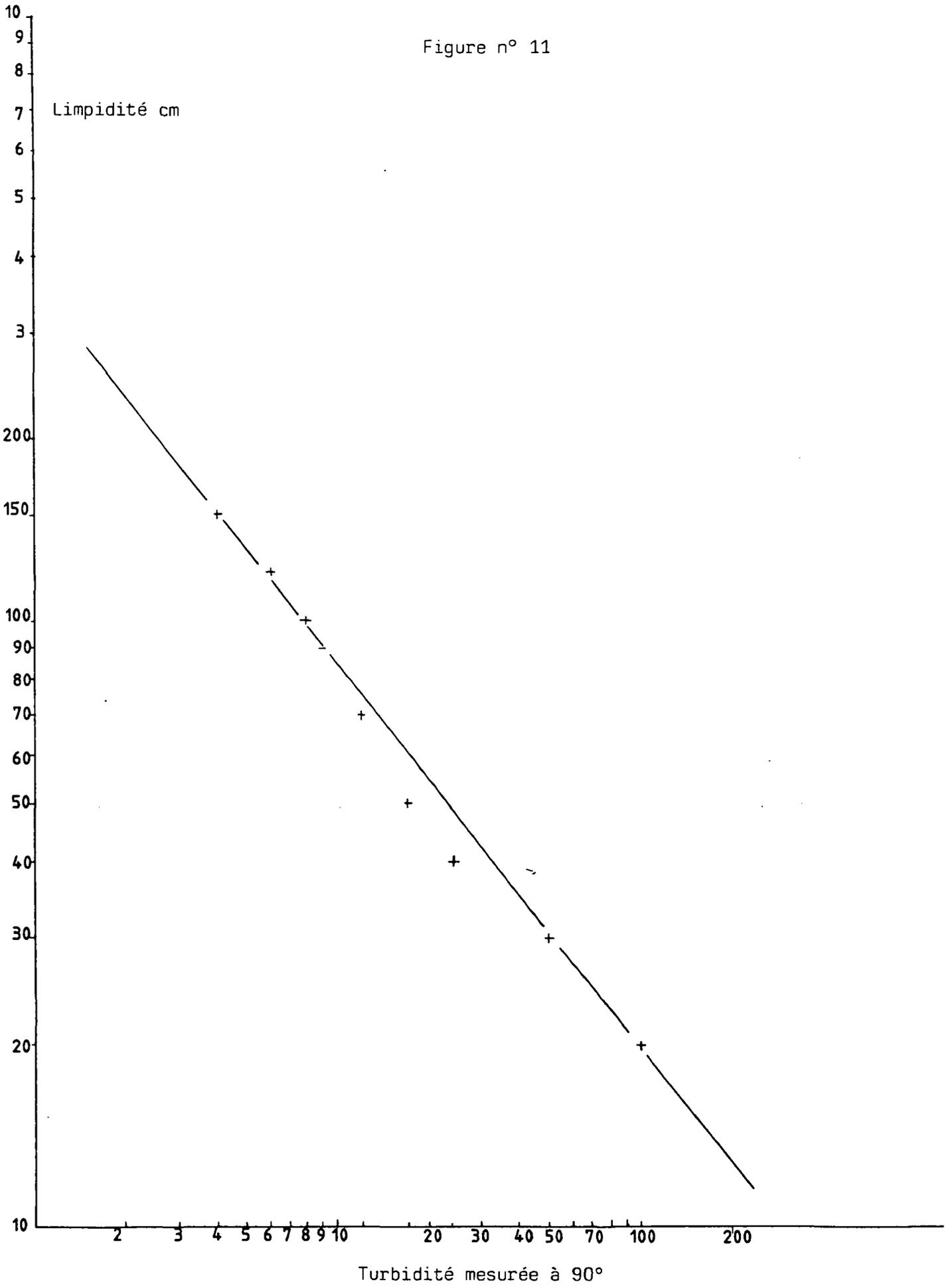
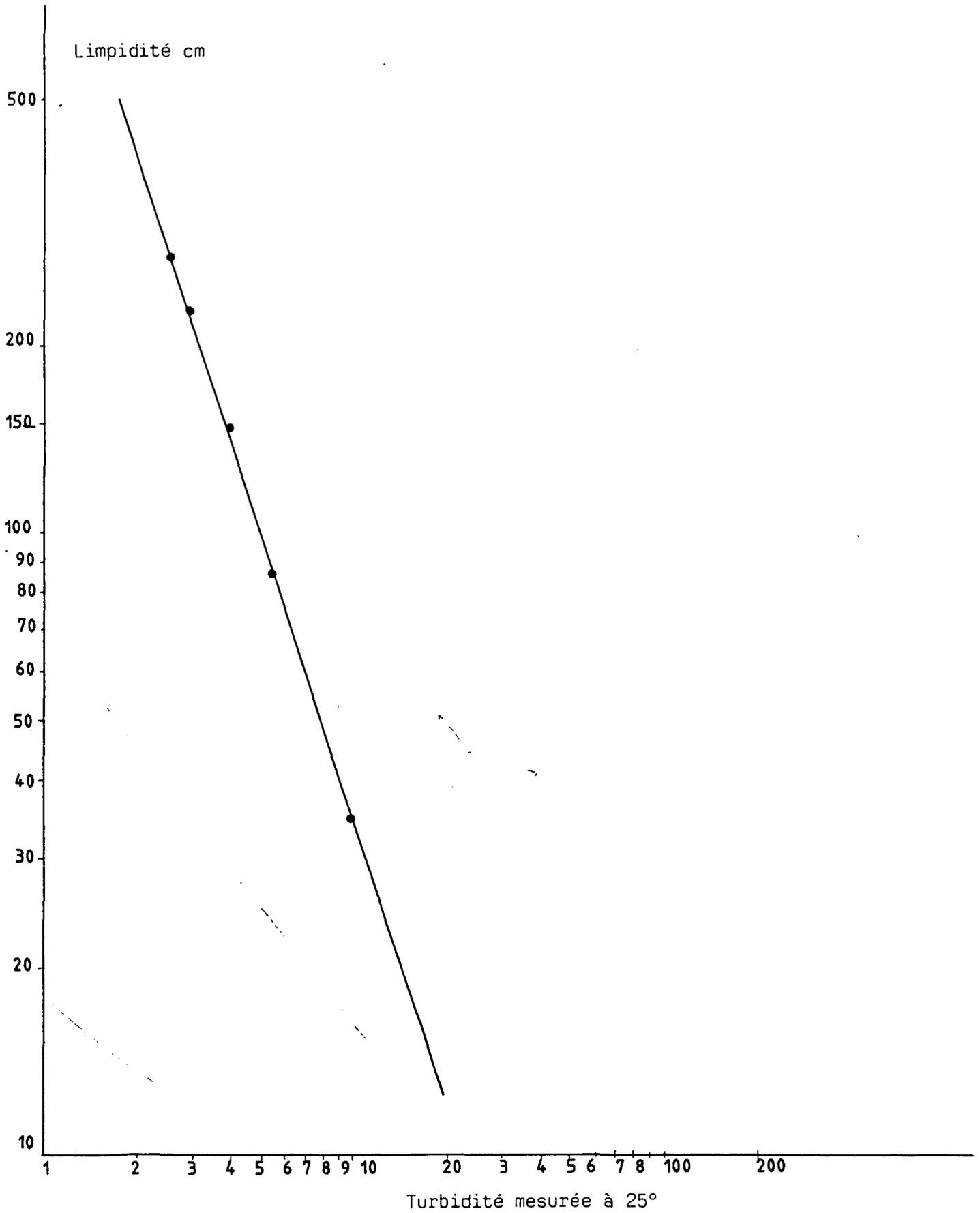


Figure n° 12



III - CONCLUSION

Dans cette première partie, nous avons voulu insister sur la complexité de la turbidité.

- Elle est due à des substances non définies.
- Elle est fonction du système de mesure :
 - principe,
 - angle,
 - longueur d'onde.
- Elle n'est pas toujours exprimée dans les mêmes unités.
- Pour un même point, les unités ont évolué au cours du temps et il est difficile de les relier entre elles.

Cela explique que des erreurs existent dans les correspondances et que lors de discussions internationales, la turbidité ne puisse être traitée de façon sérieuse puisque chaque représentant réagit à partir de ses données sans pouvoir faire rapidement la correspondance.

C'est ce qui a fait notamment qu'à Bruxelles la CMA (Concentration Maximale Admissible) sur la turbidité ait été fixée à 4 NTU alors qu'en France, nous avons 15 gouttes de mastic et 30 gouttes de façon exceptionnelle (en cas de crue), soit 0,75 NTU et 1,5 NTU.

Lorsque les correspondances NTU / gouttes de mastic ont été établies, la France a modifié cette valeur et le décret de janvier 1989 reprenant cette directive en modifiant la valeur de la turbidité en la faisant passer de 4 à 2 (40 gouttes de mastic).

Dans la deuxième partie de cet article, nous nous attacherons à montrer l'intérêt de la mesure de la turbidité et l'importance qu'il y a à essayer d'obtenir la plus faible turbidité de l'eau.



MISSION QUALITE

IMPORTANCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU

Deuxième partie : qualité de l'eau

A. MONTIEL - B. WELTE

Mission Qualité

Comme nous l'avons dit dans la première partie de cet article, la turbidité est due à des matières soit colloïdales, soit insolubles d'origines minérales (argiles, limons, hydroxydes de fer, d'aluminium...) ou organiques (acides humiques, acides fulviques, protéines, 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. L'élimination poussée de la turbidité sera le garant d'une très bonne épuration de l'eau.

Le principal inconvénient de la turbidité est qu'elle ne renseigne absolument pas sur la taille et le type des particules prises en compte et à plus forte raison des matières adsorbées sur ces particules.

Le suivi de la turbidité et de son élimination pourra donc être un très bon critère à prendre en compte pour l'évaluation de l'efficacité d'un traitement d'eau (potabilisation d'eau de surface).

Dans le cas d'eau souterraine, le suivi de la turbidité nous renseignera par exemple d'une part sur la quantité d'argile présente, d'autre part sur les modifications de traitement à effectuer.

I - TRAITEMENT D'EAU DE SURFACE

Le traitement des eaux de surface consiste principalement à y retirer les matières insolubles et colloïdales (y compris les micro-organismes), d'autre part les substances dissoutes pouvant faire courir un danger pour la santé (micropolluants organiques et minéraux).

I.2 - Élimination des micropolluants minéraux

L'élimination des micropolluants minéraux s'effectue pour la quasi-totalité au moment de la clarification de l'eau. En effet, les micropolluants minéraux peuvent se trouver dans les eaux sous deux formes :

- soit adsorbés, complexés ou piégés sur les matières en suspension ou colloïdales,
- soit sous forme soluble complexés ou non.

En ce qui concerne les formes insolubles leur élimination pourra très bien se voir par l'élimination de la turbidité. En ce qui concerne les formes solubles, l'élimination se fait par précipitation ou coprecipitation lors de l'étape de coagulation - floculation - décantation. Les micropolluants précipiteront sous forme de carbonates, oxydes ou hydroxydes.

Certains éléments réagiront avec le réactif de précipitation pour donner des formes insolubles (arseniate et selenate de fer) d'autres ne réagiront pas et nécessiteront un traitement complémentaire : réduction pour le chrome hexavalent, oxydation pour le manganèse divalent.

Là encore, la meilleure élimination de la turbidité conduira à la meilleure élimination de ces composés. Mis à part les éléments qui réagissent avec le réactif de coagulation, des résultats quasiment identiques seront obtenus par les traitements de filtration biologique à faible vitesse. Une étape de prétraitement physico-chimique permettra bien sûr l'amélioration de l'épuration.

A titre d'exemple, nous avons tracé la relation qui lie la turbidité résiduelle d'une eau et la teneur en fer provenant du réactif de coagulation (figure n° 1).

I.2 - Élimination des micropolluants organiques

L'élimination des micropolluants organiques se fait essentiellement par des phénomènes d'adsorption. Plus la molécule est hydrophobe, plus elle sera adsorbée sur les matières en suspension ou le floc lors de la coagulation - floculation - décantation. Il existe une bonne corrélation entre le coefficient de partage octanol - eau d'une molécule organique et sa possibilité d'être éliminée par adsorption soit sur le floc, soit sur du charbon actif en grains.

Les figures n° 2 et 3 montrent ces relations et indiquent les abattements pouvant être obtenus par une bonne élimination de la turbidité.

L'affinage poussé de l'eau pour ces molécules ne pourra être obtenu que par utilisation d'un adsorbant tel que le charbon actif, soit en poudre, soit en grains.

I.3 - Élimination des micro-organismes

Dans ce cas, nous allons faire une distinction entre les traitements physico-chimiques de filtration rapide ($5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) et les traitements biologiques de filtration lente ($5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$).

Les résultats ont été obtenus après compilation des résultats de surveillance de la qualité de l'eau durant plus d'une année. Nous avons reporté les abattements obtenus pour différents germes entre eau brute et eau filtrée en fonction de la turbidité de l'eau filtrée. Les corrélations ne sont donc établies qu'entre 0,05 et 0,30 NTU.

I.3.1 - Traitements physico-chimiques et filtration rapide :

Les résultats ont été obtenus sur une usine utilisant un décanteur à lit de boue du type pulsator à une vitesse ascensionnelle de $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, la filtration s'effluent à une vitesse de filtration de $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.

Figure n° 1

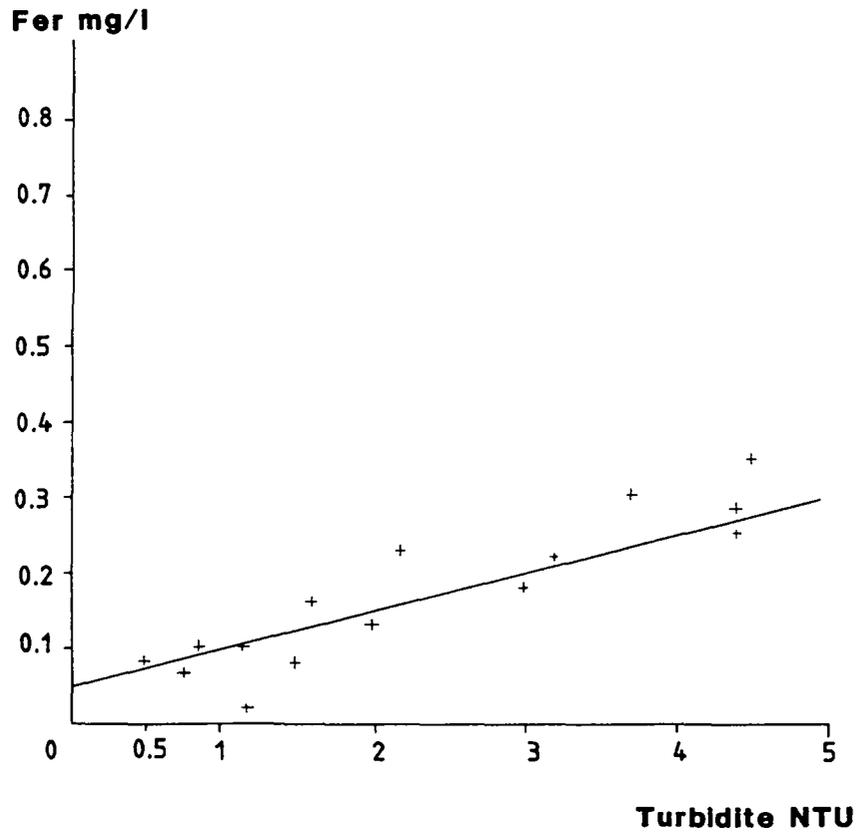
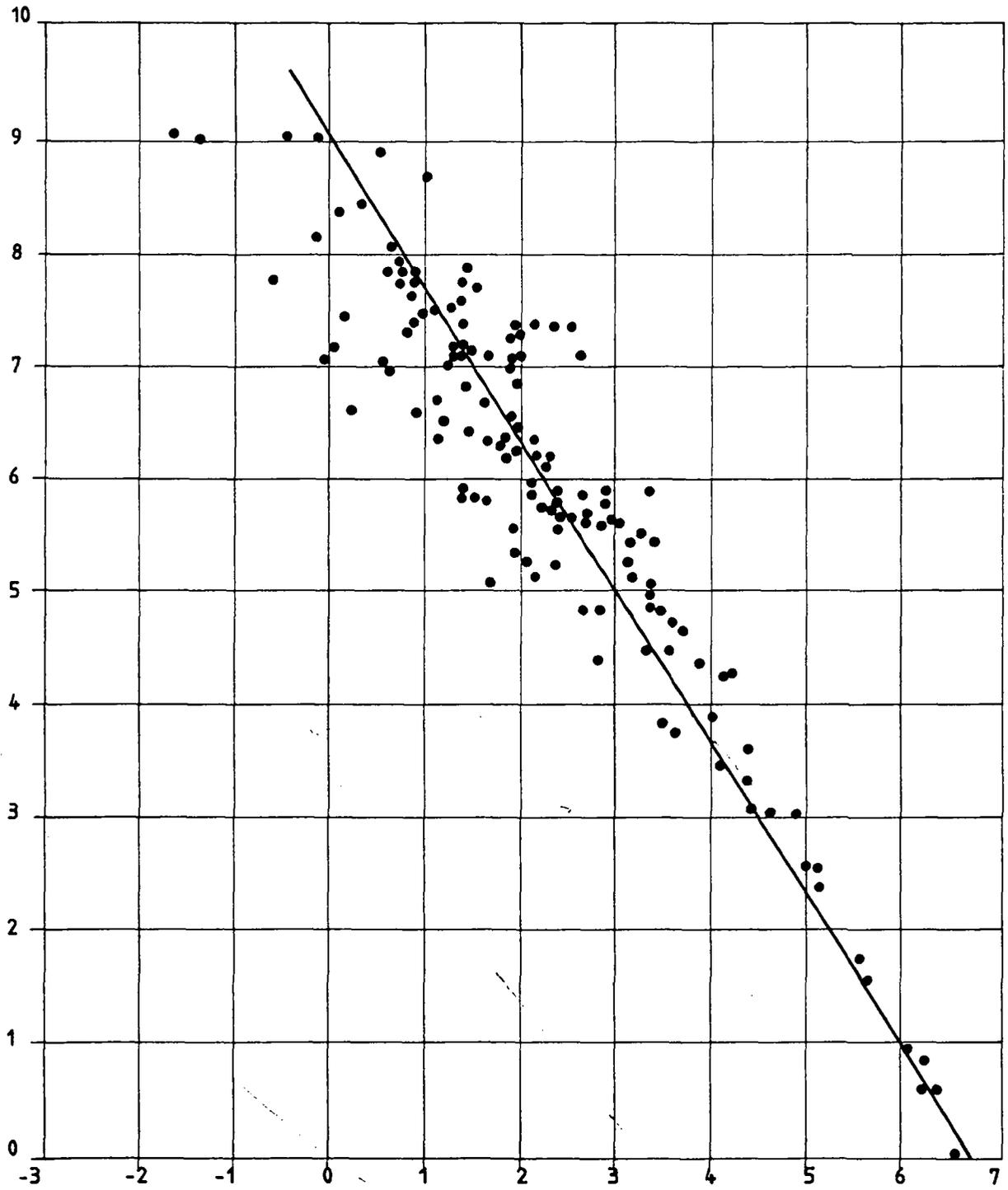


figure n° 2

Log KOW



Log solubilité μmole/l

Figure n° 3

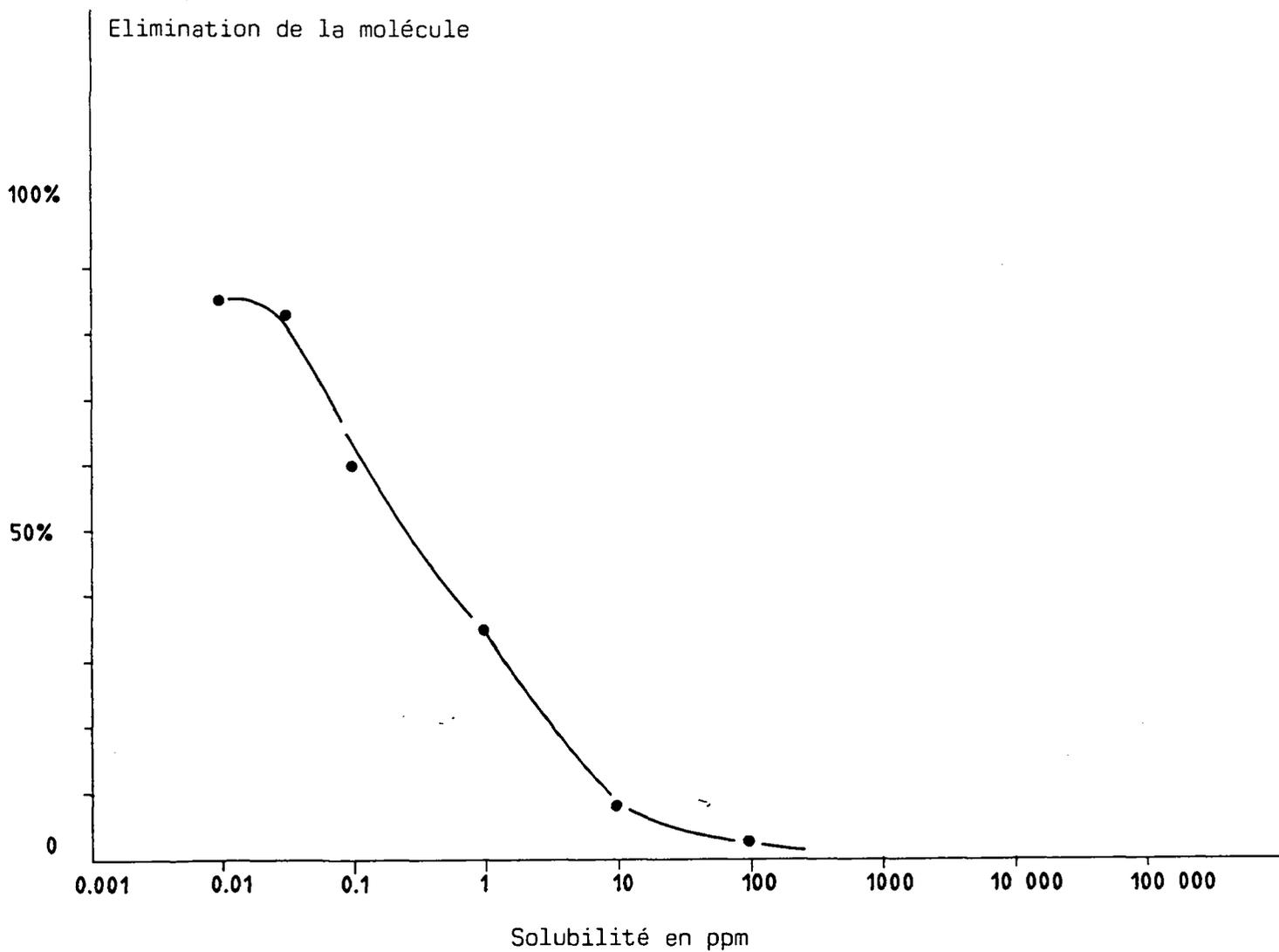
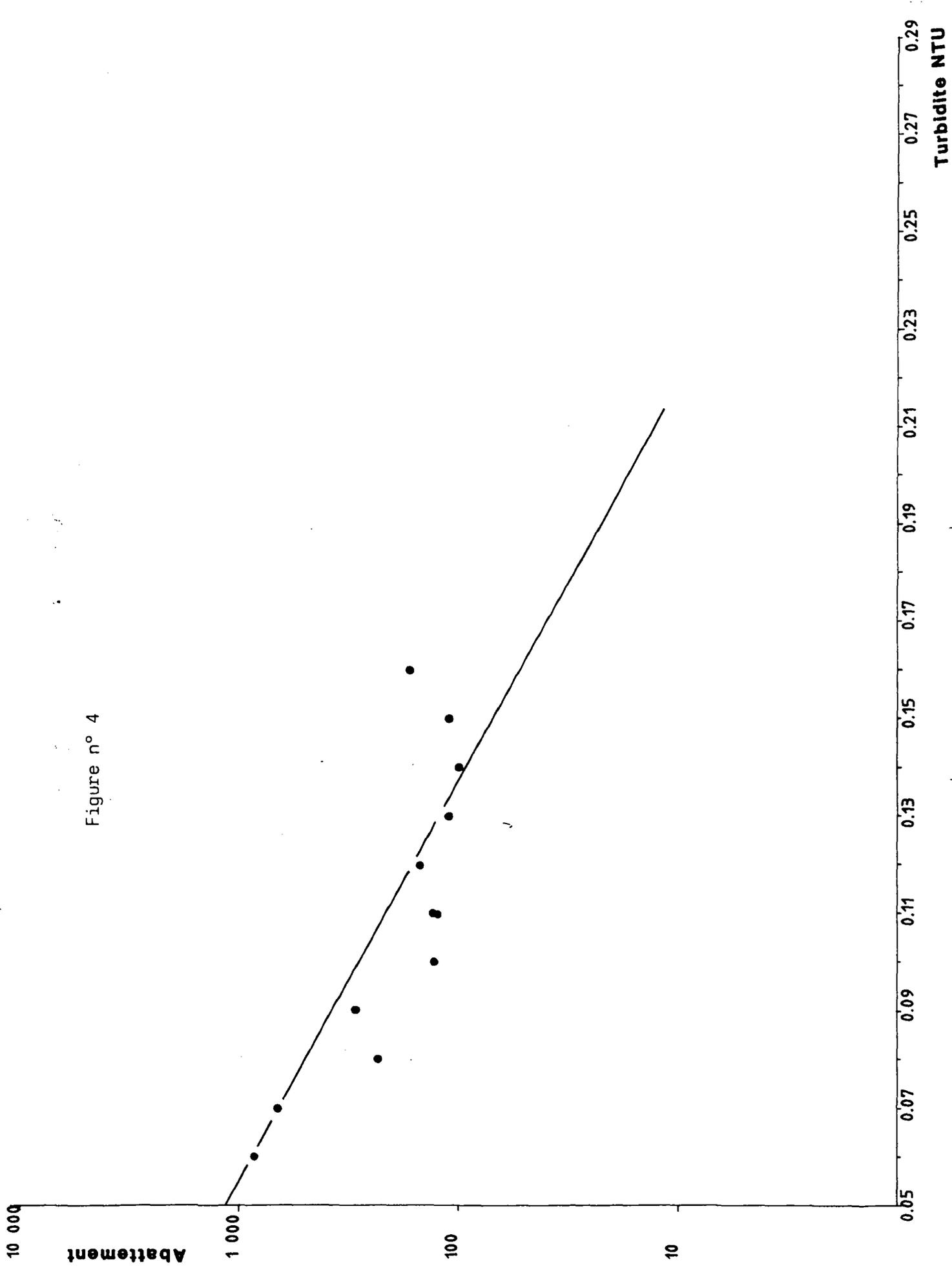


Figure n° 4



Les micro-organismes pris en compte sont :

- coliformes totaux (figure n° 5),
- streptocoques fécaux (figure n° 6),
- clostridium sulfito-réducteurs (figure n° 7),
- les germes aérobies revivifiabiles à 37° (figure n° 8),
- les germes aérobies revivifiabiles à 20° (figure n° 9).

Les abattements ont été obtenus en effectuant le rapport :

$$\frac{\text{micro-organismes eau brute}}{\text{micro-organismes eau filtrée}}$$

Ces courbes nous montrent bien l'importance de la turbidité résiduelle dans l'eau filtrée. Pour un abattement de deux logs des germes tests de contamination fécale, il est impératif d'avoir une turbidité de l'eau filtrée inférieure à 0,15 NTU.

Des essais effectués sur des usines de filtration rapide ont montré qu'il en était de même pour les kystes. La figure n° 10 donne la relation abattement des kystes de giardia / turbidité résiduelle de l'eau filtrée.

I.3.2 - Traitement biologique par filtration lente :

Les résultats ont été obtenus sur une usine de filtration biologique à faible vitesse comportant une étape de prétraitement : microtamisage - préfiltration rapide (10 m³/m²/h) et une étape de filtration biologique lente (5 m³/m²/j).

Les micro-organismes pris en compte sont :

- coliformes thermotolérants (figure n° 11),
- coliformes totaux (figure n° 12),
- streptocoques fécaux (figure n° 13),
- clostridium sulfito-réducteurs (figure n° 14),
- germes aérobies revivifiabiles à 37° (figure n° 15),
- germes aérobies revivifiabiles à 20° (figure n° 16),
- algues (figure n° 17).

Les abattements sont obtenus en effectuant le rapport :

$$\frac{\text{Micro-organismes eau brute}}{\text{Micro-organismes eau filtrée}}$$

Abatement germes

Figure n° 5

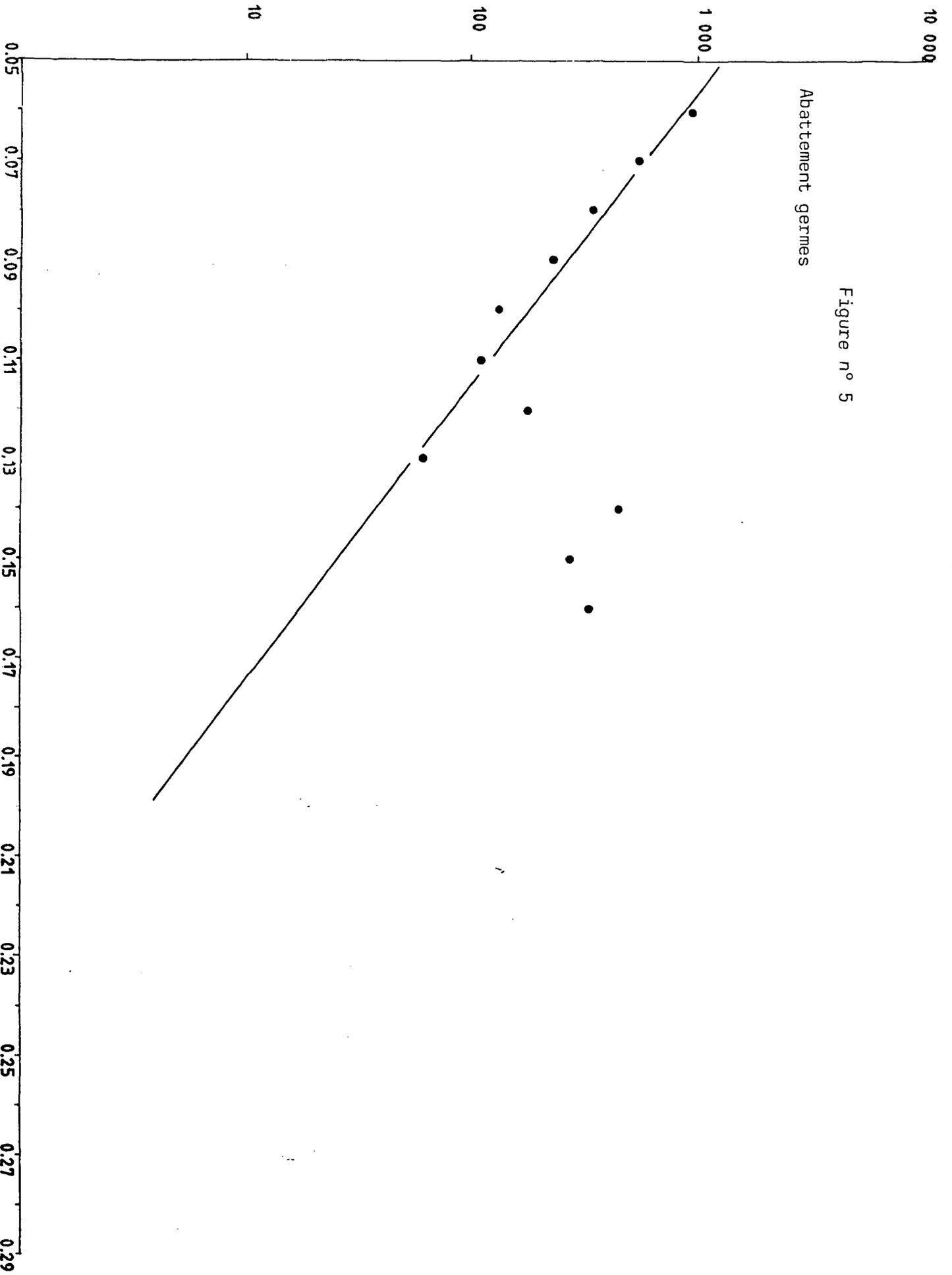


Figure n° 6

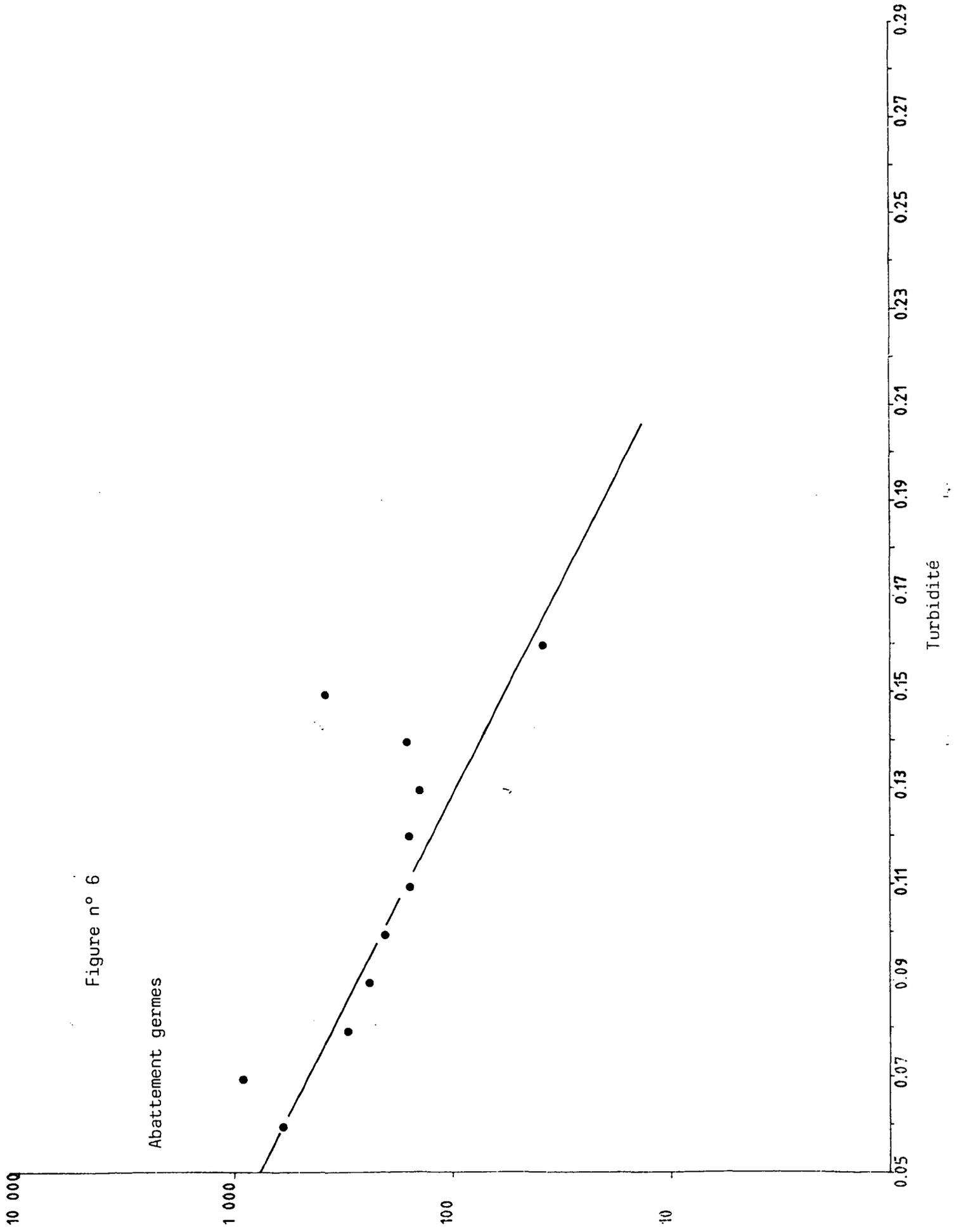


Figure n° 7

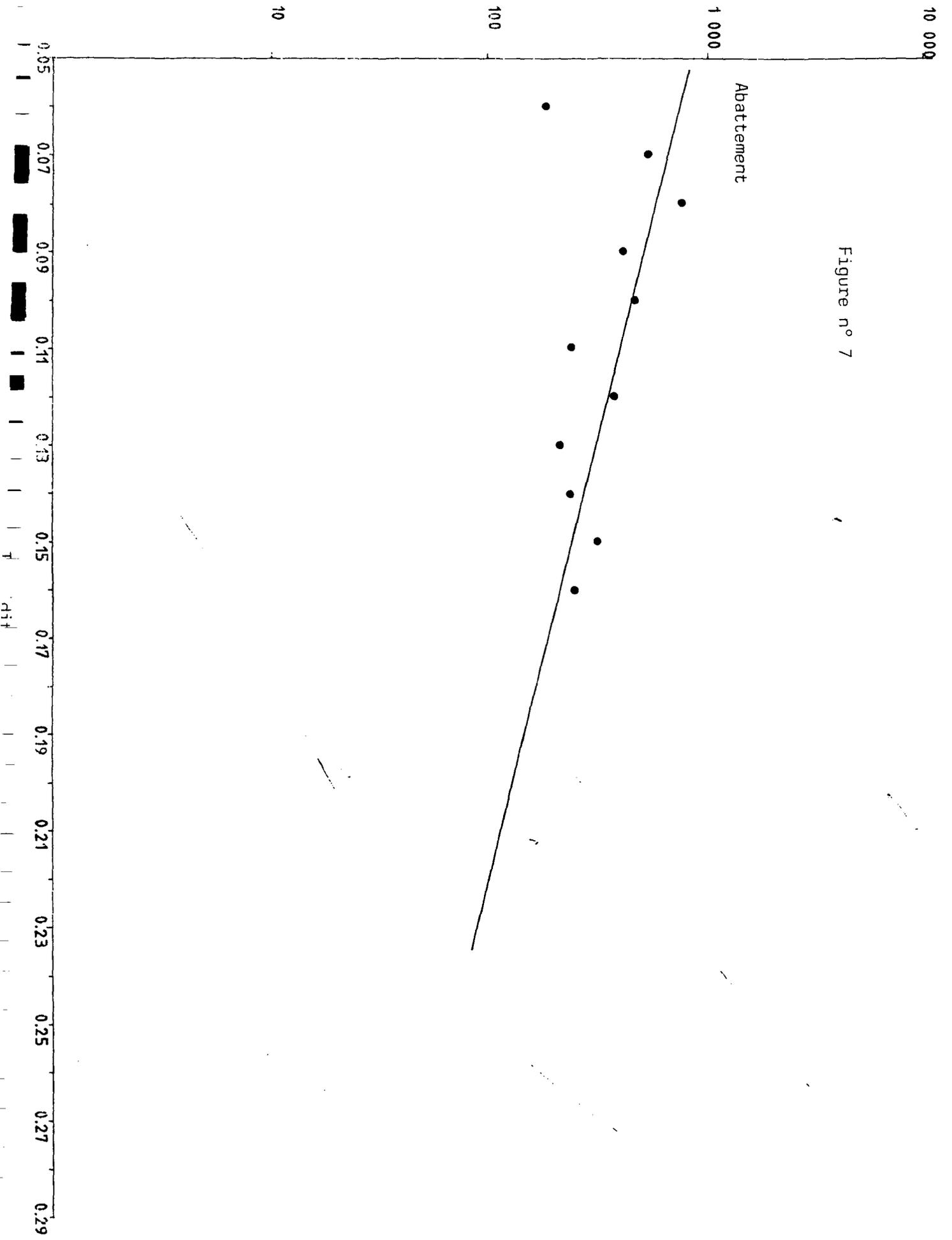


Figure n° 8

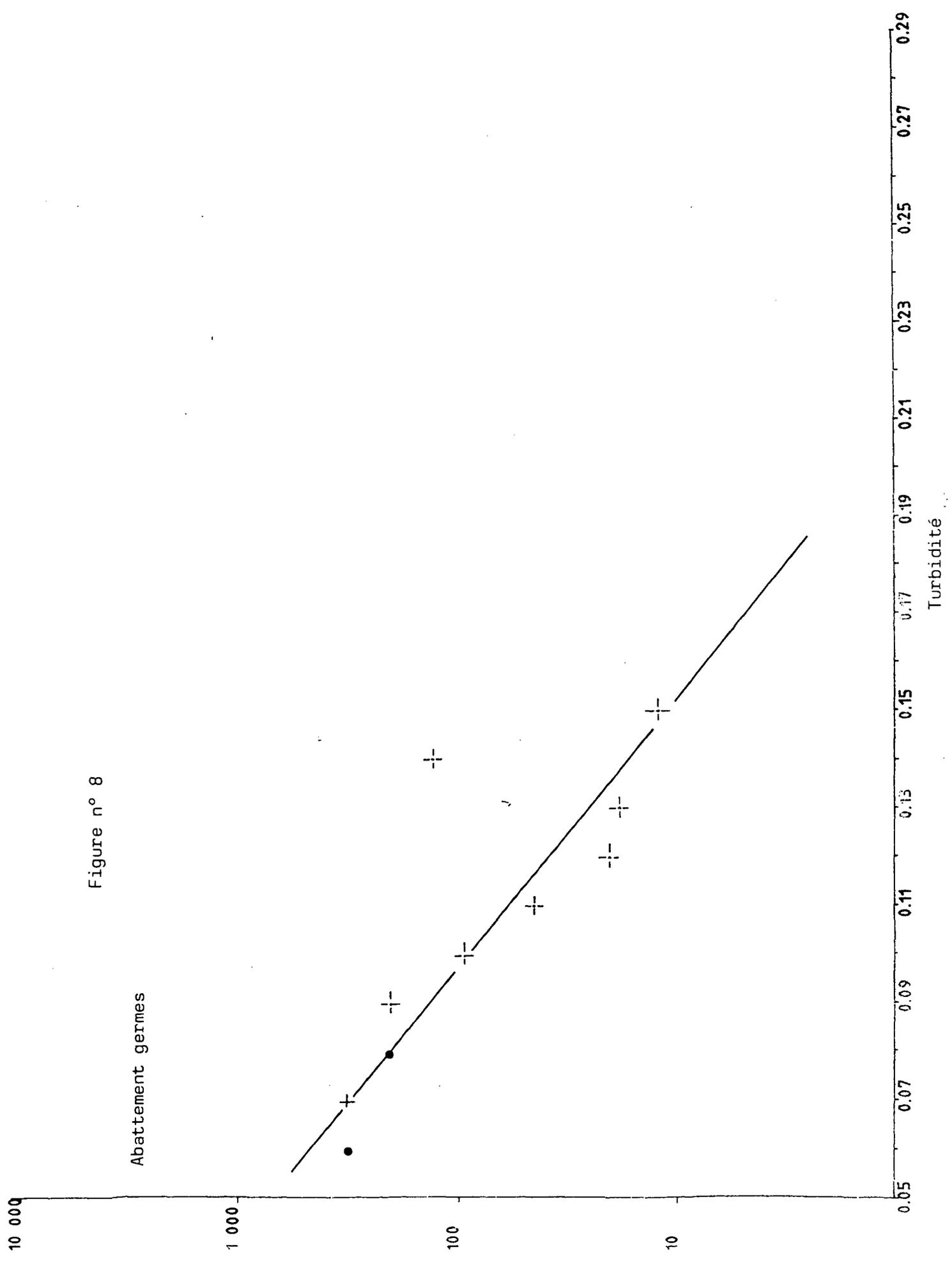
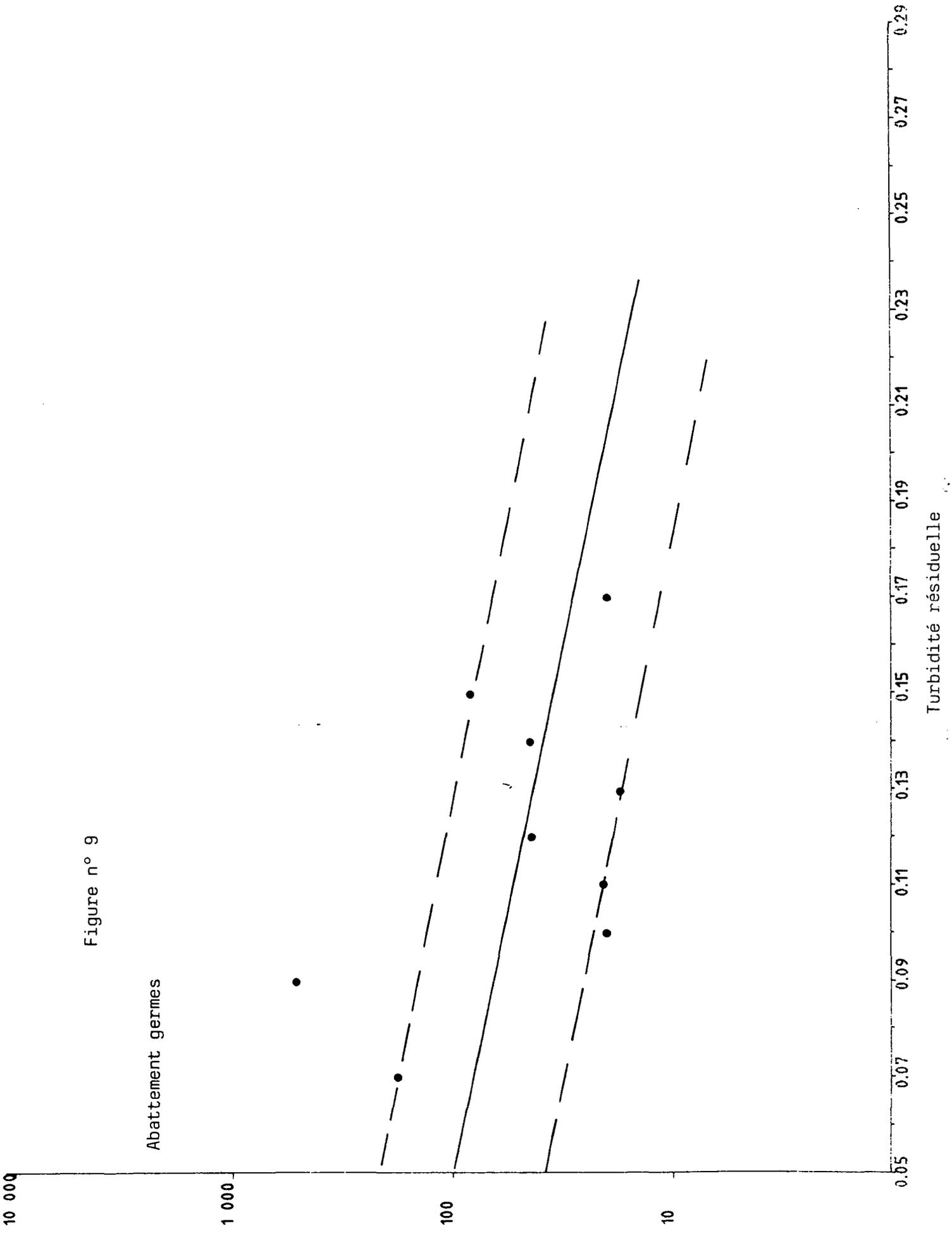
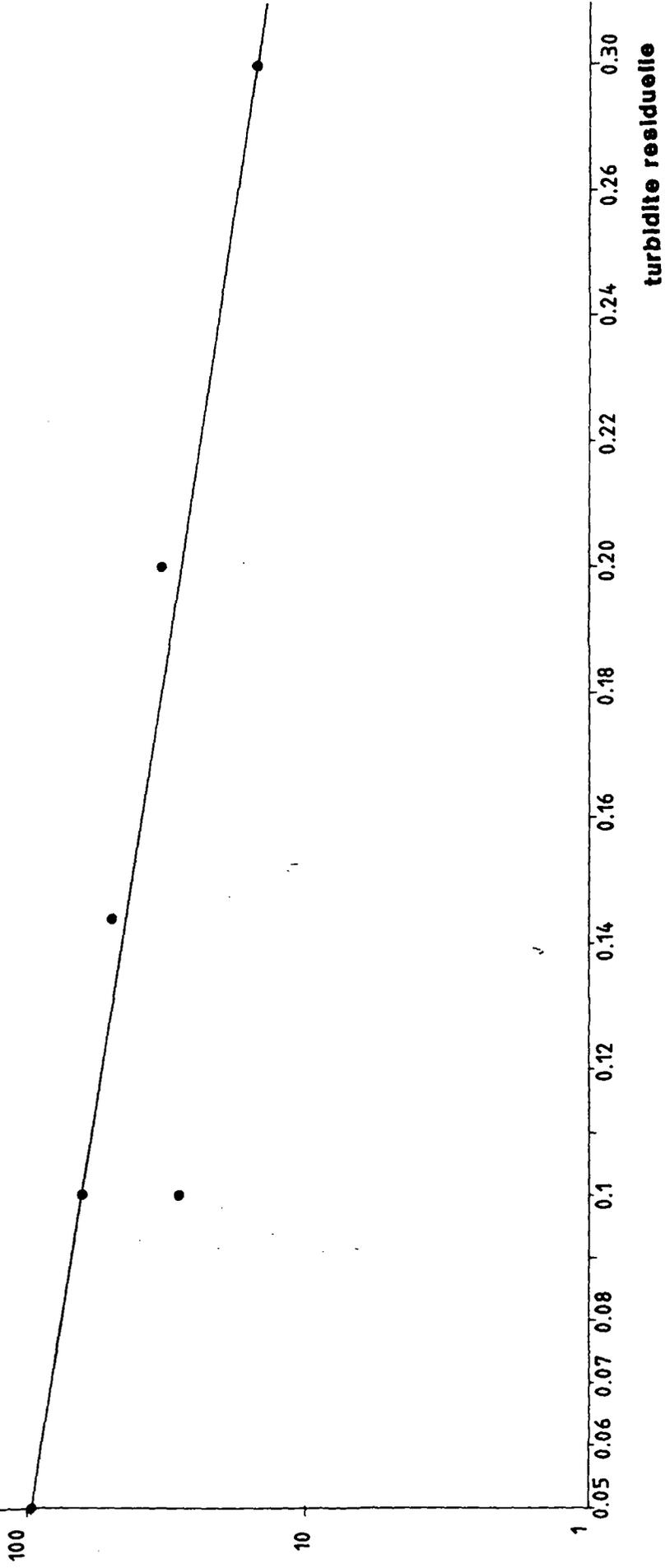


Figure n° 9





Abatement

10 000

1 000

100

10

Figure n° 11

0.05 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.19 0.21 0.23 0.25 0.27 0.29

turbidite residuelle

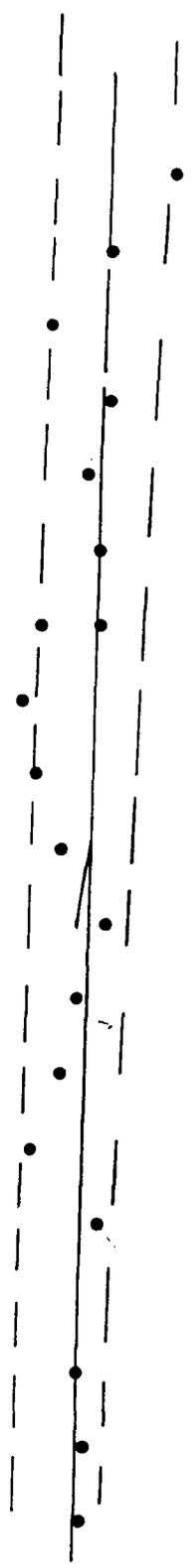


Figure n° 12

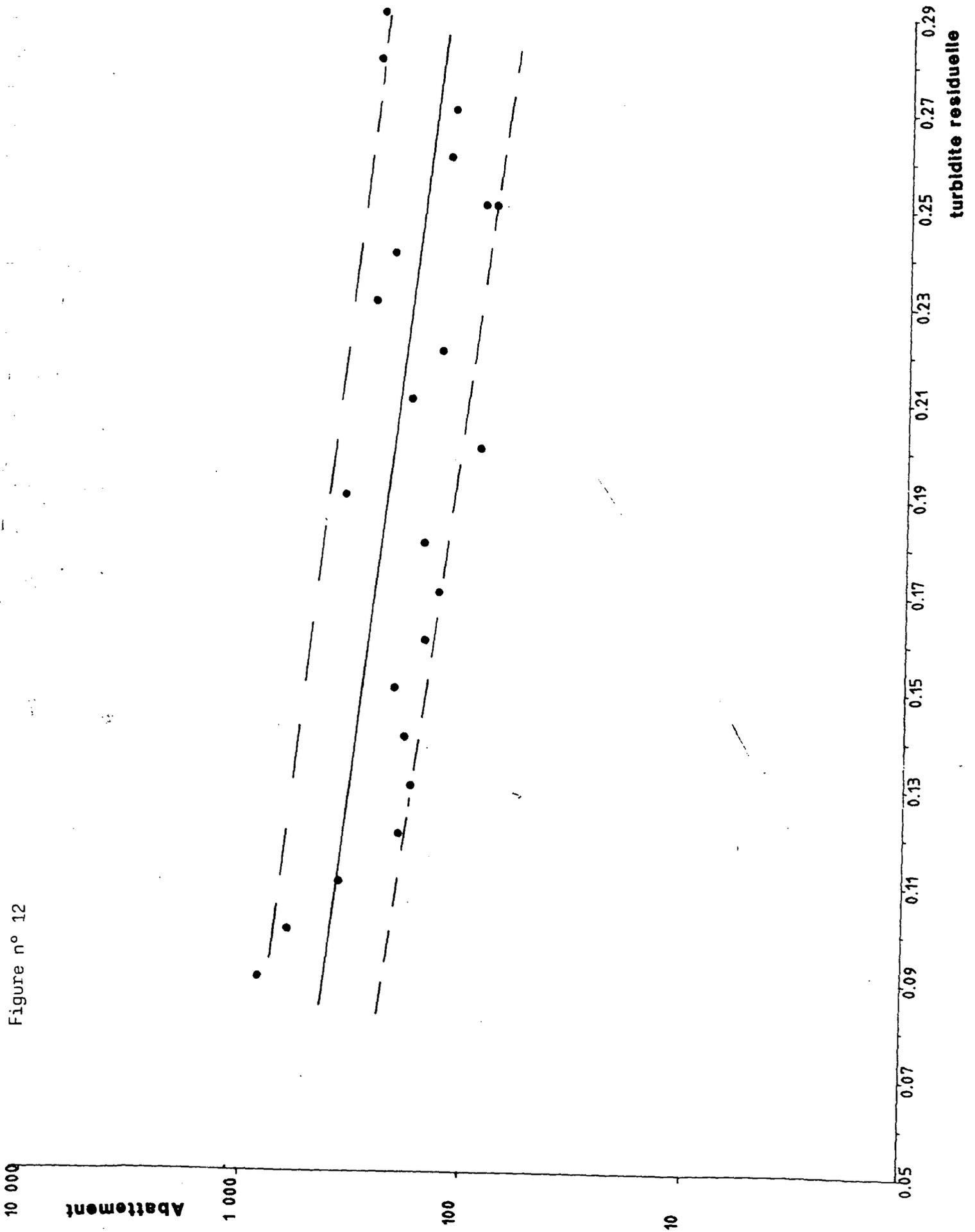


Figure n° 13

Abatement
germes

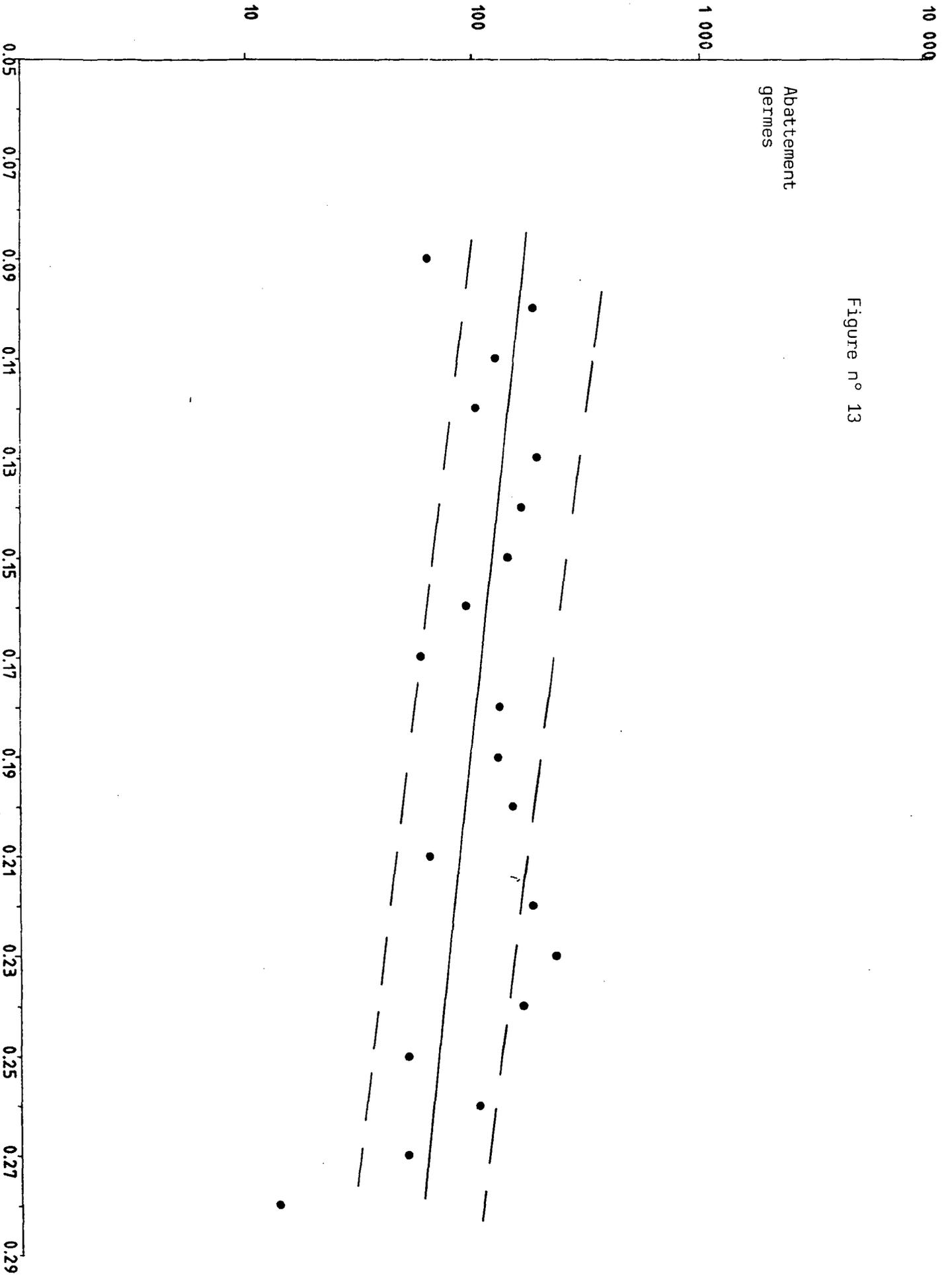


Figure n° 14

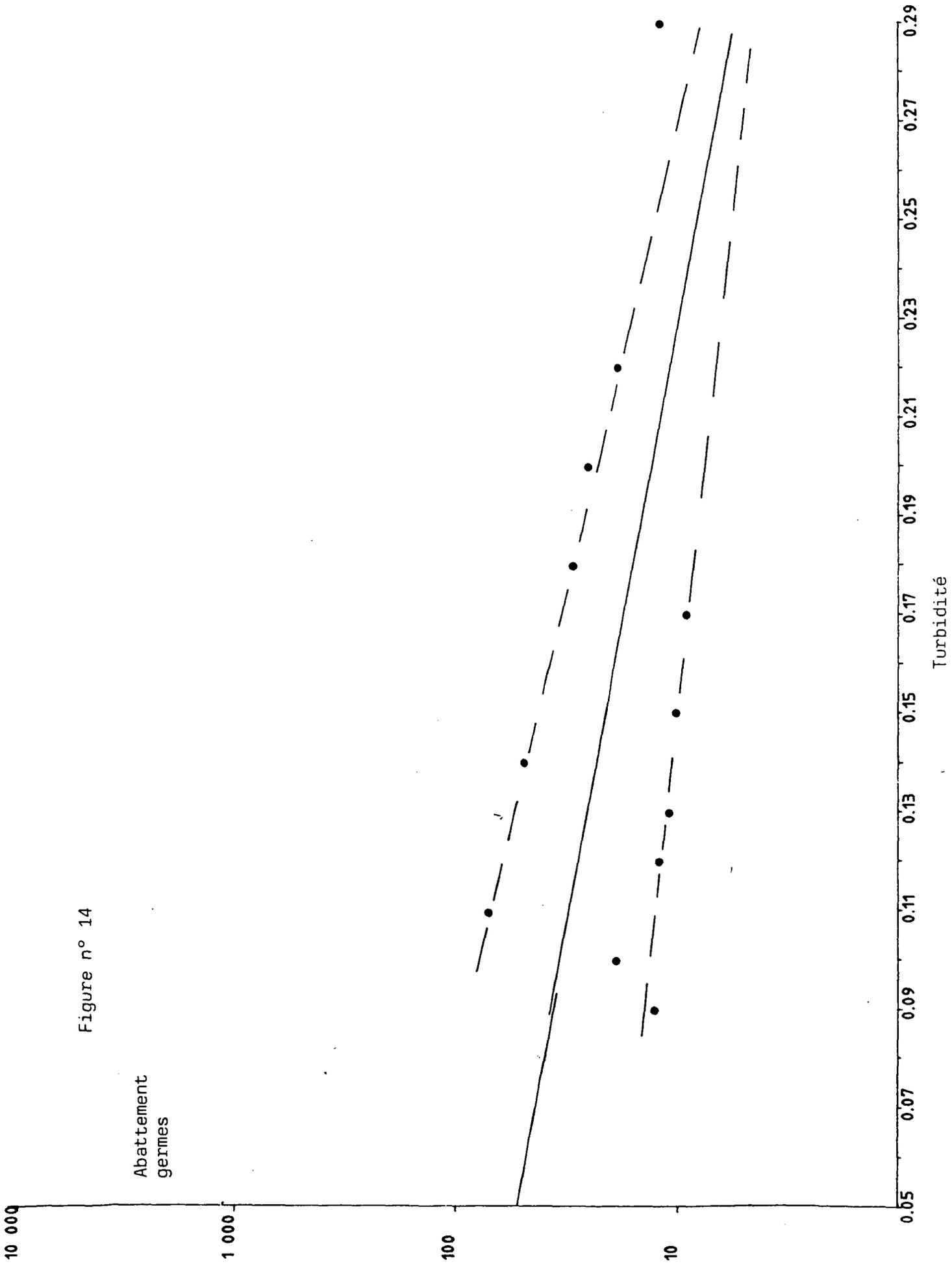
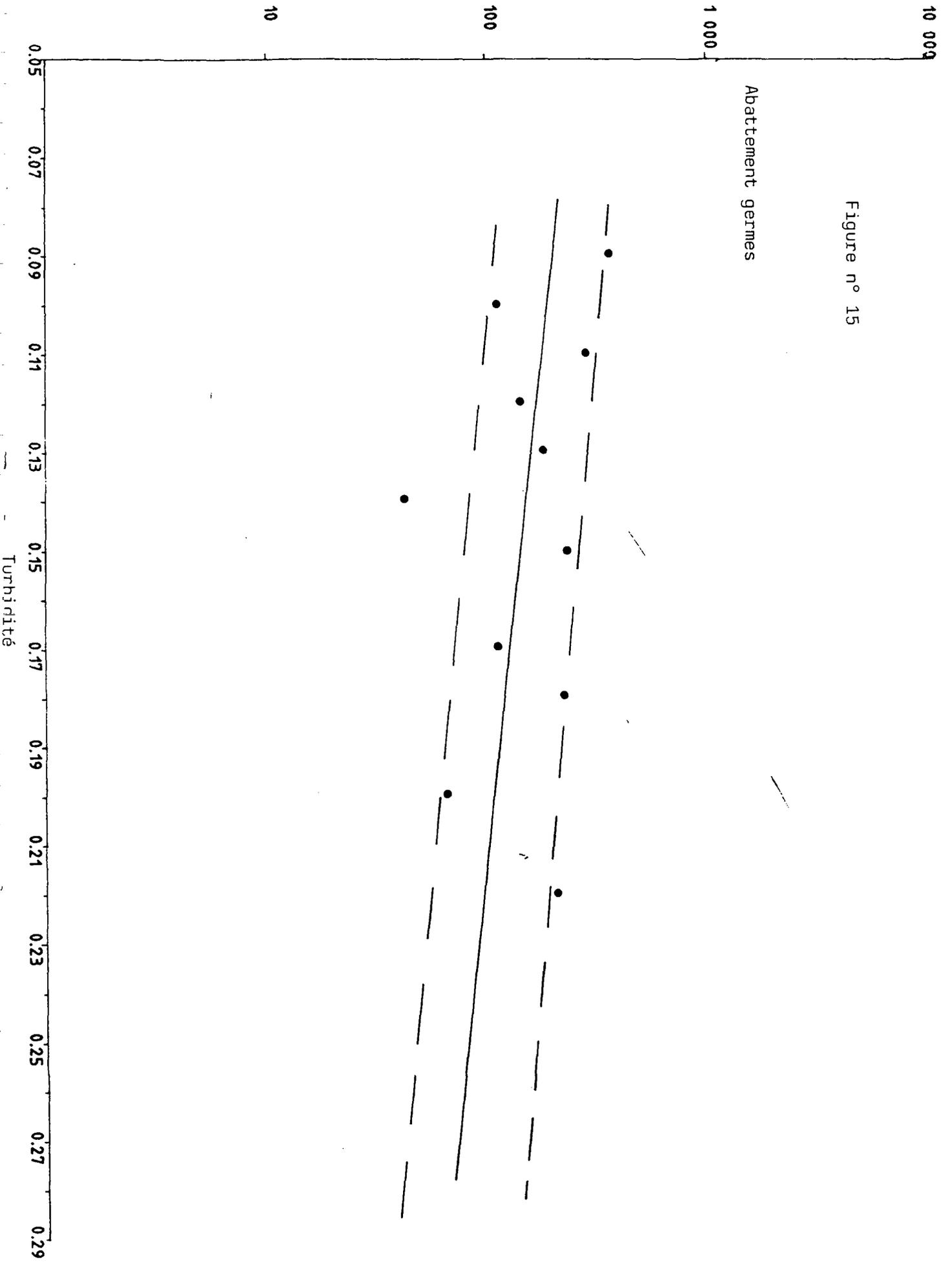


Figure n° 15

Abatement germes



10 000

Figure n° 16

Abatement
germes

1 000

100

10

0.05 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.19 0.21 0.23 0.25 0.27 0.29

Turbidité

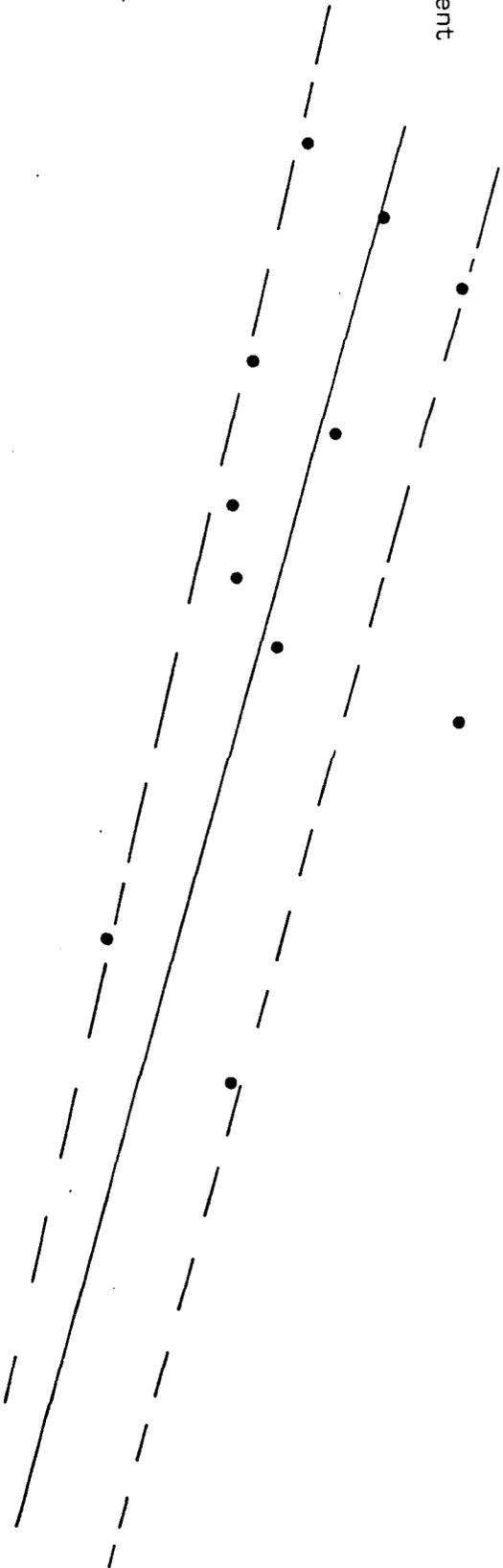
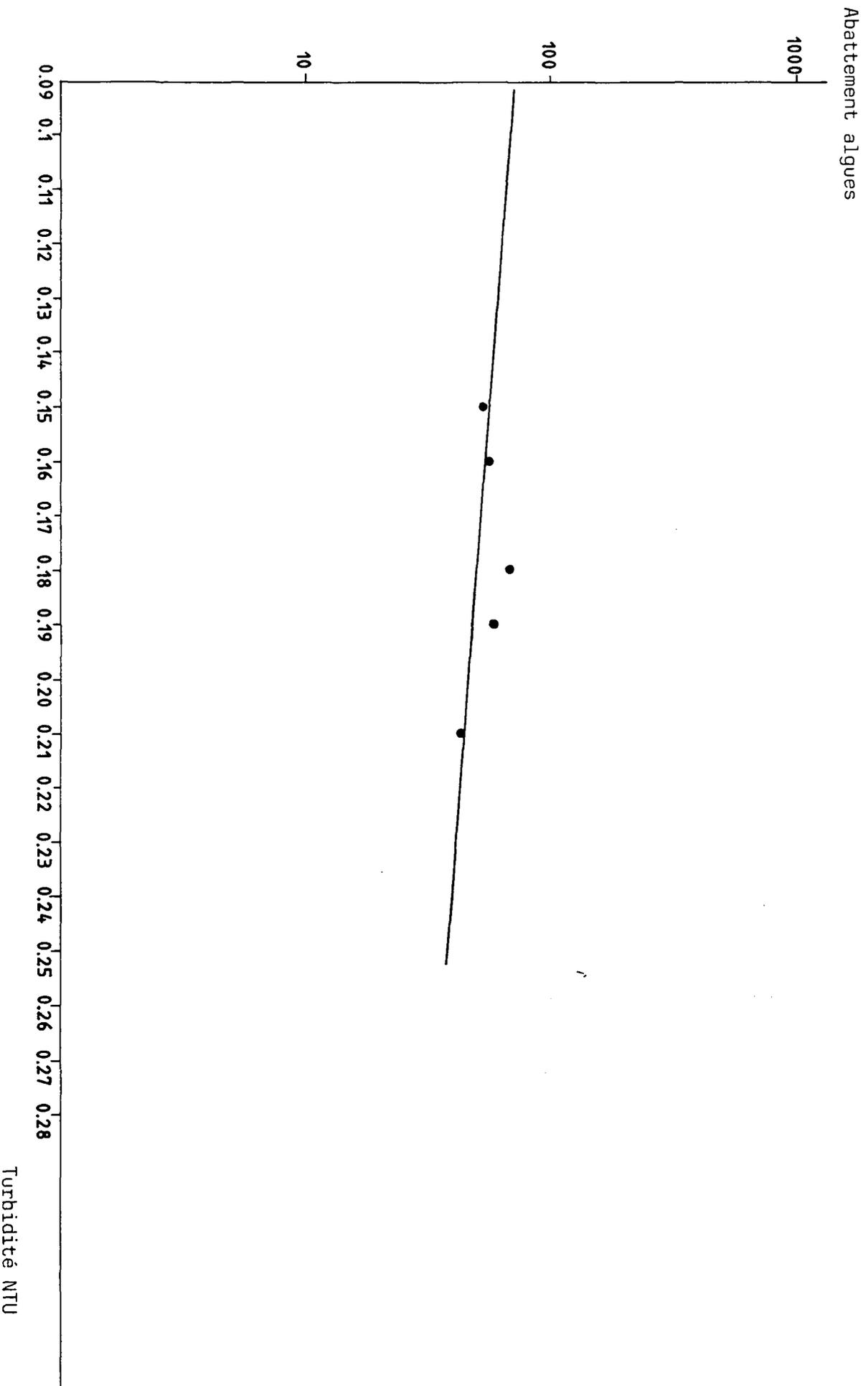


Figure n° 17



Nous pouvons constater comme pour la filtration rapide la relation abattement / turbidité, mais à la différence de la filtration rapide, la pente des courbes est beaucoup plus faible et l'importance de la turbidité est moins importante ce qui explique la meilleure fiabilité de ce traitement vis-à-vis des micro-organismes.

II - INCIDENCE SUR LES TRAITEMENTS DE DESINFECTION

Dans le cas des eaux souterraines alimentant la ville de Paris, les seules causes de turbidité sont dues à la présence d'argiles remises en suspension dans les diaclases de la craie à l'occasion de fortes pluies.

Nous avons donc pu mettre en évidence une très bonne relation entre la turbidité de l'eau et la teneur en aluminium mesurée en absorption atomique sans flamme et qui correspond à l'aluminium présent dans les argiles (figure n° 18).

III - INCIDENCE SUR LES TRAITEMENTS DE DESINFECTION

Que ce soit des eaux souterraines ou des eaux de surface traitées, la dernière étape (parfois la seule) de traitement est une étape de désinfection par ajout d'hypochlorite de sodium.

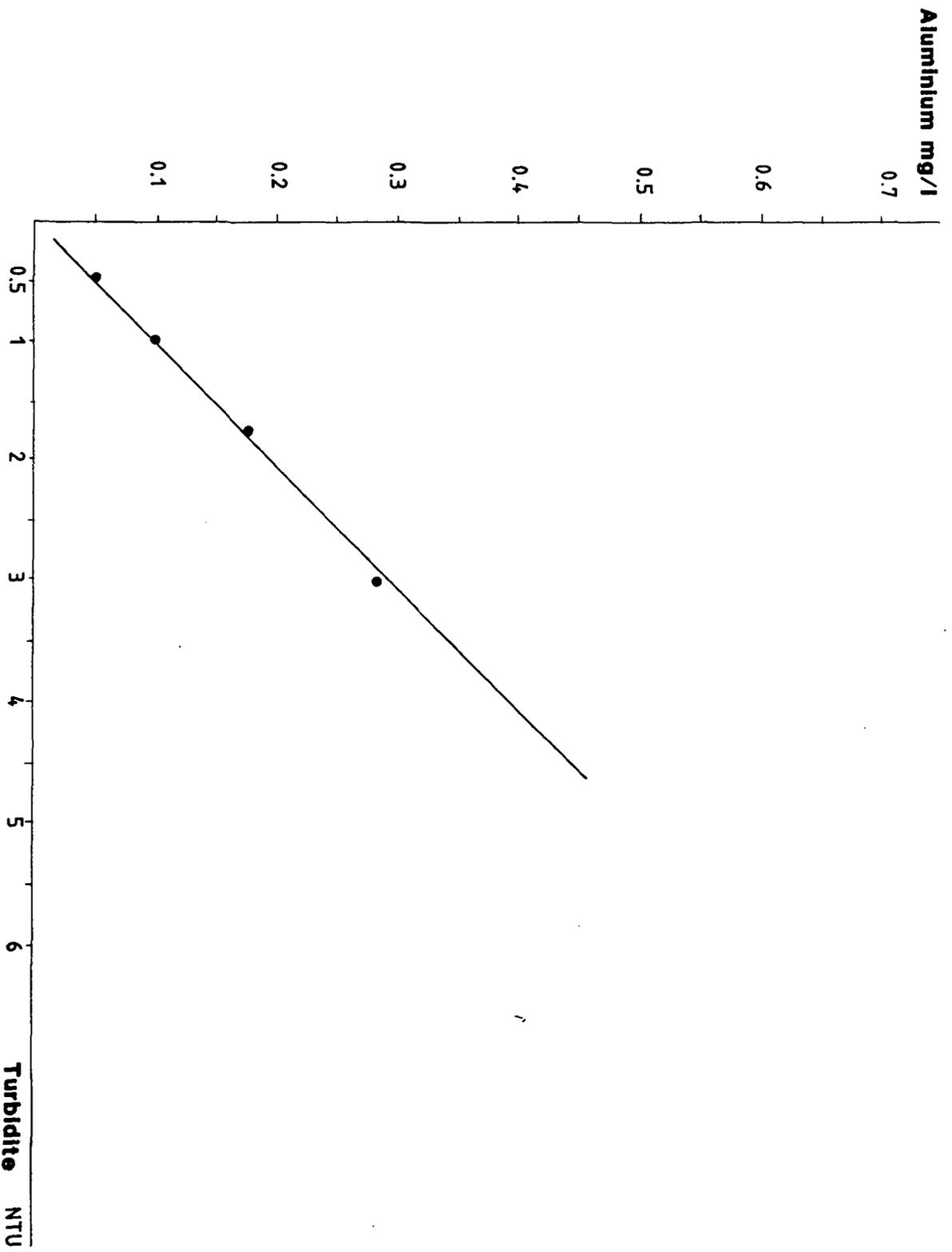
L'efficacité de la désinfection dépend de plusieurs paramètres :

- 1°) de l'eau à traiter,
- 2°) de la dose de désinfectant,
- 3°) du nombre de micro-organismes à éliminer,
- 4°) de la protection de ces micro-organismes.

La turbidité de l'eau va jouer plusieurs rôles sur l'efficacité de la désinfection.

Comme nous l'avons vu, l'abattement des germes est très dépendant de la turbidité résiduelle de l'eau.

Figure n° 18



La présence de turbidité peut augmenter la demande en chlore de l'eau et donc réduire la quantité de chlore disponible pour la destruction des micro-organismes. La figure n° 19 montre la variation de consommation de chlore en fonction de la turbidité de l'eau pour des eaux souterraines dont la seule source de turbidité est due à des argiles. Dans le cas d'usine de potabilisation d'eau de surface, cette variation peut être beaucoup plus importante.

La présence d'argiles peut protéger les bactéries et les rendre insensibles au chlore à une certaine concentration, il sera indispensable d'augmenter les quantités de chlore résiduel pour s'assurer d'une bonne désinfection de l'eau.

C'est sur ce phénomène que sont basés les différentes directives de l'OMS et de USEPA qui préconisent une turbidité inférieure à 1 NTU pour s'assurer d'une bonne désinfection de l'eau par le chlore. Dans ses objectifs futurs l'USEPA propose même 0,1 NTU.

Les figures n° 20 et 21 donnent pour un temps de contact de 15 mn les quantités de chlore résiduel nécessaires en fonction de la turbidité résiduelle pour obtenir un abatement de 3 log. En ce qui concerne les virus les quantités de chlore nécessaires sont différentes. Suivant les auteurs pour 0,1 NTU de turbidité on donne 0,3 à 0,5 ppm de chlore résiduel avec un temps de contact d'une demi-heure. La détection analytique des germes est gênée par la présence d'argile ce qui conduit à une fausse sécurité (figure n° 22).

IV - CONCLUSION

Le but de cet article en deux parties était d'une part de montrer la complexité de la mesure de la turbidité, d'autre part son importance pour le traicteur d'eau.

Bien sûr, une eau sans turbidité n'apporte pas toutes les garanties, certains composés ne sont pas à l'origine du trouble, certains sont dans l'eau à des concentrations beaucoup trop faibles. Par contre, ce dont on peut être sûr, c'est qu'une eau turbide est suspecte.

Dans le cas d'une usine de potabilisation d'eau de surface, c'est une alarme qui montre qu'une étape de la chaîne de traitement n'a pas été suffisamment efficace.

Dans le cas d'eaux souterraines dont on connaît l'origine de la turbidité, la vigilance ne doit pas être relâchée car comme nous l'avons vu, il y a des interférences avec le traitement final de désinfection.

Figure n° 19

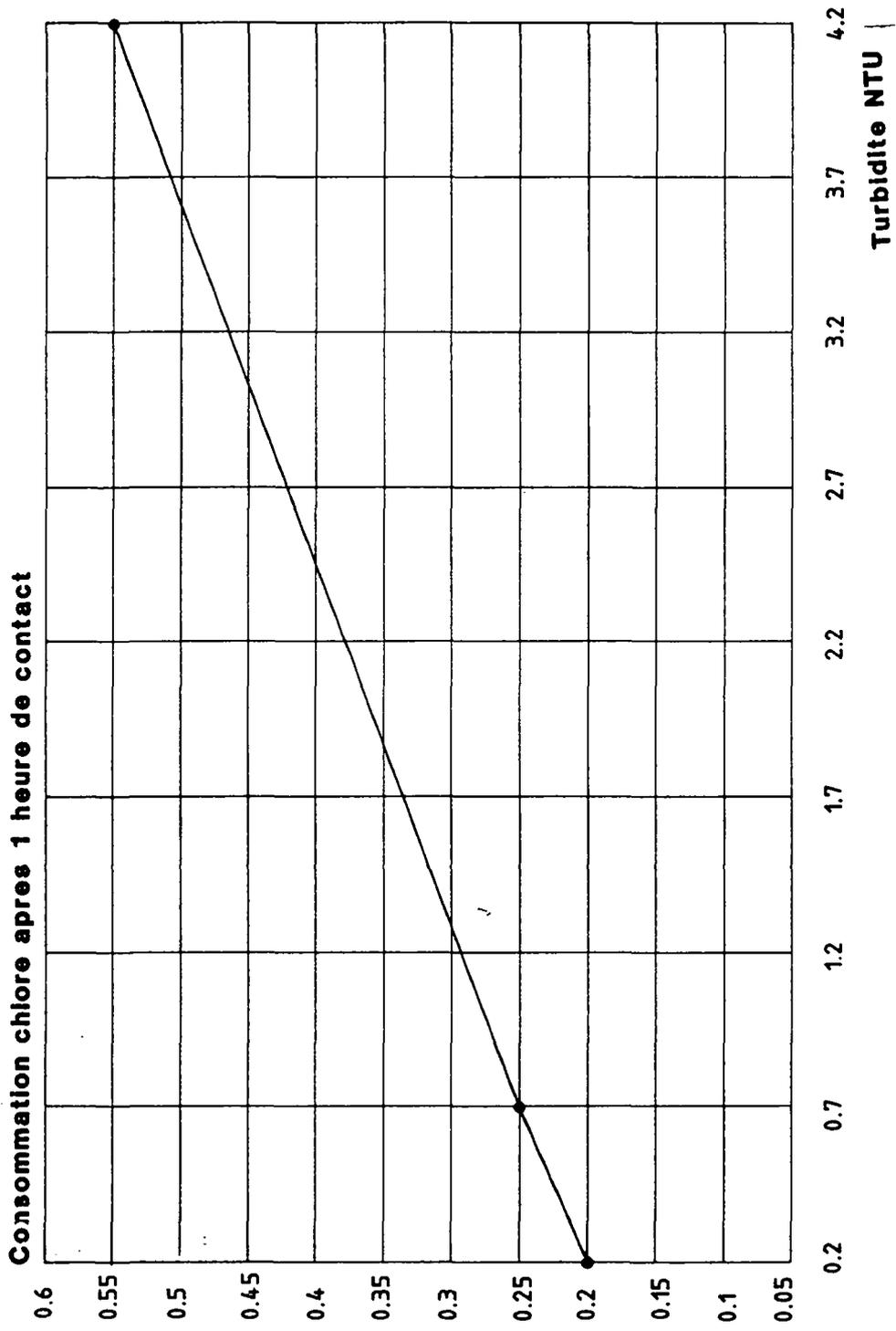
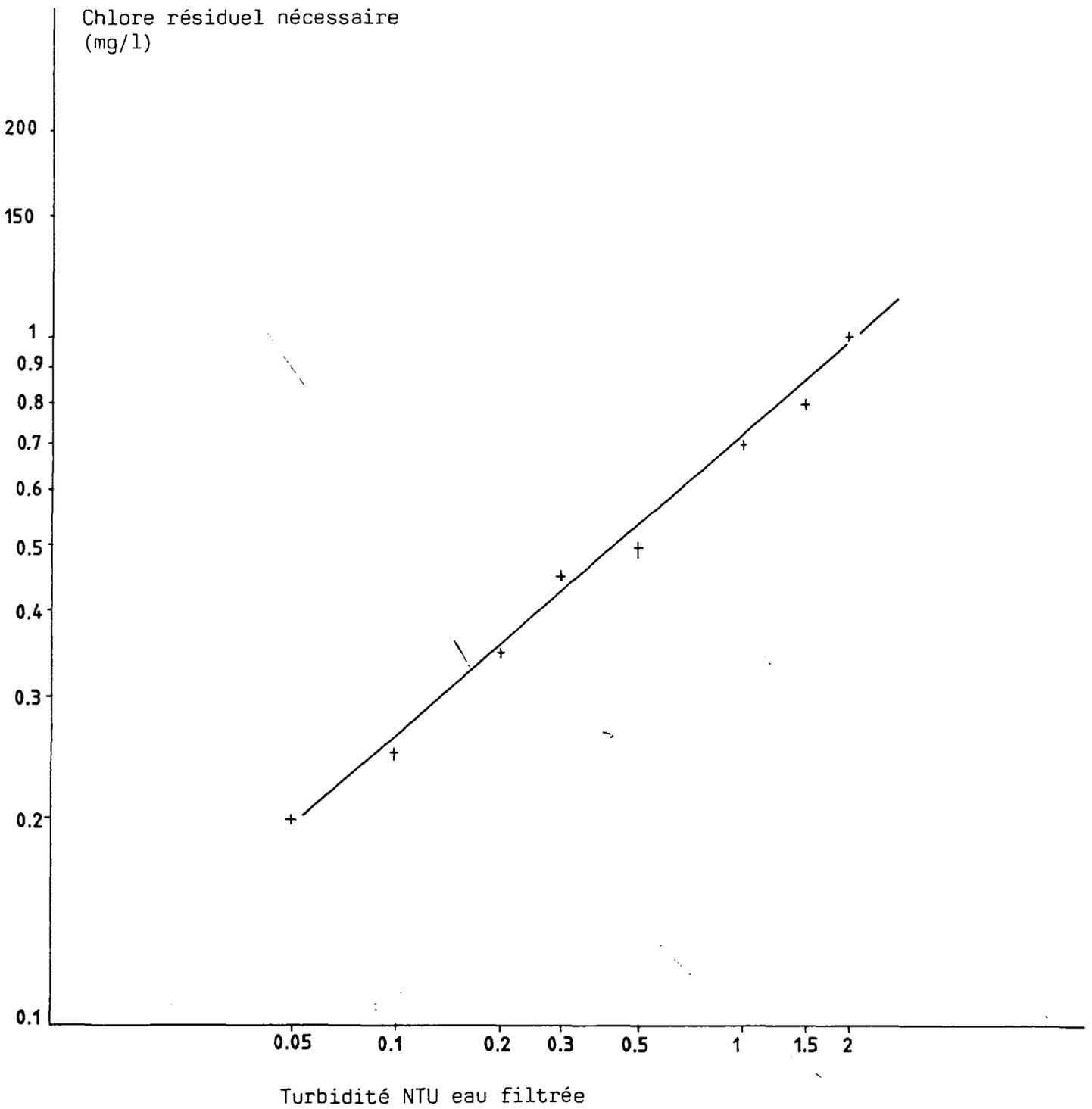


Figure n° 20



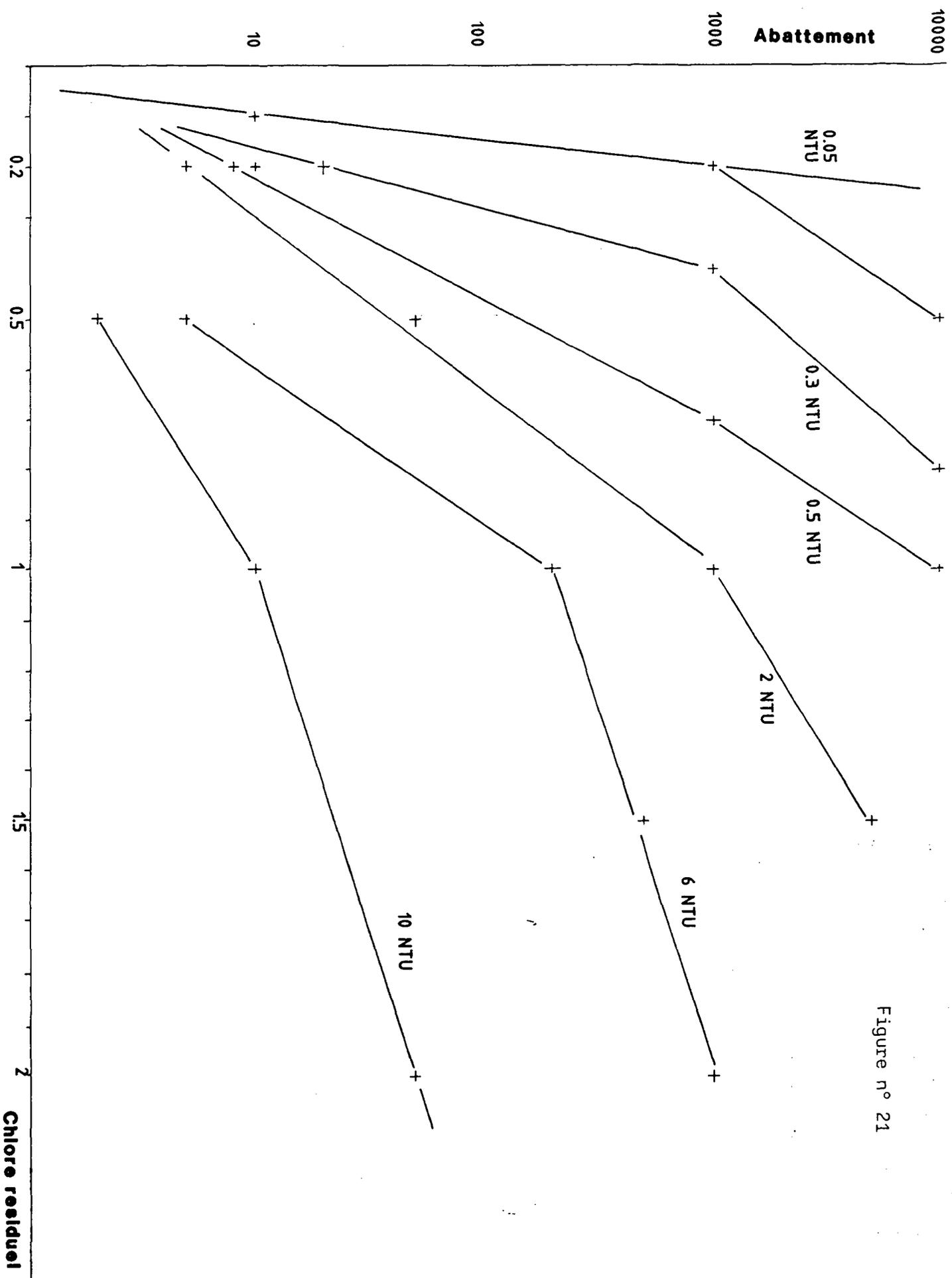


Figure n° 21

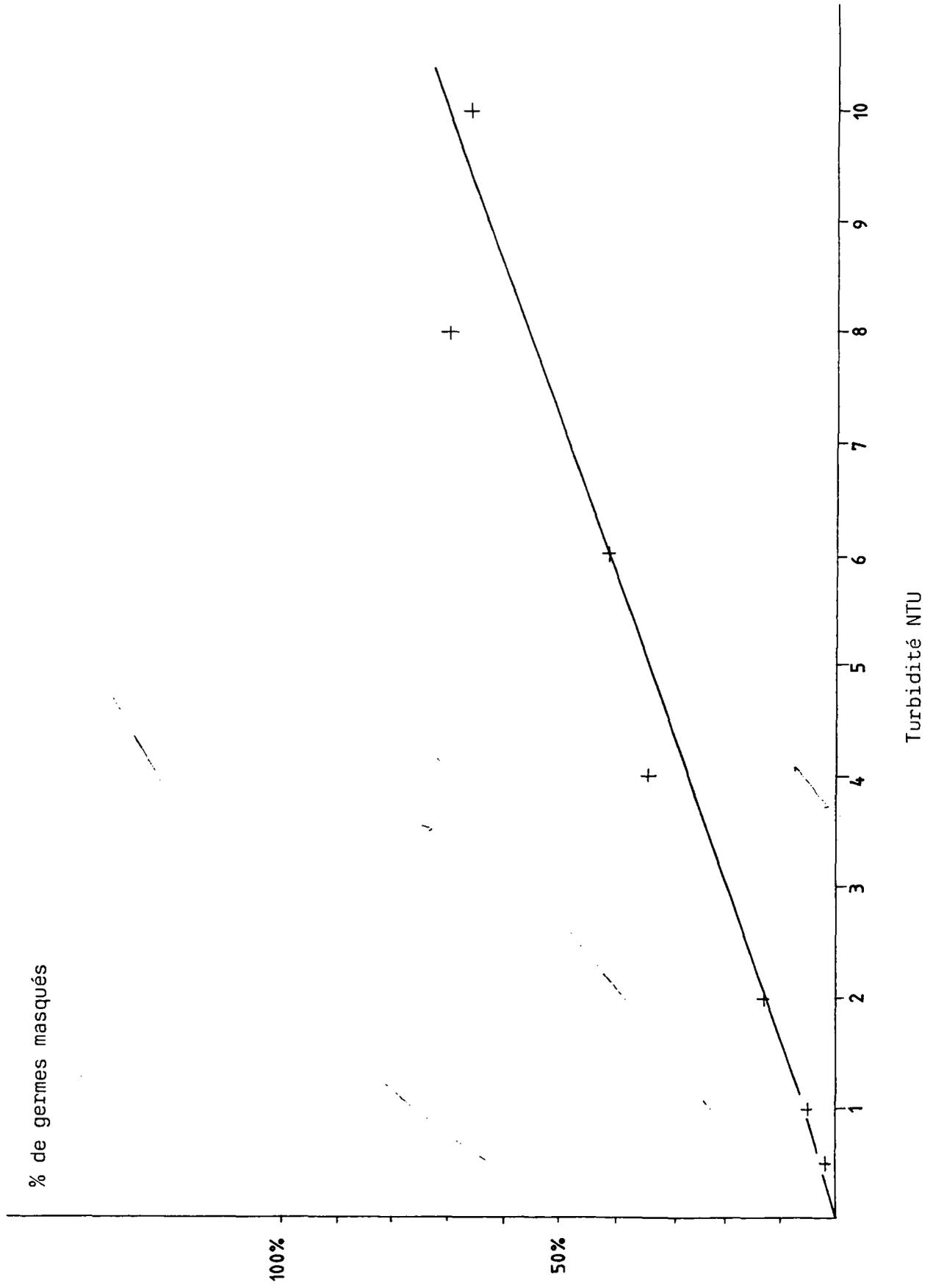
Table 1. Values for A and B

	A	B
Coliforms thermotolerants	- 11,379	3,584
Total coliforms	- 16,510	3,9
Feacal streptococci	- 11,167	3,427
revivifiable aerobic germs at 20°C	- 4,31	2,21
revivifiable aerobic germs at 37°C	- 19,06	3,86

Table 2.

	A	B
Coliforms thermotolerants	- 0,71	2,31
Total coliforms	- 2,52	2,84
Feacal streptococci	- 2,43	2,447
Revivifiable aerobic germs at 20°C	- 6,04	4,09
Revivifiable aerobic germs at 37°C	- 2,45	2,533
Sulfito-reducing clostridium	- 4,18	1,948

Figure n° 22



Dans cette étude nous avons pu mettre en évidence la grande différence entre les usines physico-chimiques à filtration rapide et les usines biologiques à filtration lente où l'élimination des bactéries se fait par adsorption mais aussi par concurrence vitale à l'intérieur du massif filtrant.