



OMS

BUREAU REGIONAL DE L'EUROPE

54678

EUR/ICP/CEH 041(5)
ORIGINAL: ANGLAIS

E: 51514

*Programme à long terme de surveillance
continue et de recherche en matière de
pollution de la mer Méditerranée
(MED/POL Phase II)*

RECOMMANDATIONS POUR LA SURVEILLANCE SANITAIRE DES ZONES COTIERES A USAGE RECREATIF ET DES ZONES CONCHYLICOLES

PARTIE IV

METHODES STATISTIQUES



PNUE

Publié en coopération avec le
Programme des Nations Unies pour
l'Environnement

SCHERFIGSVEJ 8
DK-2100 COPENHAGUE Ø
DANEMARK

TEL: (45) 39 17 17 17
TELEFAX: (45) 39 17 18 18
TELEX: 15348

1995

EUR/Santé pour tous, BUT 20

BUT 20

QUALITÉ DE L'EAU

D'ici l'an 2000, toutes les populations de la Région devraient disposer d'un approvisionnement satisfaisant en eau potable, et la pollution des eaux souterraines, des cours d'eau, des lacs et des mers ne devrait plus engendrer de risques pour la santé.

RÉSUMÉ

Ce document est le quatrième d'une série de cinq dans laquelle sont formulées des recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Il décrit les procédures applicables à l'évaluation et à l'interprétation des données microbiologiques obtenues dans le cadre de la surveillance de ces zones. La méthode décrite est fondée sur un modèle statistique et doit être appliquée à une série homogène de concentrations expérimentales obtenues pendant une période continue et exprimées par un indicateur microbien spécifique.

Les deux méthodes utilisées (méthode des rangs et méthode de la distribution lognormale) font l'objet de comparaisons. Les moyens techniques requis sont énumérés et les procédures expliquées. Les autres sections évoquent notamment les techniques d'interpolation, les considérations pratiques à prendre en compte et l'interprétation des données. Une liste des indications devant figurer dans le rapport d'évaluation est également fournie.

Deux annexes séparées contiennent des exemples d'évaluation de la qualité microbiologique des eaux côtières par a) la méthode des rangs et b) la méthode de la probabilité lognormale. Une troisième annexe récapitule les valeurs les plus fréquemment utilisées de la distribution t de Student.

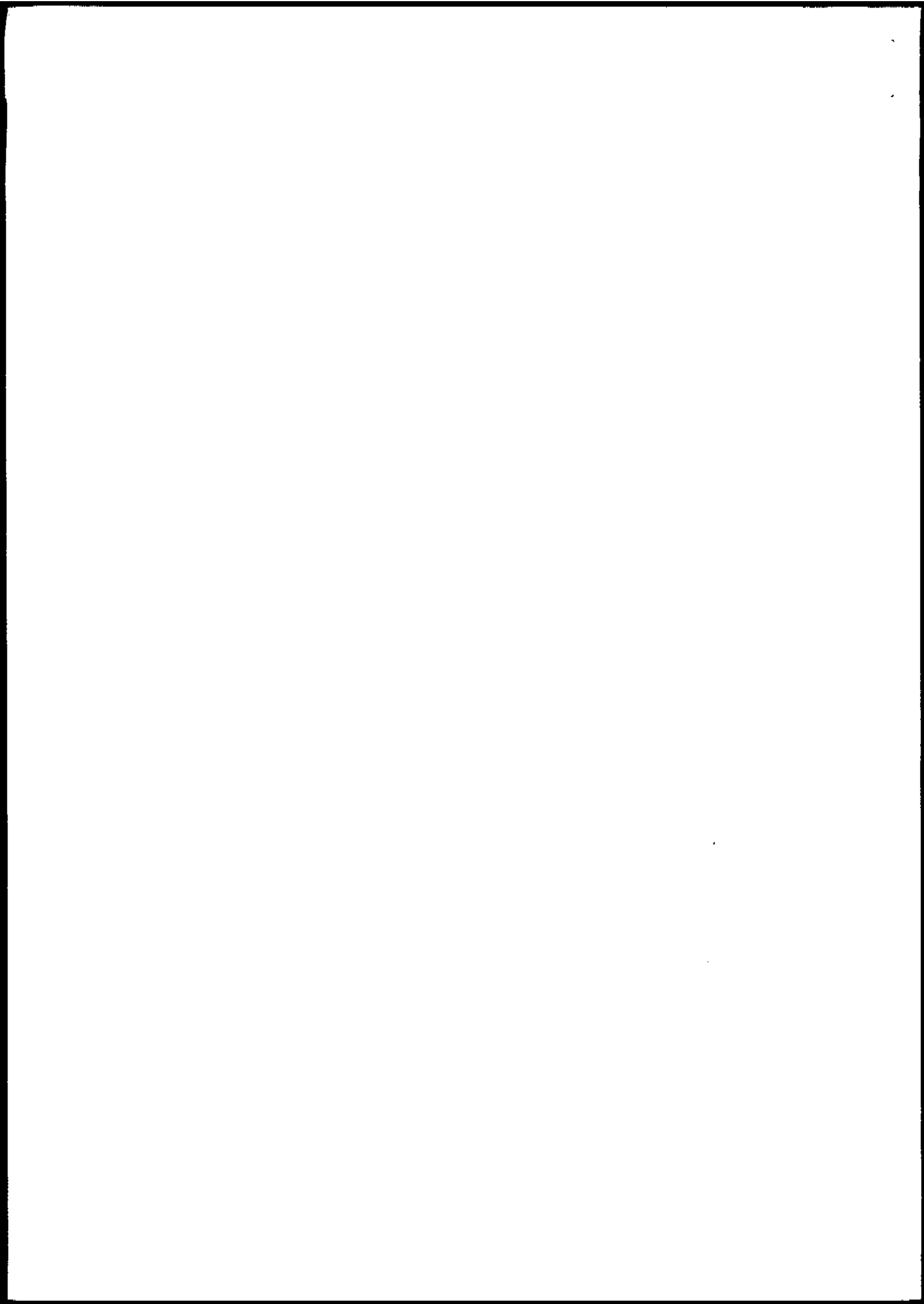
Mots clés

ENVIRONMENTAL MONITORING
SEAWATER
WATER POLLUTANTS
TRAVELS AND TOURISM
SHELLFISH
STATISTICS – methods
(1) UNEP
EUROPE

**METHODES STATISTIQUES POUR L'EVALUATION DES RESULTATS
DE LA SURVEILLANCE CONTINUE DE LA QUALITE DES EAUX
COTIERES A USAGE RECREATIF ET CONCHYLICOLE**

SOMMAIRE

	Page
1. Introduction	1
2. Portée et domaine d'application	1
3. Principes	1
4. Comparaisons méthodologiques	2
4.1 Méthodes des rangs	2
4.2 Méthode de la distribution lognormale	3
5. Moyens techniques	4
6. Procédures	5
7. Techniques d'interpolation	10
8. Considérations pratiques	11
9. Interprétation	11
10. Correspondance aux normes	12
11. Rapport d'évaluation	12
Annexe 1	15
Annexe 2	17
Annexe 3	23
12. Références	25



1. INTRODUCTION

La version originale de cette partie des lignes directrices a été établie par l'Organisation Mondiale de la Santé dans le cadre du Programme à long terme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution de la mer Méditerranée (MED POL Phase II) et elle a été publiée par le Programme des Nations Unies pour l'environnement comme Méthode de référence pour les études de pollution marine no. 55 de la série du Centre d'activité du Programme pour les mers régionales du PNUE.

La version actuelle constitue une réédition de la version originale dans le cadre des nouvelles lignes directrices globales pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et conchylicole.

2. PORTEE ET DOMAINE D'APPLICATION

La méthode décrite convient pour l'évaluation et l'interprétation des données microbiologiques relatives aux eaux côtières et aux parcs à coquillages, aux mers tempérées et tropicales, aux fins de la surveillance sanitaire des eaux de baignade et des parcs à coquillages.

Les concentrations des indicateurs microbiens sont très variables, pour une station d'échantillonnage déterminée, en fonction notamment du jour et de l'heure de l'échantillonnage. Etant donné que le respect des critères et normes nationaux et internationaux suppose que soit déterminée une concentration microbienne non dépassée sur un certain pourcentage d'échantillons recueillis, il apparaît intéressant d'avoir recours à une méthode systématique d'évaluation des données qui, outre qu'elle permet de doser les concentrations microbiennes par rapport aux pourcentages établis, aide à comprendre les variations dans le temps de la qualité microbiologique de l'eau côtière et, si possible, donne certaines informations sur le type et l'importance relative des facteurs qui l'affectent.

3. PRINCIPES

La méthode d'évaluation et d'interprétation décrite est fondée sur un modèle statistique et doit être appliquée à une série homogène de concentrations expérimentales obtenues dans une station d'échantillonnage pendant une période continue et exprimées par un indicateur microbien spécifique.

On a montré que la concentration des indicateurs microbiens présents dans les échantillons d'eau recueillis à une station d'échantillonnage, au cours d'une période continue suit très étroitement une distribution des probabilités lognormale. En d'autres termes, le logarithme naturel des concentrations microbiennes semble suivre d'assez près une distribution des probabilités normale.

La distribution des probabilités lognormale qui s'adapte le plus étroitement possible à un ensemble de concentrations microbiennes expérimental peut être obtenue par une méthode d'interpolation graphique, ce qui permet une estimation directe des concentrations microbiennes non dépassées dans aucun pourcentage des échantillons.

Plusieurs paramètres statistiques utiles à la compréhension des facteurs qui affectent la qualité microbiologique des eaux côtières étudiées peuvent en être déduits.

Cette méthode statistique d'évaluation et d'interprétation des données microbiologiques peut également être appliquée sur une base numérique, grâce à l'emploi de programmes d'ordinateur appropriés.

4. COMPARAISONS METHODOLOGIQUES

Le respect des normes et critères nationaux et internationaux relatifs à la qualité microbiologique suppose, en règle générale, que soit déterminées les concentrations microbiennes non excédées dans un pourcentage donné d'échantillons d'eau analysés. Une comparaison ultérieure entre les concentrations microbiennes résultantes et celles qui sont établies dans les critères ou les normes permet une évaluation de la qualité microbiologique de l'eau par rapport aux normes ou critères considérés.

Bien que la plupart des critères et normes existants pour la qualité microbiologique de l'eau soient exprimés par deux concentrations d'un indicateur microbien spécifié, dont il conviendrait qu'elles ne soient pas dépassées dans deux pourcentages correspondants d'échantillons, très rares sont les critères ou les normes pour lesquels on dispose d'indications explicites sur la façon de tirer d'un ensemble de données expérimentales les concentrations microbiennes qui conviennent.

On peut citer en guise d'illustration les critères provisoires OMS/PNUE pour la qualité microbiologique des eaux côtières à usage récréatif (OMS/PNUE 1979) où il est précisé que les concentrations suivantes de coliformes fécaux d'un minimum de dix échantillons d'eau recueillis à la saison des baignades ne devraient pas être dépassés: a) 100 coliformes fécaux pour 100 ml dans 50% des échantillons et b) 1000 coliformes fécaux pour 100 ml dans 90% des échantillons.

4.1 Méthodes des rangs

La méthode la plus fréquemment utilisée pour déterminer les concentrations microbiennes nécessaires aux fins d'évaluation de la qualité de l'eau suppose que les concentrations expérimentales soient rangées en ordre croissant et que l'on examine une sélection ultérieure de concentrations microbiennes affectée d'un numéro d'ordre égal à celui qui résulte du produit du nombre total d'échantillons examinés et du pourcentage spécifié dans les critères ou normes. Si l'on suppose que le nombre de concentrations disponibles est $n = 20$, les concentrations microbiennes en cause, lorsqu'on applique le critère provisoire OMS/PNUE, serait affectées des numéros d'ordre $n_{50} = 20 \times 0,50 = 10$ et $n_{90} = 20 \times 0,90 = 18$, respectivement.

Parmi les caractéristiques de cette méthode des rangs, il convient de faire ressortir ce qui suit:

1. Elle est très facile à réaliser, car elle ne demande que des opérations simples de mise en ordre et de multiplication et rend inutile l'emploi d'une formule complexe ou d'analyses graphiques laborieuses.

2. Elle entraîne fréquemment une difficulté pratique, à savoir la nécessité d'interpréter des numéros d'ordre qui ne sont pas des nombres entiers. A moins que le nombre de résultats d'expériences disponibles, "n", ne soit pas le bon, son produit par le pourcentage correspondant des mesures entrant dans la norme est un nombre fractionnaire, d'où la difficulté d'avoir à l'associer à un nombre entier représentant le numéro d'ordre de la série expérimentale. Par exemple, si l'on suppose que le nombre de concentrations disponibles est $n = 12$, les numéros d'ordre intéressants lorsqu'on applique les critères de concentration OMS/PNUE seraient $n_{50} = 12 \times 0,50 = 6$ et $n_{90} = 12 \times 0,90 = 10,8$, respectivement. Le premier est un nombre entier, le second est un nombre fractionnaire et ne correspond à aucun des 12 nombres entiers représentant le même nombre de rangs dans l'ordre des concentrations expérimentales.

Pour résoudre cette difficulté, on arrondit généralement le nombre fractionnaire étant transformé en un nombre entier que l'on peut alors utiliser pour déterminer la concentration microbienne souhaitée. Pour arrondir les nombres, on ajoute en général au nombre réel 0,5 unité pour ensuite éliminer la partie fractionnaire du nombre obtenu. Le nombre fractionnaire précédemment obtenu, $n_{90} = 10,8$, serait alors transformé en un nombre entier $n_{90} = 11$.

3. La précision de la concentration microbienne ainsi choisie est assez variable et relativement faible car elle est essentiellement déterminée par le numéro d'ordre à l'intérieur de la série ordonnée des résultats disponibles. Toute concentration entrant dans la gamme définie par les concentrations immédiatement au-delà et en deçà de celles qui sont associées à un pourcentage déterminé aurait pu être retenue comme correspondant au même numéro d'ordre pour la concentration effectivement choisie.

4. La méthode ne tient pas compte des valeurs absolues d'aucun des résultats d'expérience à l'exception de ceux qui sont liés aux pourcentages spécifiés par les critères ou les normes.

5. La méthode se concentre sur le choix d'une ou deux concentrations microbiennes spécifiques dans un ensemble de valeurs d'expérience et ne donne donc aucune indication sur les variations dans le temps de la qualité microbiologique de l'eau à la station d'échantillonnage considérée.

L'Annexe 1 illustre le processus d'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau côtière en Méditerranée, conformément aux critères provisoires OMS/PNUE, et selon la méthode de classement précédemment examinée.

4.2 Méthode de la distribution lognormale

La méthode statistique proposée pour l'évaluation et l'interprétation des résultats microbiologiques est fondée sur la propriété qui a été observée pour les concentrations microbiennes mesurées à une station d'échantillonnage, à savoir qu'elle suit une distribution des probabilités lognormale. La méthode suppose que soit déterminée la distribution normale qui correspond le plus étroitement possible aux logarithmes naturels des résultats expérimentaux. On peut procéder à l'ajustement par des méthodes graphiques ou numériques, l'une et l'autre étant susceptibles de produire des résultats identiques à condition que les étapes du calcul soient connues avec une précision suffisante.

Parmi les caractéristiques de la méthode de la distribution des probabilités lognormale, il convient de faire ressortir ce qui suit:

1. La procédure qu'il convient de suivre est légèrement plus élaborée que la méthode des rangs qui vient d'être examinée. Elle ne comporte pas de formules complexes mais requiert toutefois une certaine connaissance de la géométrie et certaines aptitudes au traitement graphique des données. Tout technicien qualifié peut obtenir de bons résultats en adhérant strictement aux procédures proposées à condition d'avoir reçu un minimum de formation pratique.
2. Le nombre total de résultats disponibles ne donne lieu à aucune difficulté pratique. Tout ensemble de données d'expériences peut être évalué, encore que les avantages de cette méthode deviennent d'autant plus évidents que le nombre de concentrations microbiennes est plus élevé. Les séries de données comportant plus de 10 résultats d'expériences assurent les meilleures conditions d'interprétation.
3. La méthode peut être affinée par des moyens statistiques et la précision est en général supérieure à celle de la méthode des rangs précédemment discutée.
4. La méthode tient compte des valeurs absolues de toutes les concentrations microbiennes considérées, d'où une estimation plus précise de la concentration qui n'est dépassée dans aucun pourcentage des échantillons.
5. La méthode suppose que soit déterminée la distribution des probabilités lognormale qui correspond le plus étroitement possible aux résultats d'expériences et donne ainsi des renseignements très utiles sur les fluctuations dans le temps de la qualité microbiologique à la station d'échantillonnage considérée, ainsi que sur les variations relatives entre deux ou plusieurs stations d'échantillonnage.

5. MOYENS TECHNIQUES

La préparation de la représentation graphique requise pour la méthode de la distribution lognormale, relative à une série de concentrations microbiennes, suppose que l'on dispose des moyens techniques suivants:

- 5.1 Une machine à calculer susceptible d'établir le logarithme naturel d'un nombre. A défaut, on peut se servir d'une table des logarithmes ou d'une échelle logarithmique graphique.
- 5.2 Une feuille de papier gradué selon les probabilités normales ou les probabilités lognormales. Ces feuilles ont deux axes coordonnés, l'un correspondant à une échelle non linéaire pour la distribution des probabilités normale et l'autre, soit une échelle arithmétique, soit une échelle logarithmique.

Les figures 1 et 2 représentent ces deux types de papier.

La propriété spécifique d'un papier de probabilité normal réside dans le fait qu'un ensemble de valeurs expérimentales répondant à une population normalement distribuée donnera une ligne droite lorsqu'il est représenté sur ce papier.

Les concentrations microbiennes obtenues pour une station d'échantillonnage sont considérées comme suivant une distribution des probabilités lognormale, aussi leur analyse graphique suppose-t-elle soit que l'on calcule le logarithme naturel des données pour le représenter ensuite sur un papier des probabilités normales ou, plus simplement, savoir, que l'on représente les données directement sur un papier de probabilité lognormal.

A défaut de papier de probabilité, on peut se servir des échelles de probabilité données aux figures 1 et 2.

5.3 Une règle à dessin transparente d'environ 30 cm de long.

5.4 Des instruments à dessin tels que crayons et gomme.

5.5 Les imprimés pour enregistrer les données et les paramètres statistiques obtenus par un processus d'évaluation.

6. PROCEDURES

On trouvera ci-après une description des procédures applicables à la méthode de la distribution lognormale et son application pratique est illustrée à l'Annexe 2.

Les étapes ci-après s'imposent lorsqu'on prépare un graphique des probabilités lognormal à partir d'un ensemble de concentrations microbiennes.

6.1 En utilisant les imprimés sur lesquels les laboratoires ont enregistré leurs données, obtenir l'ensemble des concentrations microbiennes consécutives qui, correspondant à un indicateur microbien conventionnel, couvrent la période à laquelle on s'intéresse.

6.2 Classer les résultats d'expérience en ordre de grandeur croissante, ce qui permet d'obtenir une nouvelle série de concentrations microbiennes dans laquelle chaque valeur est inférieure ou égale à celle qui la suit.

6.3 Préparer une feuille de papier de probabilité. Lorsqu'on dispose de papier de probabilité normal, la série des concentrations microbiennes précédemment classée doit être convertie en logarithmes naturels. Cette transformation peut être effectuée soit par des moyens numériques, avec une machine à calculer, soit avec une table des logarithmes soit encore par des moyens graphiques, en utilisant une échelle logarithmique tirée de l'axe des ordonnées de la figure 2.

Lorsqu'on dispose de papier de probabilité lognormal il n'est pas nécessaire de procéder aux transformations, les concentrations microbiennes étant reportées directement sur un système de coordonnées tel que celui qui apparaît à la figure 2.

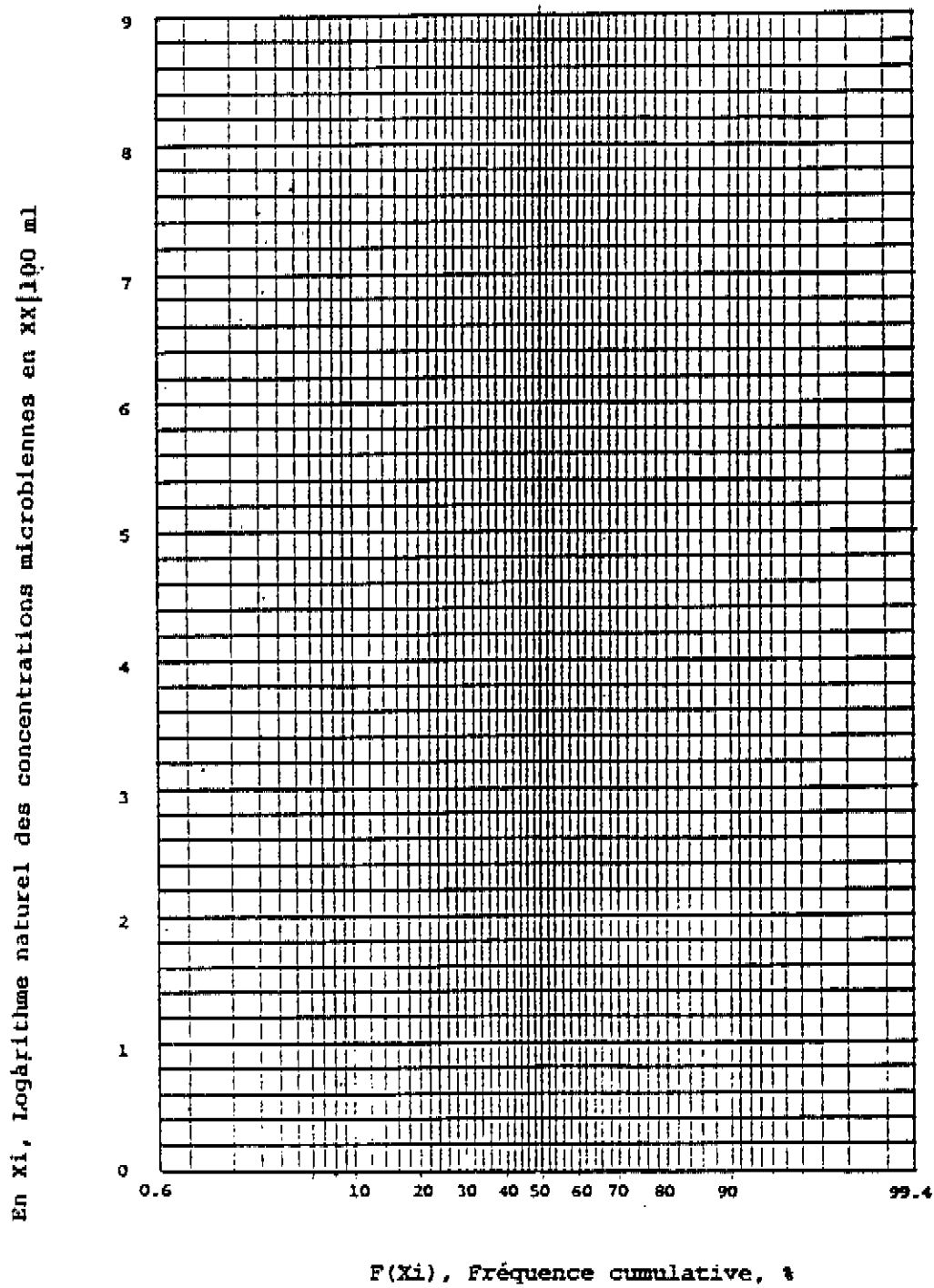


Figure 1. Papier de probabilité normal pour l'évaluation des données microbiologiques.

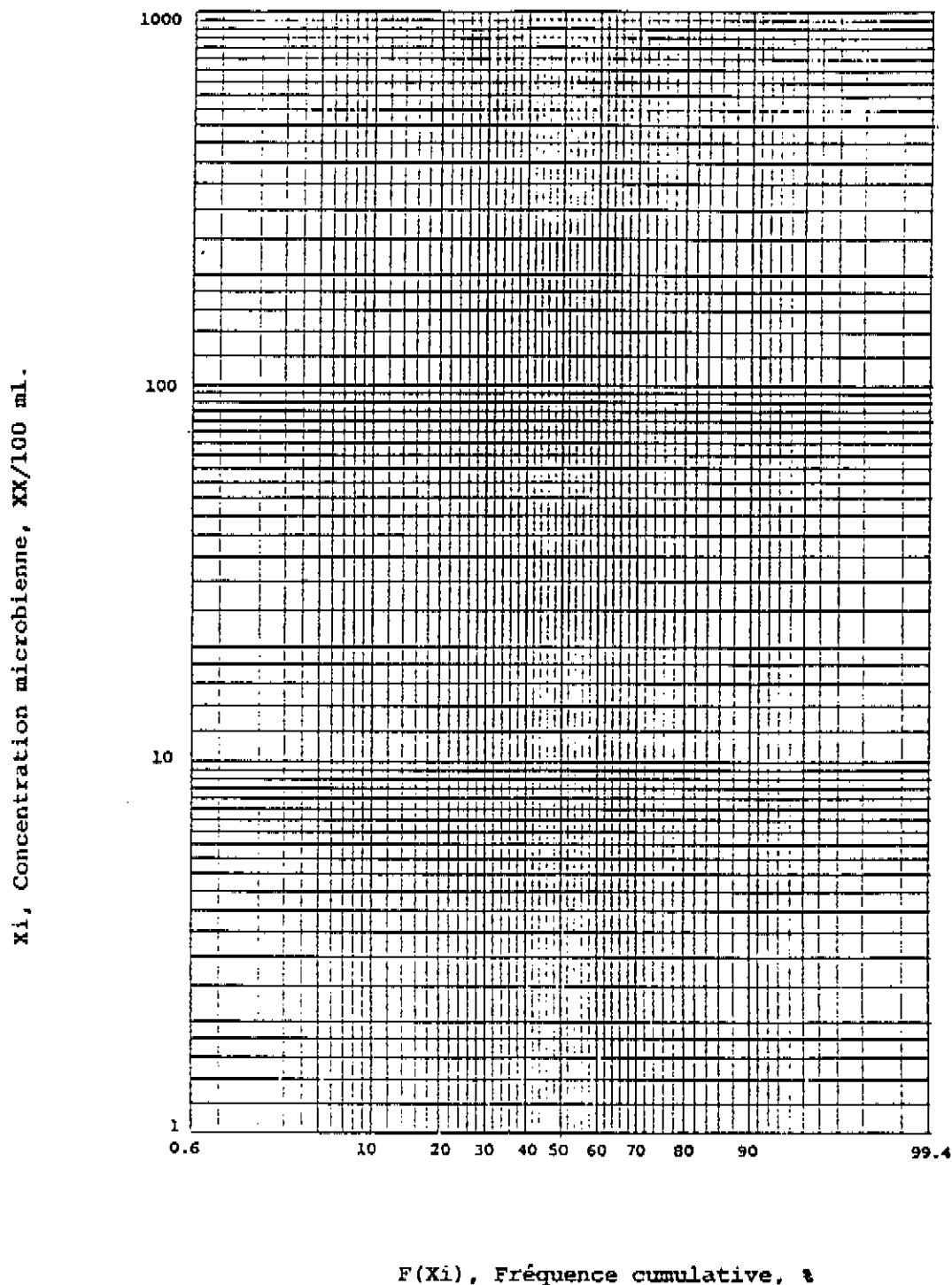


Figure 2. Papier de probabilité lognormal pour l'évaluation des données microbiologiques.

6.4 Calculer les fréquences cumulatives prévues, $F(X_i)$, pour chacune des concentrations microbiennes précédemment classées, en utilisant l'expression:

$$F(X_i) = \frac{i}{n + 1} \times 100$$

où:

X_i	=	concentration microbienne à la $n^{\text{ième}}$ position,
$F(X_i)$	=	fréquence cumulative associée à la valeur des données de la $n^{\text{ième}}$ position
i	=	numéro d'ordre de chaque concentration microbienne
n	=	nombre total de concentrations microbiennes de la série.

6.5 Lorsqu'on dispose de papier de probabilité normal, on y porte les valeurs transformées en logarithmes $\ln X_i$, par rapport aux fréquences cumulatives correspondantes, $F(X_i)$.

Lorsqu'on a du papier de probabilité lognormal, les concentrations microbiennes X_i devraient être portées directement en regard des fréquences cumulatives correspondantes, $F(X_i)$.

L'axe des coordonnées sur lequel on porte les données transformées en logarithmes est en général appelé l'axe des observations et l'axe des coordonnées sur lequel figure $F(X_i)$, l'axe des fréquences cumulatives. Il importe peu que l'axe des observations ou l'axe des fréquences cumulatives soit l'abscisse ou l'ordonnée, tout dépend de la façon dont le papier a été préparé.

6.6 La distribution des probabilités lognormale qui répond le mieux aux résultats d'expériences est alors obtenue par interpolation graphique d'une droite relative aux points précédemment portés sur le graphique. On trouvera à la section 7 une discussion détaillée des méthodes d'interpolation.

Cette ligne droite représente la distribution cumulative des probabilités des concentrations microbiennes qui n'auront pas été dépassées dans un pourcentage déterminé des cas considérés.

6.7 La concentration microbienne non dépassée dans un pourcentage donné de la série des concentrations microbiennes étudiées peut être déterminée graphiquement. Il suffit de trouver la concentration qui correspond sur la droite précédemment tracée, au pourcentage intéressant.

Il peut être utile, pour les concentrations microbiennes non dépassées dans, par exemple, 50% des échantillons, d'utiliser la notation XX_{50} , où XX représente les deux initiales de l'indicateur microbien considéré.

En guise d'illustration on dira que: $CT_{50} = 2480$ CT/100 ml, ce qui signifie que 50% des concentrations considérées sont inférieures ou égales à 2480 coliformes totaux pour 100 ml, à la station d'échantillonnage étudiée au cours de la période considérée.

6.8 Calculer l'écart-type de la distribution des probabilités lognormale. L'écart-type est une mesure directe de la dispersion des résultats d'expérience par rapport à leur valeur moyenne. On en tire une indication claire des variations de la qualité microbiologique de l'eau à la station d'échantillonnage étudiée au cours de la période considérée.

L'écart-type d'une distribution des probabilités lognormale est défini par l'expression :

$$s = \ln XX_{84} - \ln XX_{50} = \ln XX_{50} - \ln XX_{16}$$

$s =$ écart-type de la distribution des probabilités lognormale

XX_{84} , XX_{50} , XX_{16} = concentrations microbiennes - dérivées de la distribution interpolée des probabilités non dépassées dans 84%, 50% et 16% des échantillons, respectivement.

La définition ci-dessus de l'écart-type doit toujours être prise en compte lorsqu'on utilise du papier de probabilité normal ou lognormal afin d'éviter toute confusion imputable au type d'échelle retenu pour représenter graphiquement les concentrations microbiennes.

L'écart-type de la distribution des probabilités est en liaison directe avec la pente géométrique de la ligne droite représentant la distribution des probabilités lognormale. Plus l'écart-type de la distribution des probabilités est élevé, et plus la droite se rapproche de la position verticale.

6.9 L'intervalle de confiance de la série des concentrations microbiennes peut être obtenu directement à partir de la distribution des probabilités précédemment représentée.

L'intervalle de confiance du pourcentage $(1 - \alpha) \times 100$ est défini par les limites ci-après:

$$(XX(\alpha/2), XX(1 - \alpha/2))$$

où:

XX = initiales de l'indicateur microbien
 α = niveau de signification

En guise d'illustration, on dira que l'intervalle de confiance à 90% des concentrations mesurées à une station d'échantillonnage serait défini par les deux concentrations ci-après:

$$(XX_{05}; XX_{95}),$$

où XX05 et XX90 sont les concentrations de l'indicateur microbien XX qui n'ont pas été dépassées dans 5% et 95% des échantillons, ainsi qu'il ressort par estimation de la distribution lognormale interpolée sur le graphique.

6.10 L'intervalle de confiance de la concentration microbienne médiane, XX50, à une station d'échantillonnage déterminée, est défini par les deux limites ci-après:

$$\left(\exp \left(\ln XX50 - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2, n-1} \right); \exp \left(\ln XX50 + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2, n-1} \right) \right)$$

où:

XX50	=	concentration microbienne estimée à partir de la distribution lognormale, XX/100 ml,
s	=	écart-type de la distribution lognormale
$t_{1-\alpha/2, n-1}$	=	valeur de la distribution cumulative de Student, avec n-1 degrés de liberté,
α	=	niveau de signification,
$(1-\alpha)100$	=	intervalle de confiance, %
n	=	nombre de concentrations microbiennes incluses dans la série de données.

L'annexe 3 récapitule les valeurs les plus fréquemment utilisées de la distribution t de Student telles qu'elles apparaissent dans le tableau 18 des **directives applicables à la surveillance sanitaire de la qualité des eaux littorales** (OMS/PNUE, 1977a).

6.11 La distribution lognormale précédemment obtenue définit tous les paramètres statistiques nécessaires pour la vérification des autres hypothèses possibles tant pour la distribution elle-même que pour la comparaison de cette distribution avec d'autres, qu'elles aient été obtenues à la même station d'échantillonnage ou ailleurs.

7. TECHNIQUES D'INTERPOLATION

Pour interpoler une ligne droite sur un groupe de points, il convient de tracer empiriquement une droite telle que les surfaces apparaissant de chaque côté de la ligne polygonale virtuelle qui relie des points consécutifs soient approximativement égales.

On peut avoir recours à des méthodes d'interpolation plus exactes, comme la méthode des moindres carrés. L'expérience pratique acquise avec l'interpolation de nombreuses séries de concentrations microbiennes montre qu'un analyste expérimenté peut obtenir des interpolations de droites d'une précision comparable à celle qui est réalisée avec des méthodes numériques plus élaborées.

Les difficultés pratiques rencontrées lorsqu'on cherche à interpoler une ligne droite à travers un nuage de points représentant des données, devraient être considérées comme des indices d'une mauvaise correspondance avec le modèle envisagé de distribution lognormale. Une interpolation précise, réalisée par des méthodes numériques complexes, n'améliorerait guère la situation.

8. CONSIDERATIONS PRATIQUES

Un examen visuel des points représentant les données expérimentales qui apparaissent sur un graphique lognormal permet de vérifier de manière pratique et direct si les résultats suivent ou non une distribution lognormale. Plus les points portés sur le graphique se rapprochent d'une droite, et plus les données expérimentales suivent une distribution des probabilités lognormale.

Les points représentant des données situés aux deux extrémités de la distribution ont souvent tendance à s'écarter de la configuration générale des autres points. L'expérience pratique montre qu'un ajustement étroit de la plupart, soit 70 à 90%, des points centraux, peut être considéré comme une forte indication de la validité du modèle statistique proposé.

Bien que les concentrations microbiennes zéro ne puissent être transformées en logarithmes et ne puissent donc être portées sur le graphique des probabilités, il conviendrait d'en tenir compte à toutes fins pratiques lors du classement des données. Ce n'est que pour les tests statistiques visant à déterminer le degré d'ajustement qu'il conviendrait de les considérer comme étant placées à l'extrémité inférieure de l'axe des fréquences cumulatives, en dessous de la valeur $F(X_i)$ correspondante.

Lorsque les points figurant sur le graphique ne peuvent être ajustés pour former une droite, la variation entre les concentrations microbiennes ne peut, selon toute probabilité être interprétée selon le modèle de distribution des probabilités lognormale proposé dans ce document.

Cependant, l'orientation suivie par les points figurant sur le graphique peut donner certaines indications sur les autres modèles susceptibles d'être utilisés pour interpréter les données ou sur la nécessité de subdiviser la série de données considérées, lorsqu'elles semblent suivre deux distributions lognormales distinctes.

L'analyse détaillée des séries de données qui ne suivent pas un modèle de distribution lognormale peut donner des indications très précieuses et faire l'objet d'une interprétation.

9. INTERPRETATION

Les paramètres ci-après peuvent être directement obtenus à partir de la droite qui correspond le mieux à la série de points expérimentaux placés sur le papier des probabilités:

XX50 =	concentration microbienne non dépassée dans 50% des échantillons,
XX84 =	concentration microbienne non dépassée dans 84% des échantillons,
XX90 =	concentration microbienne non dépassée dans 90% des échantillons.

De même, toute autre concentration microbienne non dépassée dans un pourcentage déterminé d'échantillons peut être lue sur le graphique des probabilités.

L'écart-type d'une distribution lognormale peut être obtenu par l'expression.

$$s = \ln XX84 - \ln XX50 = \ln XX50 - \ln XX16$$

qui suppose que soient calculés les logarithmes naturels des concentrations précédemment obtenues.

L'intervalle de confiance de la série de concentrations microbiennes et l'intervalle de confiance des concentrations médianes peuvent être obtenus à partir des expressions figurant aux sections 6.9 et 6.10, respectivement.

L'Annexe 2 illustre la procédure de calcul des données microbiologiques fournies par une station d'échantillonnage de l'eau sur la côte de la Méditerranée.

10. CORRESPONDANCE AUX NORMES

Pour déterminer si les concentrations microbiennes mesurées dans une station d'échantillonnage déterminée répondent aux critères ou aux normes applicables, il suffit de comparer les concentrations microbiennes précisées dans le critère ou la norme et les concentrations microbiennes correspondantes données par le modèle de la distribution lognormale.

Lorsque le critère ou la norme applicables comportent deux limites de concentration pour un indicateur microbien déterminé, le modèle proposé donne de nouvelles informations sur la mesure dans laquelle la station d'échantillonnage étudiée entre dans la norme. Il suffit de procéder à une comparaison visuelle de la distribution des probabilités tirée des données d'expérience et de celle qui est définie par le critère ou la norme eux-mêmes.

11. RAPPORT D'EVALUATION

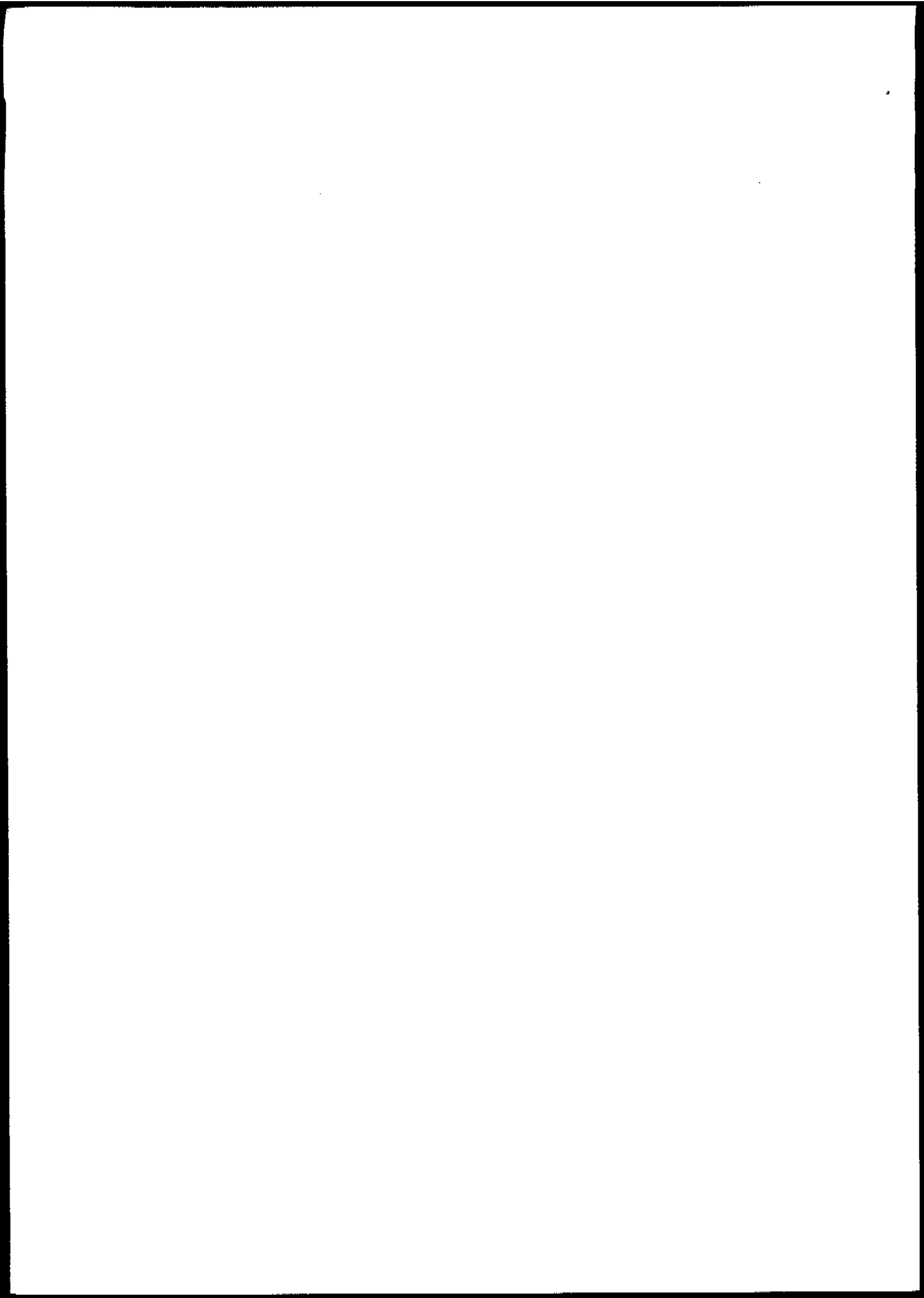
L'imprimé destiné à servir de compte rendu aux fins de l'évaluation et de l'interprétation de la qualité microbiologique de l'eau d'une station d'échantillonnage devrait inclure les indications suivantes:

- 11.1 Code d'identification de la station d'échantillonnage.
- 11.2 Indicateur microbien considéré.
- 11.3 Méthode microbiologique employée.
- 11.4 Période considérée.
- 11.5 Nombre total des données disponibles.
- 11.6 Nombre d'échantillons pour lesquels la concentration microbienne est zéro.

- 11.7 Critères ou normes de qualité microbiologique considérés.
- 11.8 Degré d'ajustement (bon ou mauvais) des données d'expérience au modèle de la distribution lognormale.

Ce n'est que dans le cas où l'adaptation aux modèles proposés est convenable qu'il conviendrait de déterminer les points suivants à partir de la distribution des probabilités obtenue par interpolation graphique des données ponctuelles.
- 11.9 Concentrations microbiennes non dépassées dans les pourcentages d'échantillons précisés par le critère ou la norme.
- 11.10 Ecart-types de la distribution, s.
- 11.11 Intervalle de confiance à 95% des concentrations microbiennes.
- 11.12 Intervalle de confiance à 95% des concentrations microbiennes médianes.
- 11.13 Evaluation de la qualité microbiologique par rapport à chacune des limites de concentration spécifiées dans le critère ou la norme considérée.
- 11.14 Evaluation globale de la qualité microbiologique de la station d'échantillonnage selon le critère ou la norme considérée.
- 11.15 Toute observation ou discussion des motifs possibles de la non adaptation des données au modèle de la distribution lognormale et applicable aux concentrations microbiennes relatives définies par la distribution lognormale expérimentale ou imposées par le critère ou la norme.

Le tableau 2.2 de l'Annexe 2 illustre le rapport d'évaluation de la qualité microbiologique d'une eau côtière du Bassin méditerranéen, conformément aux critères provisoires OMS/PNUE, obtenue par la méthode de la distribution lognormale.



ANNEXE 1

EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE D'UNE EAU COTIERE
MEDITERRANEENNE PAR LA METHODE DES RANGS

Tableau 1.1 Concentration de coliformes fécaux dans une station d'échantillonnage de l'eau de la côte méditerranéenne, été 1982.

Date	CF/100 ml
16.06.82	92
23.06.82	1600
30.06.82	36
07.07.82	0
14.07.82	140
21.07.82	4
28.07.82	0
04.08.82	36
11.08.82	4
18.08.82	8
25.08.82	0
14.09.82	32

Tableau 1.2 Qualité microbiologique d'une eau côtière: classement des données d'expériences. Evaluation par la méthode des rangs.

Numéro d'ordre	Concentration microbienne CF/100 ml
1	0
2	0
3	0
4	4
5	4
6	8
7	32
8	36
9	36
10	92
11	140
12	1600

L'évaluation de la qualité microbiologique de cette eau côtière selon les critères provisoires OMS/PNUE applicables aux eaux à usage récréatif suppose que soient retenues les concentrations non dépassées dans 50% et 90% des échantillons.

Les numéros d'ordre associés à ces pourcentages sont:

$$n_{50} = 12 \times 0,50 = 6$$

$$n_{90} = 12 \times 0,90 = 10,8$$

respectivement.

Si l'on considère que les numéros d'ordre figurant sur le tableau 1.2 sont des nombres entiers, la valeur $n_{90} = 10,8$ doit être arrondie pour être transformée en un nombre entier. Selon les critères habituellement adoptés pour arrondir des nombres fractionnaires, la valeur $n_{90} = 10,8$ devient $n_{90} = 11$, et l'on peut ensuite l'identifier dans le tableau 1.2.

Les concentrations de coliformes fécaux non dépassées dans 50% et 90% des échantillons peuvent être lues dans le tableau 1.2 comme étant associées aux numéros d'ordre $n_{50} = 6$ et $n_{90} = 11$, soit:

$$CF_{50} = 8.0 \text{ CF/100 ml}$$

$$CF_{90} = 140.0 \text{ CF/100 ml}$$

Le tableau 1.3 récapitule une analyse comparative entre les deux valeurs précédemment obtenues et celles qui sont précisées d'après les critères provisoires OMS/PNUE.

Tableau 1.3 Qualité microbiologique d'une eau côtière méditerranéenne à usage récréatif selon les critères provisoires OMS/PNUE

Paramètre qualité de l'eau	Concentrations microbiennes, CF/100 ml	
	Critères	Observations
CF50	100	8
CF90	1000	140

On peut conclure des résultats figurant sur le tableau 1.3 que la qualité microbiologique des eaux côtières examinées ne dépasse aucune des deux limites et peut par conséquent être jugée satisfaisante selon les critères provisoires OMS/PNUE.

Comme on l'a vu dans la description de la méthode des rangs, les valeurs portées sur le tableau 1.2 montrent que toute concentration expérimentale tombant entre 92 et 1600 CF/100 ml aurait occupé la onzième place à supposer que tous les autres résultats restent inchangés. Cela illustre la faible précision de cette méthode d'évaluation et les importantes incidences qu'elle a sur les résultats définitifs de la procédure d'évaluation.

Si, au lieu de la concentration de 140 CF/100 ml on avait observé une valeur supérieure à 1000 CF/100 ml, la station d'échantillonnage de l'eau aurait été classée comme insatisfaisante, selon les critères provisoires de l'OMS/PNUE.

ANNEXE 2

EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE D'UNE EAU COTIERE
MEDITERRANEENNE, PAR UN MODELE LOGNORMAL

Le tableau ci-dessous récapitule les procédures de classement et de calcul nécessaires lorsqu'on applique un modèle lognormal à la série des concentrations de coliformes fécaux figurant sur le tableau 1.1 de l'Annexe 1.

Tableau 2.1 Qualité microbiologique de l'eau côtière: évaluation selon un modèle lognormal.

Numéro d'ordre	Fréquence cumulative % F(Xi)	Concentration microbienne CF/100 ml Xi	Concentration microbienne convertie en log en Xi
1	8	0	-
2	15	0	-
3	23	0	-
4	31	4	1,39
5	38	4	1,39
6	46	8	2,08
7	54	32	3,47
8	62	36	3,58
9	69	36	3,58
10	77	92	4,52
11	85	140	4,94
12	92	1600	7,38

A titre d'illustration, il sera procédé à deux analyses graphiques, correspondant respectivement à l'emploi d'un papier de probabilité normal et d'un papier de probabilité lognormal. Dans les deux cas, la méthode d'évaluation implique que l'on reporte les concentrations microbiennes Xi en fonction des fréquences cumulatives correspondants F(Xi), comme indiqué sur le tableau 2.1. Les figures 2.1 et 2.2 illustrent les analyses graphiques telles qu'elles sont réalisées sur les deux types de papier.

Les données apparaissant sur les figures 2.1 et 2.2 ont été interpolés avec une ligne droite, selon le critère recommandé à la section 7.

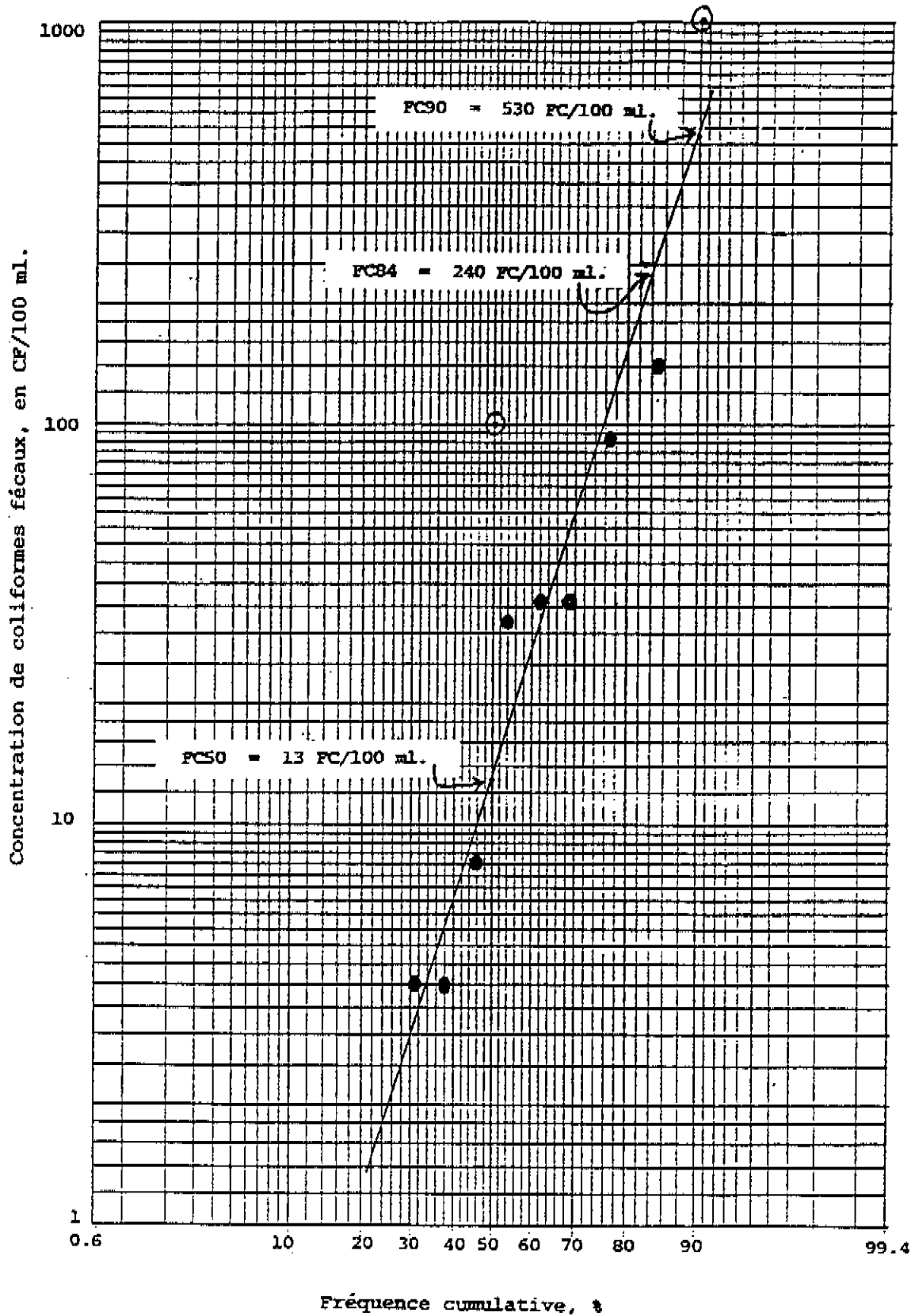


Figure 2.1 Interprétation de la qualité microbologique d'une eau côtière de la Méditerranée selon un modèle de probabilité lognormal et évaluation selon les critères provisoires OMS/PNUE (o).

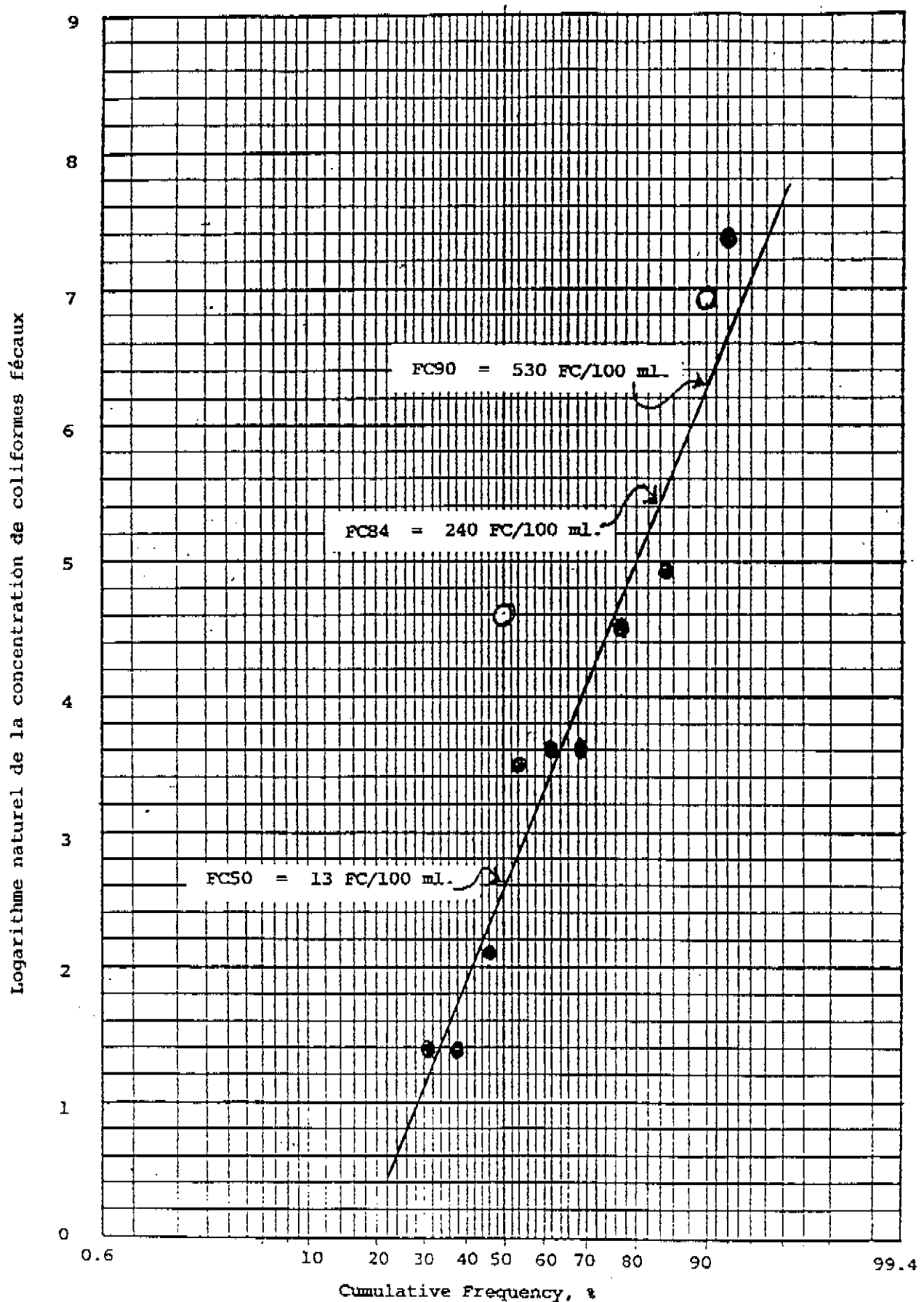


Figure 2.2 Interprétation de la qualité microbiologique d'une eau côtière de la Méditerranée selon un modèle de probabilité normal et évaluation selon les critères provisoires OMS/PNUE (o).

Un examen visuel des figures 2.1 et 2.2 montre un bon ajustement entre les données et le modèle des probabilités proposé. La distribution des probabilités obtenue sur les deux figures permet d'estimer les concentrations de coliformes fécaux non dépassées dans 50% et 90% des échantillons et figure au tableau 2.2. On a aussi estimé la concentration de coliformes fécaux non dépassée dans 84% des échantillons. Cette donnée devant être utilisée dans des calculs ultérieurs.

Il est évident que la valeur des paramètres statistiques obtenue à partir des deux graphiques de probabilité doit être la même compte tenu de la marge d'erreur due au processus graphique d'interpolation et d'estimation des concentrations microbiennes.

L'écart-type de la distribution des probabilités a été obtenu en utilisant l'expression:

$$s = \ln XX84 - \ln XX50 = \ln 240 - \ln 13 = 5,48 - 2,56 = 2,92.$$

L'intervalle de confiance à 95% de la série des concentrations de coliformes fécaux est défini par les concentrations associées aux fréquences cumulatives de 2,5% et 97,5%, soit:

$$(1 \text{ CF}/100 \text{ ml} ; 3700 \text{ CF}/100 \text{ ml})$$

Cet intervalle de confiance signifie que si l'on avait réuni un nombre considérable de séries similaires de concentrations, 95% des concentrations de coliformes fécaux observées se situeraient dans l'intervalle compris entre 1 et 3700 CF/100 ml. Cet intervalle est donc une mesure des valeurs les plus probables des concentrations qui s'observeront à la station d'échantillonnage considérée.

L'intervalle de confiance à 95% de la concentration médiane de coliformes fécaux peut être calculé par l'expression donnée à la section 6.10. Si l'on considère que:

$$\begin{aligned} \ln \text{CF } 50 &= \ln 13 = 2,56 \\ s &= 2,92 \\ n &= 12 \\ t_{0,975;11} &= 2,201 \end{aligned}$$

L'intervalle de confiance à 95% de la concentration médiane est défini par

$$(2 \text{ CF}/100 \text{ ml} ; 83 \text{ CF}/100 \text{ ml})$$

Cet intervalle de confiance signifie que si l'on avait réuni un nombre considérable de séries similaires de concentrations et calculé, pour chacune d'elles, la valeur médiane correspondante, 95% des valeurs se situeraient dans l'intervalle compris entre 2 et 83 CF/100 ml. L'intervalle de confiance est donc une mesure des valeurs les plus probables de la concentration médiane qui s'observera à la station d'échantillonnage étudiée.

Le tableau 2.2 donne sous forme synoptique le rapport de l'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau côtière méditerranéenne considérée, obtenue par un modèle de probabilité lognormal, avec référence aux critères provisoires OMS/PNUE pour la qualité de l'eau.

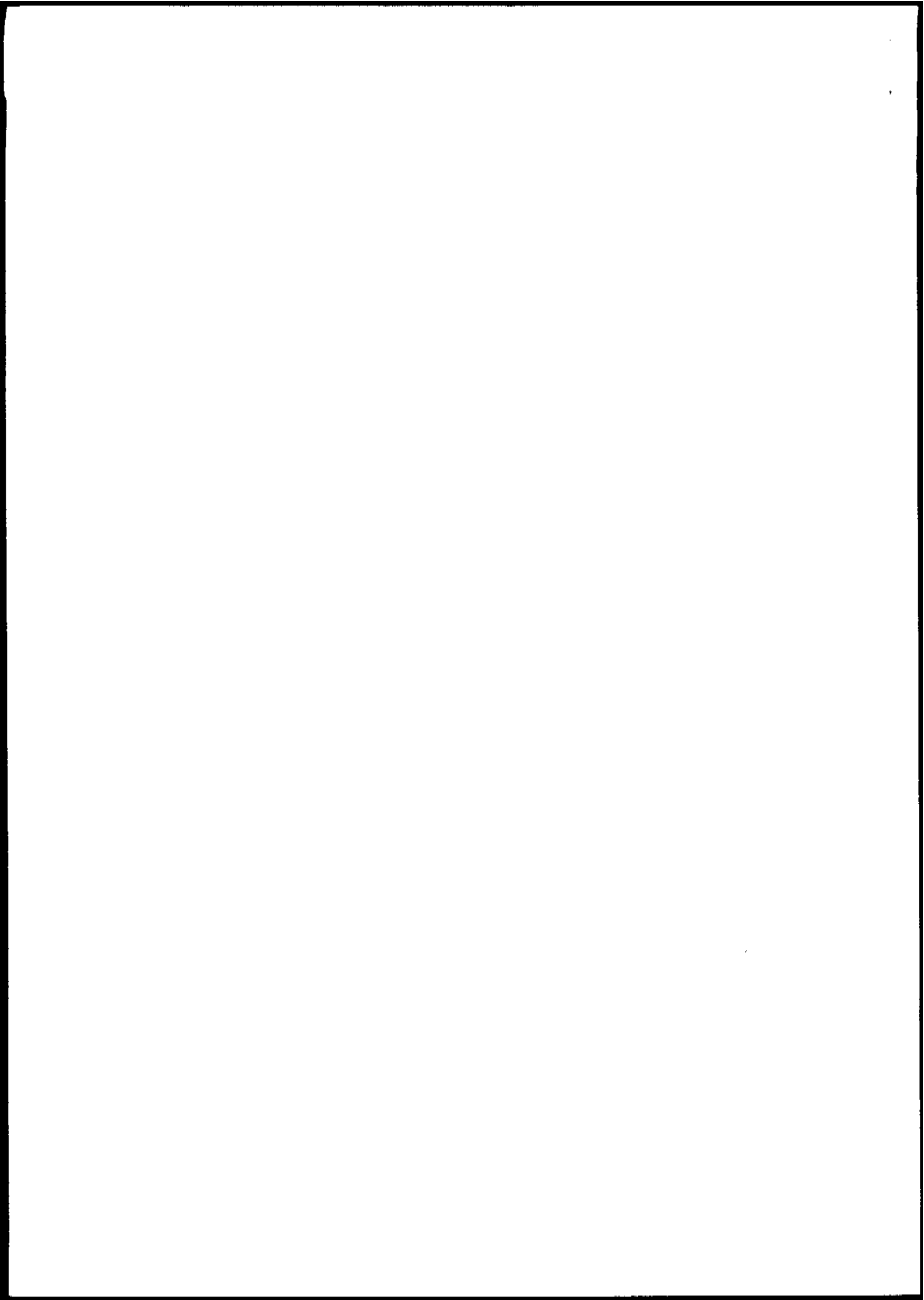
Tableau 2.2 Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau d'une station d'échantillonnage de la côte méditerranéenne, selon les critères provisoires OMS/PNUE. Modèle de probabilité lognormal.

Rubrique	Valeur
Code de la station	
Indicateur microbien	Coliformes fécaux
Méthode analytique	Filtration sur membrane
Période considérée	juin - septembre 1982
Nombre d'échantillons	12
Nombre de valeurs zéro	1
Ajustement au modèle	Satisfaisant
Critères provisoires de qualité OMS/PNUE	CF50 = 100 CF/100 ml CF90 = 1000 CF/100 ml
Concentrations expérimentales	CF50 = 13 CF/100 ml CF90 = 530 CF/100 ml
Ecart-type	S = 2,92
Intervalle de confiance à 95% des échantillons	(1CF/100 ml, 3700 CF/100 ml)
Intervalle de confiance à 95% de la concentration médiane	(2CF/100 ml, 83 CF/100 ml)
Evaluation de la qualité	En-dessous de CF50 En-dessous de CF90
Evaluation globale de la qualité	Satisfaisante

Comme l'illustre la figure 2.1, vue l'influence combinée de tous les résultats observés pour les concentrations microbiennes, on obtient une estimation de la concentration non dépassée dans 90% des échantillons de CF 90 = 530 CF/100 ml, ce qui est de loin supérieur aux chiffres donnés sur le tableau 1.3.

L'ajustement entre données d'expériences et méthodes proposées est satisfaisant et met en évidence une variation dans le temps de la qualité microbiologique de l'eau légèrement supérieure à celle qui a été définie en vertu des critères provisoires OMS/PNUE.

Toute détérioration générale de la qualité microbiologique au lieu d'échantillonnage étudié entraînerait un déplacement vers le haut de la distribution des probabilités, sans doute sur une parallèle, et la limite supérieure fixée dans les critères serait alors dépassée. La qualité de l'eau à la station d'échantillonnage serait alors classée comme non satisfaisante selon les critères provisoires OMS/PNUE.

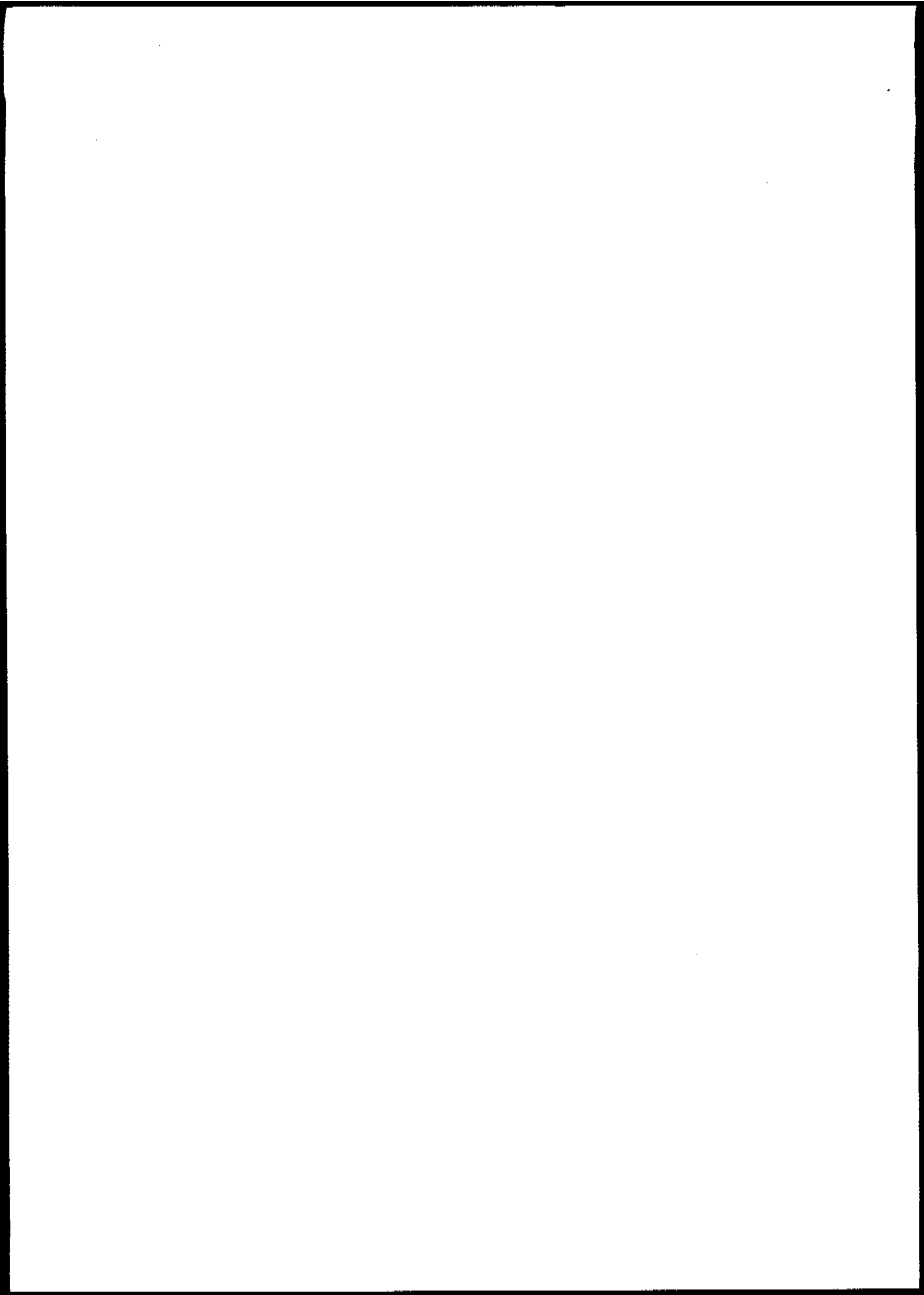


ANNEXE 3

RECAPITULATION DES VALEURS LES PLUS FREQUEMMENT UTILISEES
DE LA DISTRIBUTION t DE STUDENT *
OMS/PNUE, 1977a

Degré de liberté n	Prob ($t_n < t_{1-\alpha, n}$) = 1 - α	
	0,950	0,975
1	6,314	12,71
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
17	1,740	2,110
18	1,734	1,101
19	1,729	2,093
20	1,725	2,086
30	1,697	2,042
40	1,684	2,021
50	1,676	2,009
100	1,660	1,984

* Source: Directives applicables à la surveillance sanitaire de la qualité des eaux littorales. Rapport d'une réunion d'un groupe d'experts organisée conjointement par l'OMS et le PNUE (Rovinj, 1977). Copenhague, Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, 1977a (tableau 18).



12. REFERENCES

- Benjamin, J.R. & Cornell, C.A. Probability, statistics and decisions for civil engineers. New York, N.Y., McGraw Hill, 1970.
- Hahn, G.J. & Shapiro, S.S. Statistical models in engineering. New York, N.Y., John Wiley & Sons, 1967.
- IAWPRC, Progress in water technology. Oxford, Pergamon Press, 1980, Vol. 12.
- CIESM/UNEP (1981) Vèmes Journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée, Cagliari, 9-13 octobre 1980. CIESM, Principauté de Monaco.
- OMS/PNUE, 1977a Directives applicables à la surveillance sanitaire de la qualité des eaux littorales. Rapport d'une réunion d'un groupe d'experts organisée conjointement par l'OMS et le PNUE, (Roving, 1977). OMS, Copenhague.
- OMS/PNUE, 1977 La pollution des eaux côtières critères sanitaire et études épidémiologiques. Rapport d'un groupe d'experts réuni sous le patronage conjoint de l'OMS et du PNUE, Athènes, 1-4 mars 1977. OMS, Copenhague.
- OMS/PNUE, 1979 Zones côtières à usage récréatif et parcs à coquillages - surveillance et qualité (MED VII). Rapport d'une conférence-atelier organisée conjointement par l'OMS et le PNUE, Rome, 17-19 janvier 1979. OMS, Copenhague.
- OMS/PNUE, 1981 Le contrôle de la qualité des eaux côtières en Méditerranée. Rapport publié sous le patronage conjoint du Programme des Nations Unies pour l'Environnement et de l'Organisation Mondiale de la Santé. (MED VII) (1976-1980). OMS, Copenhague.