

50376
1961
23

50376
1961
23

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DES SCIENCES

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du Diplôme d'Études Supérieures de Sciences Naturelles
(Physiologie végétale)

**ACTION DES SUBSTANCES OLIGODYNAMIQUES
SUR LA CROISSANCE D'UNE FERROBACTÉRIALE**



présenté à LILLE en mai-juin 1961 par
THÉRÈSE CAUMARTIN



présenté à Lille en MAI-JUIN 1961
par Thérèse CAUMARTIN



ACTION DES SUBSTANCES OLIGO DYNAMIQUES
SUR LA CROISSANCE D'UNE FERROBACTÉRIALE

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
d'Études Supérieures de Sciences Naturelles
(Physiologie végétale)

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DES SCIENCES

Exceller du Pât

50376
1961
23

50376
1961
23

-.INTRODUCTION.-

-:-:-:-:-:-:-

Perabacterium spelei est une ferrobactériale découverte en 1956 par V. CAUMARTIN, dans des argiles de caverne. Les travaux que V. CAUMARTIN a consacré à cette bactérie ont permis son identification :

Elle s'apparente aux Chlamydo-bactériales et présente des formes pseudo-mycéliennes et des formes pseudo-conidiennes de $1,5 \mu$ de longueur sur $0,5 \mu$ de large. Les formes pseudo-conidiennes prennent souvent un aspect géminé en besace qui lui a valu son nom. Elle est entourée d'une gaine et excrète des aiguilles de ses quioxyde de fer hydraté.

Dans son milieu naturel, elle se comporte en autotrophe et vit en micro aérophilie. Elle tire son carbone de la décomposition du carbonate de fer et accessoirement du carbonate de manganèse; son énergie provient de l'oxydation en oxydes ferriques et manganiques des oxydes ferreux et manganoux qui résultent de cette décomposition.

En milieu synthétique, elle se comporte en hétérotrophe lors que certains composés organiques sont à sa disposition.

Très résistant, *Perabacterium spelei* peut vivre dans des milieux minéraux à forte concentration ionique. Par ailleurs, elle possède la particularité de n'être pas tuée par les procédés classiques de stérilisation : ainsi, elle survit à un passage à l'autoclave à 130 degrés pendant vingt minutes.

Dans un précédent mémoire, N. POTELLE travaillant sous la direction de V. CAUMARTIN, a établi en partant d'une solution saline de Winogradsky la composition d'un milieu particulièrement favorable à la culture de cette bactérie.

C'est précisément ce milieu qui a servi de point de départ à notre travail.

Dans une première étape, nous avons vérifié l'existence des concentrations et des rapports ioniques optimum pour le développement de *Perabacterium spelei*, établis par N. POTELLE. Notre vérification n'a porté que sur quelques uns de ses résultats. L'essentiel de notre travail a consisté en effet à étudier dans une seconde étape l'action de substances oligodynamiques dans le développement de *Perabacterium*.



PHOTOGRAPHIE DU PERABACTERIUM SPELEI

GROSSISSEMENT = 22000

(cliché pris au microscope électronique)

nous distinguons : des formes en bissac et des
aiguilles d' hydroxyde ferrique.

COMPTAGE :

La croissance de la colonie de *Perabacterium spelei* est fonction du nombre de bactéries présentes par unité de cellule THOMA.

La cellule THOMA est une lame présentant en son centre un évidement cubique avec un quadrillage sur le fond. Une goutte calibrée de liquide contenant les bactéries est déposée dans la cellule et recouverte d'une lamelle optiquement planée. Un volume constant de liquide se trouve ainsi emprisonné dans chacune des alvéoles formées par le quadrillage ($2,5 \cdot 10^{-4}$ mm³). Les bactéries de seize petits carrés ont été comptées et nous avons agi sur la vis micrométrique du microscope pour contrôler toute la profondeur du champ microscopique. C'est la moyenne des bactéries par carré qui a été choisie comme critère de la richesse du milieu en bactéries.

Les milieux de culture étant très favorables au développement de *Perabacterium spelei*, nous avons dû effectuer fréquemment des dilutions du milieu de culture avant le comptage. Nous avons tenu compte de ces dilutions dans les résultats définitifs.

Les comptages ont porté sur des prélèvements en surface (à un demi centimètre de la surface libre) et en profondeur (à huit centimètres de la surface libre).

PRECISION DES MESURES.-

Les pesées et mesures de volume nécessaires à la préparation des milieux de culture, sont inévitablement

entachées d'erreur.

Lors de l'ensemencement, il n'est pas possible de connaître le nombre de bactéries introduit dans chaque milieu de culture. Malgré les précautions prises, ce nombre varie d'un milieu à l'autre. Au bout de 10 jours, l'ensemble du milieu est colonisé et nous fournit une estimation relative suffisante.

C'est surtout du comptage que résultent les erreurs les plus importantes. Le choix des seize petits carrés placés côte à côte est arbitraire. De plus, la visibilité des bactéries dépend beaucoup de l'éclairage. Enfin, les bactéries forment parfois des agglomérats: ce qui accroît la difficulté du comptage proprement dit.

Pour toutes ces raisons, nous avons dressé des courbes et tenu compte uniquement des variations relatives indiquées par chacune d'elle.

RESULTATS.-

Tableaux de nombres :

Pour chaque série de mesures, les résultats des comptages ont été rassemblés dans un tableau où nous précisons :

La concentration de la substance considérée C.
(voir tableau).

le nombre de bactéries en surface dans 16 petits carrés de la cellule THOMA.

le nombre moyen : N

le nombre de bactéries en profondeur dans 16 petits carrés de la cellule THOMA.

le nombre moyen : N

la dilution : D

REPRESENTATION GRAPHIQUE :

Chaque courbe représente l'état de développement de la culture de bactéries au bout de dix jours en fonction de la concentration du milieu de culture pour la substance considérée.

En ordonnée, N est le nombre moyen de bactéries par unité de cellule THOMA.

En abscisse, nous avons choisi une échelle logarithmique pour la concentration C.

La courbe de développement en surface est notée S et celle en profondeur est notée P.

La courbe de développement de *Perabacterium spelei* en fonction du rapport chlorure / sulfate fait exception. On a porté en abscisse le rapport chlorure sulfate lui même et non son logarithme.

PREMIERE PARTIE

VERIFICATION DES CONCENTRATIONS OPTIMUM
DU MILIEU DE CULTURE DE PERABACTERIUM SPELEI

Le milieu optimum établi par N. POTELLE avait la composition suivante :

Partie minérale :

| | | | |
|---|-----|------------------|--------------|
| K ₂ H PO ₄ | 5,8 | 10 ⁻⁴ | moles/litre. |
| Mg SO ₄ | 1,4 | 10 ⁻² | " |
| Na Cl | 8,5 | 10 ⁻⁴ | " |
| Mn SO ₄ | 2,2 | 10 ⁻⁵ | " |
| Fe SO ₄ | 3,3 | 10 ⁻¹ | " |
| Fe ₂ (SO ₄) ₃ | 4,2 | 10 ⁻⁶ | " |
| K Cl | 4,5 | 10 ⁻² | " |

I pincée de Ca CO₃

Partie organique :

peptone 0,3g
bouillon de pomme de terre.

Nous avons vérifié si les concentrations adoptées pour le phosphate bipotassique, le sulfate de magnésium, le chlorure de sodium et le chlorure de potassium étaient les plus favorables au développement de Perabactérium. Nous avons vérifié également l'action du rapport chlorure / sulfate sur le développement de Perabactérium.

Les résultats de ces études vont être exposés sans commentaires, car il s'agit, répétons le, d'une simple vérification. Une conclusion d'ensemble terminera cette première partie.

I - ACTION DE QUELQUES MACRO-ELEMENTS

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.-

Nous avons procédé pour l'étude du phosphate bipotassique, du sulfate de magnésium, du chlorure de sodium et du chlorure de potassium, de la même manière.

Nous avons préparé une série de tubes pour chacun des macro - éléments.

Dans chaque série de tubes la concentration moléculaire en un macro - élément donné variait seule ; pour le reste, la concentration était celle établie par N. POTELLE .

Les concentrations en :

| | | | | | |
|---------------------------------|--------------|---------------------|---|-------------------|---------------|
| K ₂ HPO ₄ | ont varié de | 10^{-11} | à | 10^{-1} | mole / litre. |
| Mg SO ₄ | | $1,6 \cdot 10^{-9}$ | à | 16 | " |
| Na Cl | | $3 \cdot 10^{-12}$ | à | $3 \cdot 10^{-2}$ | " |
| K Cl | | $3 \cdot 10^{-7}$ | à | $3 \cdot 10^{-2}$ | " |

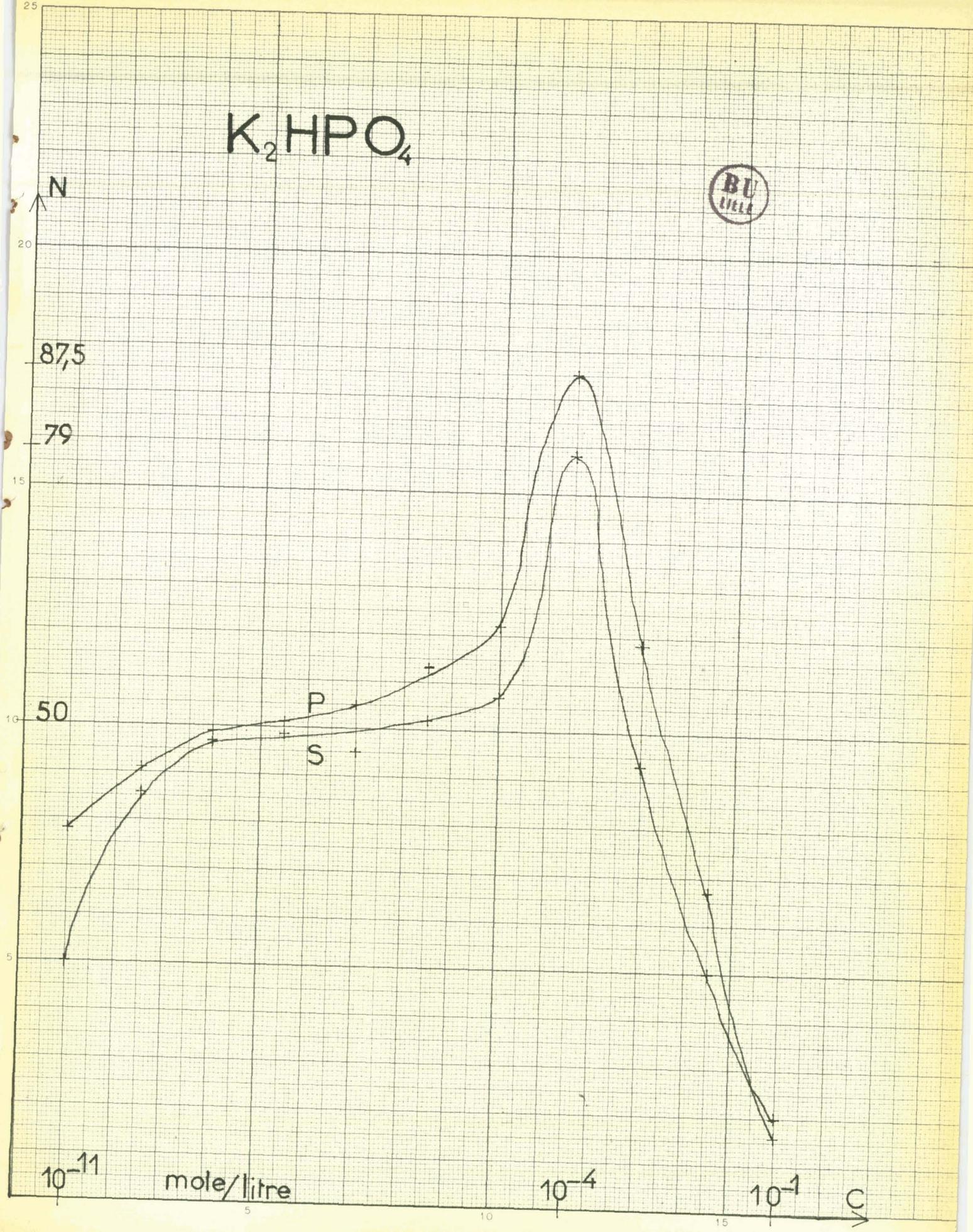
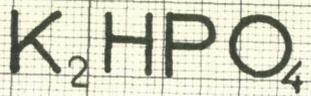
-10-

ACTION DU PHOSPHATE BIPOTASSIQUE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI



| CONCENTRATION EN K ₂ HPO ₄ mole/litre | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | NOMBRE MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | NOMBRE MOYEN |
|---|---|---------------|-----------------|--|---------------|-----------------|
| 10 ⁻¹¹ | 4.4.7.1.1.4.5.6.4. 6.4.5.6.1.3.6.7. | $\frac{1}{5}$ | 25,5 | 14.3.5.10.9.4.11.7. 9.8.6.8.5.8.6.12. | $\frac{1}{5}$ | 39 |
| 10 ⁻¹⁰ | 6.7.12.5.9.7.5.7. 14.9.13.10.11.7.6.11 | $\frac{1}{5}$ | 43 | 6.11.9.10.15.12.10.14 4.10.11.14.9.7.8.6. | $\frac{1}{5}$ | 45,5 |
| 10 ⁻⁹ | 6.14.9.16.5.10.5.17. 15.9.10.5.9.16.14.6. | $\frac{1}{5}$ | 48,5 | 3.10.13.3.11.12.12.8. 10.15.11.9.8.10.11.12 | $\frac{1}{5}$ | 49 |
| 10 ⁻⁸ | 8.6.15.9.13.14.10.8. 4.10.9.6.10.14.12.11. | $\frac{1}{5}$ | 49,5 | 10.11.7.12.8.8.10.16. 12.15.11.10.14.5.10.12 | $\frac{1}{5}$ | 50 |
| 10 ⁻⁷ | 16.6.5.8.21.12.4.3. 12.11.16.10.3.13.14.9. | $\frac{1}{5}$ | 47,5 | 12.17.14.20.8.5.10.9. 10.11.11.10.12.13.14.17 | $\frac{1}{5}$ | 52,5 |
| 10 ⁻⁶ | 15.14.7.7.6.11.3.11. 10.19.9.10.13.10.10.13. | $\frac{1}{5}$ | 51 | 16.18.6.6.13.11.10.5. 13.11.9.12.12.18.9.12. | $\frac{1}{5}$ | 56,5 |
| 10 ⁻⁵ | 5.11.6.8.7.9.9.4. 14.12.12.8.13.25.16.14 | $\frac{1}{5}$ | 53,5 | 8.10.4.9.12.11.9.15. 12.17.17.16.12.14.13.14 | $\frac{1}{5}$ | 60,5 |
| 10 ⁻⁴ | 12.8.13.4.23.26.12.11 15.21.6.14.23.19.23.24 | $\frac{1}{5}$ | 79 | 18.11.18.12.10.19.22.24 13.19.14.16.20.16.16.18 | $\frac{1}{5}$ | 87,5 |
| 10 ⁻³ | 10.8.9.10.9.9.7.7. 8.9.9.9.9.16.8.11. | $\frac{1}{5}$ | 46,5 | 6.18.21.12.7.11.12.13. 14.21.9.7.11.16.10.9. | $\frac{1}{5}$ | 58,5 |
| 10 ⁻² | 5.7.4.5.6.7.10.7. 4.5.3.6.8.12.3.9. | $\frac{1}{5}$ | 31,5 | 8.3.5.8.3.13.7.3. 5.5.4.5.8.7.11.11. | $\frac{1}{5}$ | 34 |
| 10 ⁻¹ | 7.11.10.11.17.10.13.7. 11.6.15.7.16.12.6.8. | | 10,4 | 10.5.6.5.15.9.7.8. 2.4.4.9.10.20.14.8. | | 8,5 |

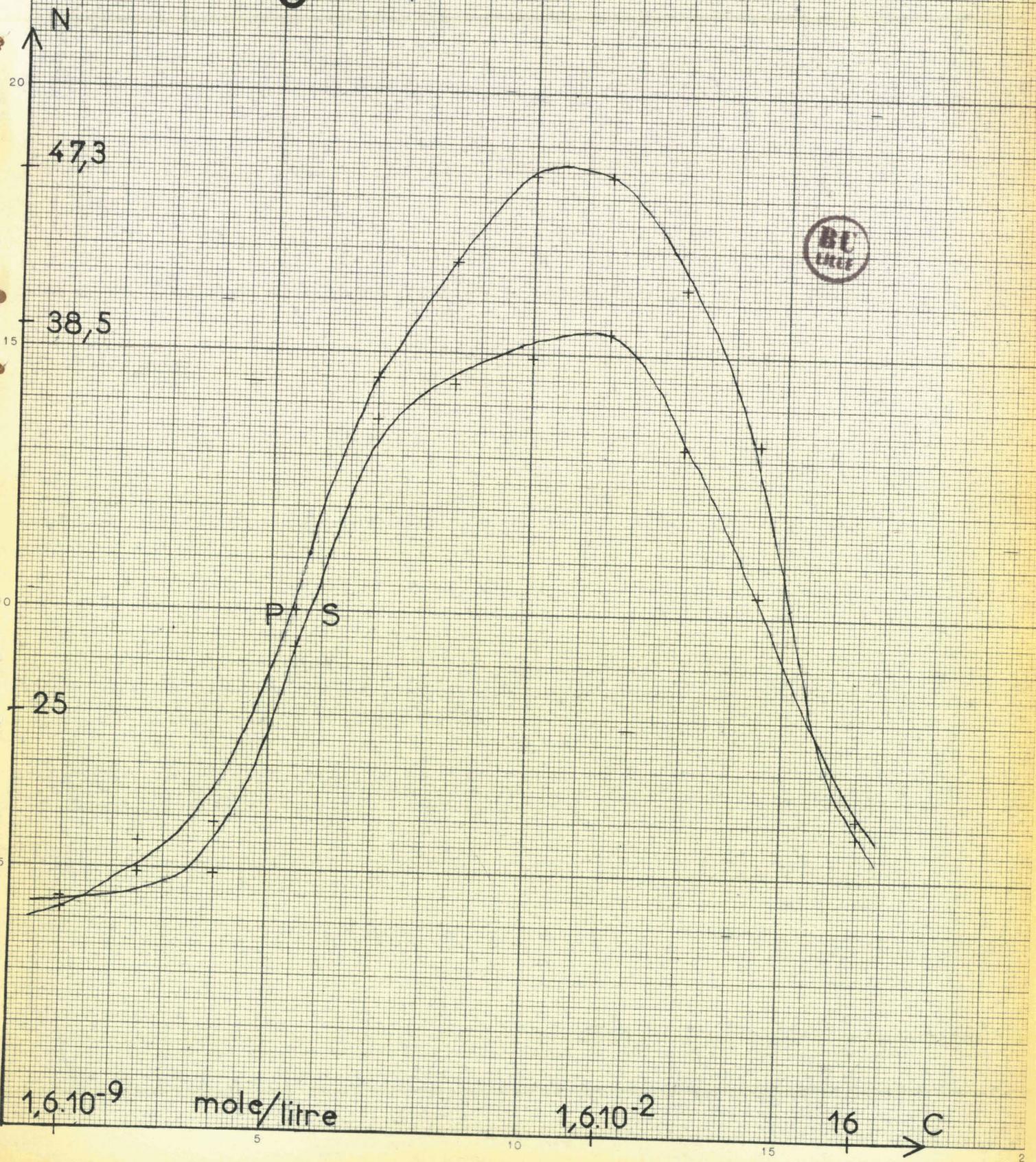
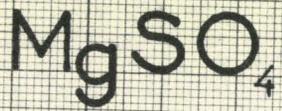


ACTION DU SULFATE DE MAGNESIUM

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI



| CONCENTRATION EN Mg SO4 Mole/L. | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---------------------------------------|---|----------------|------------|--|----------------|------------|
| $1,6 \cdot 10^{-9}$ | 10.14.12.7.17.21.5.6. 13.10.16.3.13.11.15.12. | | 11,1 | 13.16.11.14.11.16.14.16 7.7.10.5.4.7.11.7. | | 10,6 |
| $1,6 \cdot 10^{-8}$ | 10.14.9.18.8.23.5.7. 7.7.7.9.3.12.13.19. | | 12 | 14.8.16.11.16.10.5.13. 16.12.19.21.5.16.14.18. | | 13,4 |
| $1,6 \cdot 10^{-7}$ | 10.9.8.7.5.19.7.19. 19.3.12.13.7.23.18.14. | | 12 | 14.18.11.8.7.19.8.20. 22.16.8.10.12.21.19.13. | | 16 |
| $1,6 \cdot 10^{-6}$ | 30.21.18.16.28.10.31.23. 30.12.30.25.27.21.29.9 | | 23,2 | 18.21.11.17.37.15.15.20 21.12.13.19.24.36.26.36 | | 25 |
| $1,6 \cdot 10^{-5}$ | 18.12.11.9.21.13.10.9. 22.16.25.27.23.24.23.7. | $\frac{1}{2}$ | 34,3 | 21.14.14.26.18.16.14.16 12.10.16.26.10.44.18.14 | $\frac{1}{2}$ | 36 |
| $1,6 \cdot 10^{-4}$ | 22.13.14.9.14.16.26.24. 20.10.31.19.14.14.18.19. | $\frac{1}{2}$ | 36,2 | 19.13.15.26.22.20.19.11 11.25.17.32.27.16.21.30 | $\frac{1}{2}$ | 42 |
| $1,6 \cdot 10^{-3}$ | 3.3.1.3.3.0.5.3. 5.3.4.4.5.3.7.3. | $\frac{1}{11}$ | 37,4 | 2.2.2.5.6.9.5.2. 1.11.2.1.3.8.3.6. | $\frac{1}{11}$ | 46,2 |
| $1,6 \cdot 10^{-2}$ | 0.5.0.9.8.2.3.4. 1.3.3.6.3.6.5.0. | $\frac{1}{11}$ | 38,5 | 9.1.3.2.4.3.3.5. 4.7.3.8.5.6.2.4. | $\frac{1}{11}$ | 47,3 |
| $1,6 \cdot 10^{-1}$ | 0.1.2.7.7.12.6. 3.0.6.3.3.1.5.2. | $\frac{1}{11}$ | 33 | 4.8.4.2.6.0.4.10. 2.3.0.5.1.4.2.2. | $\frac{1}{11}$ | 40,6 |
| 1,6 | 9.5.13.4.12.11.10.11. 15.18.7.14.23.25.22.12. | $\frac{1}{2}$ | 26 | 25.29.4.18.26.8.16.21. 14.17.10.13.12.15.21.18 | $\frac{1}{2}$ | 33,2 |
| 16 | 10.12.13.15.16.29.28.21 14.28.21.13.17.20.16.14 | | 17,9 | 14.15.13.17.17.19.18.20 21.13.18.20.15.24.19.15 | | 17 |



$1,6 \cdot 10^{-9}$

mole/litre

$1,6 \cdot 10^{-2}$

16

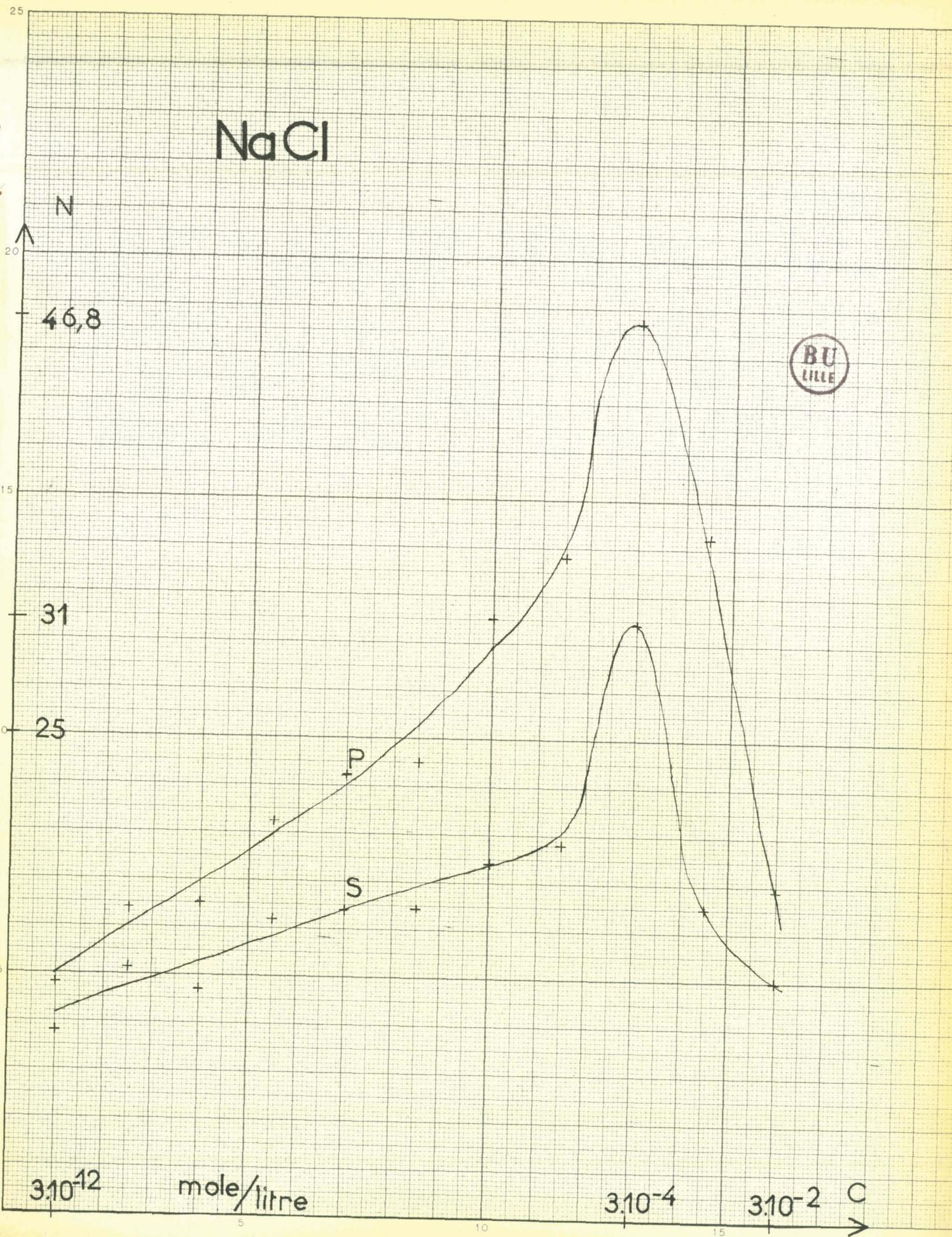
ACTION DU CHLORURE DE SODIUM

SUR LE DEVELOPPEMENT PERABACTERIUM SPELEI



| CONCENTRATION en NaCl mole/litre | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | NOM- BRE MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | NOM- BRE MOYEN |
|--|---|---------------|----------------------|---|---------------|----------------------|
| $3 \cdot 10^{-12}$ | 2.13.2.15.7.19.11.13 5.6.4.4.16.15.11.12 | | 9,6 | 12.19.19.18.16.18.17.12 28.14.29.16.15.17.24.25. | | 12,4 |
| $3 \cdot 10^{-11}$ | 12.0.13.21.11.19.14.8. 18.13.11.11.14.13.16.12 | | 12,8 | 8.10.7.10.15.7.15.17. 18.26.14.16.33.21.30.23 | | 16,2 |
| $3 \cdot 10^{-10}$ | 4.5.3.5.7.8.2.6. 6.6.8.0.16.6.10.5. | $\frac{1}{2}$ | 11,6 | 10.5.12.5.8.18.9.3. 5.24.14.2.19.2.6.6. | $\frac{1}{2}$ | 16,4 |
| $3 \cdot 10^{-9}$ | 5.6.10.9.7.10.5.6. 9.6.6.9.9.12.8.11. | | 15,6 | 12.13.11.11.16.13.12.10 20.7.10.8.8.11.5.1. | $\frac{1}{2}$ | 20,7 |
| $3 \cdot 10^{-8}$ | 11.10.18.15.25.16.15.17 25.22.12.14.12.14.20.23. | | 15,8 | 7.10.12.11.10.16.14.11 13.13.8.11.10.15.14.13 | $\frac{1}{2}$ | 23,4 |
| $3 \cdot 10^{-7}$ | 19.11.13.23.14.21.13.26 18.18.8.14.12.12.16.4. | | 16,2 | 5.17.9.16.8.9.10.6. 18.10.8.9.16.13.14.24. | $\frac{1}{2}$ | 23,6 |
| $3 \cdot 10^{-6}$ | 14.12.18.14.18.40.10.18 30.12.18.12.12.10.36.8 | | 17,6 | 20.12.13.20.9.18.18.8. 18.13.22.14.13.14.26. | $\frac{1}{2}$ | 31,2 |
| $3 \cdot 10^{-5}$ | 18.10.18.25.21.26.25.24 18.14.10.30.29.30.15.14 | | 19,7 | 14.18.16.16.35.3.16.17. 13.21.15.20.14.18.21.18 | $\frac{1}{2}$ | 34,2 |
| $3 \cdot 10^{-4}$ | 10.8.23.16.14.17.15.14 17.15.12.22.11.26.13.15 | $\frac{1}{2}$ | 31 | 14.4.7.25.22.0.23.13. 30.22.16.0.21.13.22.18 | $\frac{1}{3}$ | 46,8 |
| $3 \cdot 10^{-3}$ | 11.18.20.17.10.21.36.6 15.15.9.12.24.24.22.17 | | 16,2 | 15.16.18.16.25.12.21.18 14.22.20.15.15.17.17.16 | $\frac{1}{2}$ | 35,6 |
| $3 \cdot 10^{-2}$ | 19.5.0.13.12.16.5.20. 10.9.7.15.9.30.2.28. | | 12,5 | 20.14.13.11.13.14.16.12 26.15.19.14.23.18.22.28 | | 17,3 |

NaCl



ACTION DU CHLORURE DE POTASSIUM

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI



| CONCENTRATION En KCl mole/litre | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---------------------------------------|--|---------------|------------|--|---------------|------------|
| $3 \cdot 10^{-7}$ | 7.3.10.15.10.13.3.9. 20.19.18.9.14.7.12.18. | - | 11,6 | 2.7.15.10.11.8.6.1. 15.17.9.10.24.8.10.12. | | 10,3 |
| $3 \cdot 10^{-6}$ | 15.17.11.7.10.11.13.30. 12.9.12.13.16.10.12.16. | | 13,3 | 9.7.4.5.12.4.25.12. 10.15.7.8.17.16.30.6. | | 11,6 |
| $3 \cdot 10^{-5}$ | 6.10.8.13.30.16.9.17. 13.17.8.24.35.22.28.16. | | 17 | 16.12.9.27.15.14.8.5. 23.5.10.24.14.19.38.24. | | 16,4 |
| $3 \cdot 10^{-4}$ | 18.5.6.7.6.9.13.13 15.11.23.9.8.8.11.4. | $\frac{1}{2}$ | 20,8 | 0.13.1.2.18.2.22.17. 22.7.14.30.6.25.9.10. | $\frac{1}{2}$ | 24,6 |
| $3 \cdot 10^{-3}$ | 15.5.19.10.15.10.17.12. 13.15.7.21.6.26.21.12. | $\frac{1}{2}$ | 28 | 18.4.4.24.16.18.12.7. 16.14.13.16.11.24.25.20 | $\frac{1}{2}$ | 28,2 |
| $3 \cdot 10^{-2}$ | 4.0.7.3.10.25.7.1. 16.7.6.6.29.16.24.20. | $\frac{1}{3}$ | 33,9 | 8.17.10.6.4.15.15.12. 6.18.5.19.13.18.14.9. | $\frac{1}{3}$ | 35,4 |
| $3 \cdot 10^{-1}$ | 10.9.14.15.11.12.10.14. 11.13.7.20.9.19.16.15. | $\frac{1}{2}$ | 25,6 | 7.18.6.12.12.29.18.14. 16.9.22.11.32.22.21.18 | $\frac{1}{2}$ | 32,2 |
| 3 | 8.8.12.8.24.0.4.14. 11.8.4.17.11.9.9.23. | $\frac{1}{2}$ | 21,2 | 7.12.2.10.0.9.12.12. 6.18.15.10.20.4.22.8. | $\frac{1}{2}$ | 20,6 |
| $3 \cdot 10^{\frac{1}{2}}$ | 9.15.13.11.10.17.16.7. 16.7.11.11.13.13.8.44. | | 13,8 | 11.13.17.24.16.15.13.30 14.5.10.8.13.13.10.8. | | 13,7 |
| $3 \cdot 10^2$ | 17.12.2.15.3.20.13.23. 11.10.14.9.16.13.13.7. | | 12,3 | 11.14.12.6.8.12.15.10. 13.21.14.17.7.6.8.7. | | 11,3 |

KCl

N

20

5

35,4
33,9



25

5

P

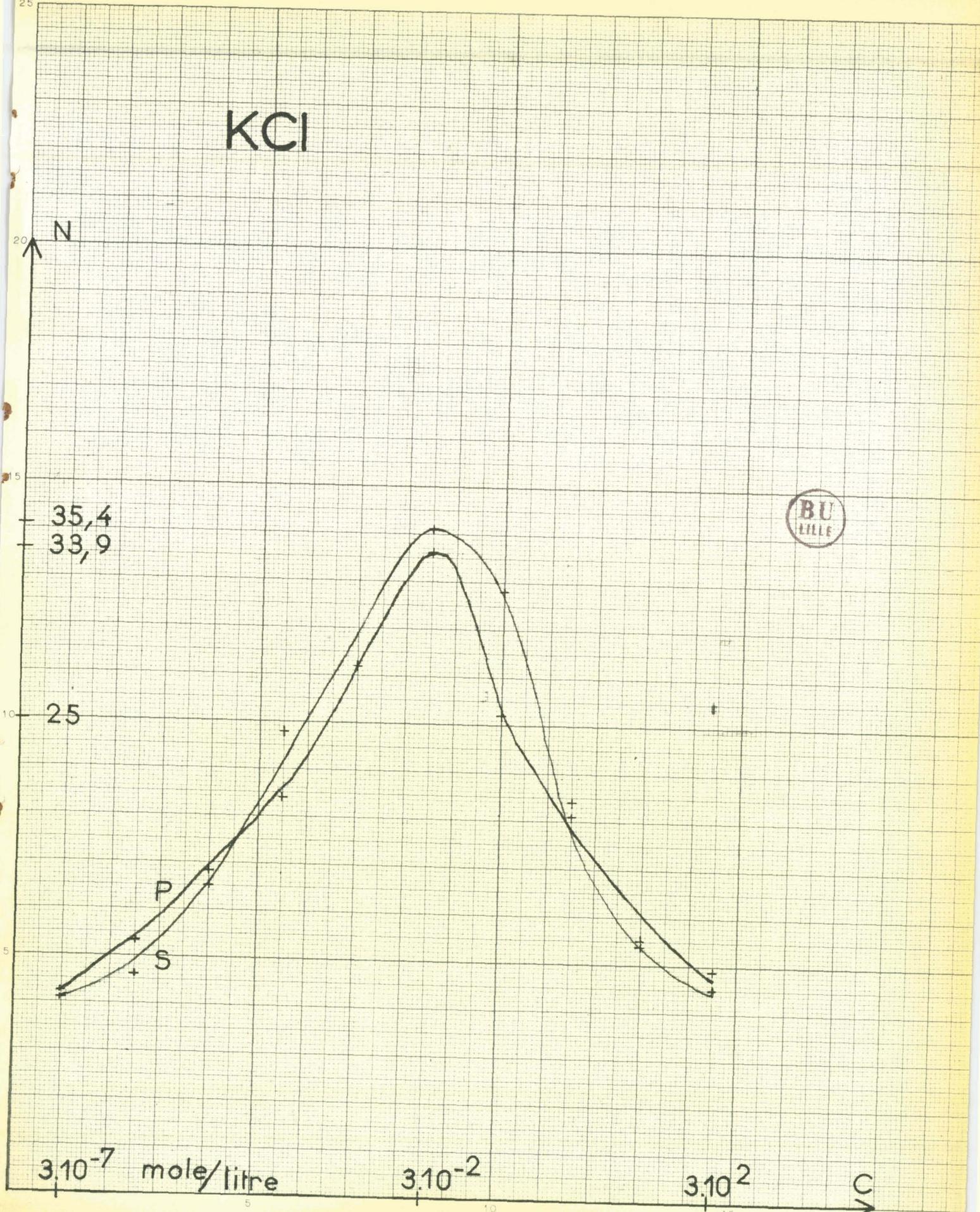
S

$3 \cdot 10^{-7}$ mole/litre

$3 \cdot 10^{-2}$

$3 \cdot 10^2$

VC



II - ACTION DU RAPPORT CHLORURE / SULFATE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.-

Dans le milieu de culture, le rapport des ions chlorure et sulfate s'exprime de la façon suivante :

$$\frac{(Cl^-)}{(SO_4^{--})} = \frac{\text{somme des concentrations des ions } Cl^- \text{ provenant des chlorures}}{\text{somme des concentrations des ions } SO_4^{--} \text{ provenant des sulfates.}}$$

Les ions Cl^- sont fournis par :

| | | |
|--------------------------|------------------|------------|
| le chlorure de potassium | 1300 . 10^{-6} | ion gramme |
| le chlorure de sodium | 25 . 10^{-6} | " |

Les ions SO_4^{--} sont fournis par :

| | | |
|-------------------------|--------------------|---|
| le sulfate ferreux | 10 000 . 10^{-6} | " |
| le sulfate ferrique | 0,37 . 10^{-6} | " |
| le sulfate de magnésium | 410 . 10^{-6} | " |
| le sulfate de manganèse | 0,6 . 10^{-6} | " |

(concentrations dans les 30 centrimètres cubes du milieu de culture)

Dans ces conditions, le rapport chlorure/sulfate est voisin de 0,13.

Pour changer la valeur de ce rapport, nous substituons progressivement du chlorure au sulfate et inversement, tout en maintenant constante la concentration de l'ion métal.

Les substitutions modifient le rapport chlorure/sulfate de façon sensible si elles portent sur le fer ferreux et le potassium.

Nous avons préparé cinq milieux de culture identiques sauf en ce qui concerne le sulfate ferreux Fe SO_4 - . Celui ci était progressivement remplacé par du chlorure ferreux Fe Cl_2 de façon à substituer un ion SO_4^{--} à deux ions Cl^- . Ainsi, la concentration en ions Fe^{++} restait constante, tandis que le rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{--}$ augmentait.

De même, dans une deuxième série de cinq tubes, nous avons substitué du sulfate neutre de potassium au chlorure de potassium en prenant les mêmes précautions que ci-dessus. Ainsi, la concentration en ions K^+ restait constante tandis que le rapport $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{--}$ diminuait.

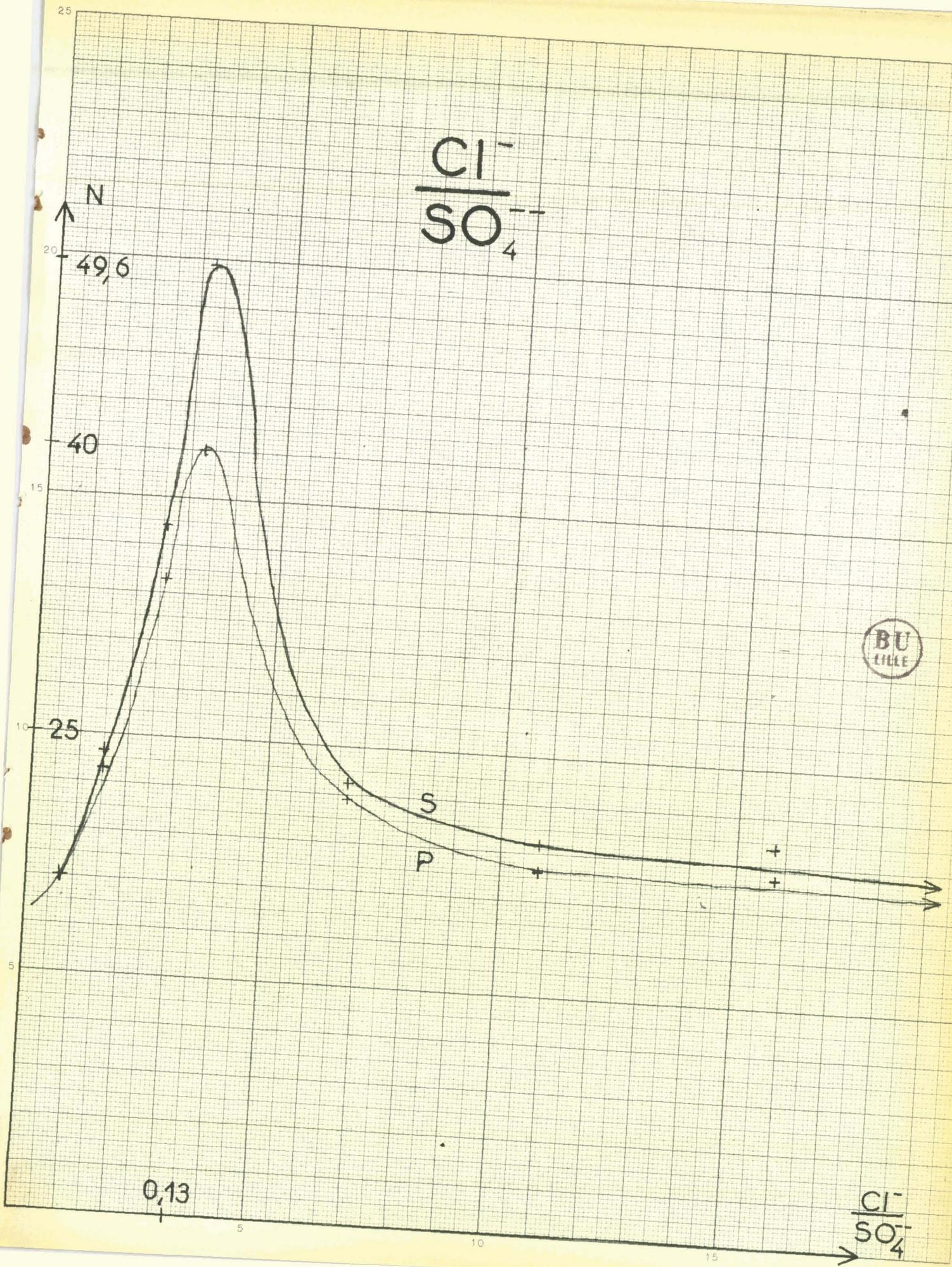
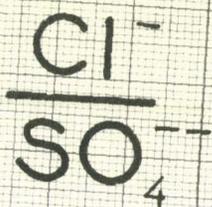
On trouvera dans le tableau des résultats, les différentes valeurs envisagées pour le rapport chlorure - sulfate.

RAPPORT CHLORURE / SULFATE

RESULTATS DES COMPTAGES



| Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | | N MOYEN |
|--|--|----------------|------------|---|---------------|------------|
| | D | | | D | | |
| 0,06 | 1.5.7.8.3.9.5.2. 4.8.5.2.4.8.22.4. | $\frac{1}{24}$ | 24 | 2.3.5.6.6.8.7.6. 7.2.10.8.6.12.2.5. | $\frac{1}{4}$ | 23,6 |
| 0,079 | 3.7.7.7.6.4.7.3. 5.6.8.3.8.9.8.6. | $\frac{1}{4}$ | 24 | 8.2.18.2.15.5.8. 12.5.4.3.9.2.6.6. | $\frac{1}{4}$ | 24 |
| 0,095 | 12.6.12.6.9.12.11.10 9.4.3.7.7.4.9.9. | $\frac{1}{4}$ | 32,1 | 9.4.9.16.4.13.3.17. 13.4.11.6.4.14.16.14. | $\frac{1}{3}$ | 29,4 |
| 0,105 | 9.6.12.6.6.12.11.13. 9.9.8.6.18.9.14.5. | $\frac{1}{4}$ | 37,2 | 21.12.25.12.14.25.15.18 13.12.15.10.14.19.8.20 | $\frac{1}{2}$ | 31,8 |
| 0,11 | 8.8.5.6.8.8.13.10. 6.15.6.11.10.10.8.14. | $\frac{1}{4}$ | 38,4 | 12.14.5.14.15.26.13.11 16.19.16.24.16.26.26.16 | $\frac{1}{2}$ | 33,2 |
| 0,12 | 11.7.14.15.12.15.20.13 8.21.14.18.15.8.10.13. | $\frac{1}{4}$ | 49,6 | 9.12.2.8.12.10.11.7. 9.7.10.8.7.6.13.10. | $\frac{1}{4}$ | 40 |
| 0,27 | 15.7.3.1.7.2.7.6. 8.11.4.2.4.8.7.2. | $\frac{1}{4}$ | 23,2 | 7.5.8.2.4.6.3.9. 6.6.5.7.7.4.5.7. | $\frac{1}{4}$ | 22,4 |
| 0,43 | 3.4.6.2.5.5.8.6. 2.12.7.1.11.3.6.2. | $\frac{1}{4}$ | 20,4 | 21.23.18.24.14.22.16.22 23.18.17.30.20.11.4.26 | | 19,1 |
| 0,63 | 19.17.23.21.25.22.17.20 17.25.29.24.33.20.22.21 | | 20,9 | 6.9.15.11.15.13.9.14. 18.11.13.12.18.14.10.13 | $\frac{1}{2}$ | 19,8 |
| 1,1 | 4.5.20.9.10.13.8.17. 14.25.26.20.8.19.26.29 | | 15,4 | 16.7.11.5.15.6.7.12 7.8.16.14.18.17.19.8 | | 11,6 |
| 1,6 | 14.12.6.7.4.12.26.24 16.20.15.23.11.14.23.24 | | 14,4 | 5.6.4.1.27.13.2.9. 4.3.12.13.5.8.7.10. | | 8 |



III - INTERPRETATION DES RESULTATS.-

Le tableau suivant permet la comparaison de nos résultats avec ceux de N. POTELLE.

| concentrations optimales trouvées par N. POTELLE en mole/litre. | concentrations optimales résultant de nos mesures en mole/litre. |
|---|--|
| K ₂ H PO ₄ 5,75.10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁴ |
| Mg SO ₄ 1,37.10 ⁻² | 1,6.10 ⁻² |
| Na cl 8,55.10 ⁻⁴ | 3.10 ⁻⁴ |
| K Cl 4,47.10 ⁻² | 3.10 ⁻² |
| valeur du rapport $\frac{cl^-}{SO_4}$ 0,13 | 0,13 |



Il révèle des résultats tout à fait comparables par leur ordre de grandeur avec ceux obtenus par N. POTELLE.

L'étude de N.POTELLE a été plus complète que la nôtre, aussi avons nous adopté son milieu optimum comme milieu témoin dans toutes nos expériences sur les oligo - éléments. Les courbes représentatives font apparaître un maximum net dans le développement de Perabacterium. On peut donc sans hésiter parler de concentration optimum dans le milieu de culture.

Certaines courbes appellent une remarque particulière :

K₂ H PO₄ : Le nombre moyen de bactéries par unité de cellule THOMA diminue de façon rapide dès que l'on a franchi l'optimum : le phosphate bibotassique semble donc jouer un rôle inhibiteur dès que la concentration dépasse 10⁻³ mole/litre .

Na Cl : Le graphique révèle comme pour $K_2 H P O_4$ un pouvoir inhibiteur pour des concentrations supérieures à 3.10^{-4} moles / litre.

(Cl⁻) : La courbe représentant le développement
(SO₄⁻⁻) : de la bactérie en fonction de ce rapport présente un maximum assez aigu. Nous devons en tenir compte dans la seconde partie lorsqu'un oligo - élément sera introduit dans le milieu de culture sous la forme d'un chlorure ou d'un sulfate. Il faudra alors agir sur les autres constituants du milieu pour conserver à ce rapport une valeur voisine de l'optimum.

REMARQUE :

Le *Perabacterium spelei* a le comportement d'un organisme microaérophile ; le développement en profondeur devrait être moins important que le développement en surface. Nos toutes premières études nous ont conduit à des conclusions parfois inversées, la maladresse de l'expérimentateur paraît seule en cause. Les études ultérieures ont conduit à des résultats satisfaisants sur ce point.

DEUXIEME PARTIE

ACTION DES OLIGO - ELEMENTS

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI

-. I N T R O D U C T I O N .-

A partir des milieux types proposés par HELLER, TORREY, et HOAGLAND, nous avons dressé une liste d'oligo - éléments.

Ces oligo - éléments se présentent sous forme de sels ou d'oxyde mais, c'est bien entendu l'ion oligodynamique seul qui nous intéresse. Lorsqu'il s'est agi d'un chlorure ou d'un sulfate pris à une concentration assez élevée, nous avons modifié la concentration du milieu en K Cl de manière à rétablir une valeur du rapport chlorure / sulfate voisine de l'optimum (c'est à dire de 0,13). A ces exceptions près, les constituants du milieu autres que les oligo - éléments ont été pris aux mêmes concentrations que dans le milieu POTELLE. Enfin, nous avons toujours conservé un volume de milieu de culture de 30 centimètres cubes.

Exposons les buts poursuivis au cours de cette étude : il s'agissait tout d'abord de déterminer si un élément donné avait bien une action oligodynamique sur le développement de *Perabacterium spelei*; puis de rechercher entre quelles concentrations limites (seuils de concentration) cette action était favorable, et déterminer enfin la concentration optimum.

Dans le milieu type établi par N. POTELLE, deux éléments Fe^{+++} et Mn^{++} sont déjà présents à une concentration très faible où ils exercent une action oligodynamique probable.

Nous étudierons d'abord le rôle exact de ces deux éléments pris sous forme chlorure, puis sous forme sulfate.

Ni⁺⁺, Al³⁺, Cu⁺⁺, Zn⁺⁺, Li⁺, Co⁺⁺, Ti⁴⁺, BO₃⁻, MoO₄⁻⁻, I⁻, Br⁻.

Nous étudierons ensuite l'action des oligo -
éléments suivants :

Dans l'étude de chacun des oligo - éléments,
il nous a paru nécessaire de réaliser un tube témoin
contenant le milieu de culture type. L'usage de ce
témoin avait un double but :

1) déterminer si l'élément incriminé avait bien

une action favorable sur le développement de la bactérie.

2) permettre une comparaison de l'action des

divers éléments les uns avec les autres.

Remarque :

On pourrait s'étonner de voir les maximas

régulièrement situés au milieu des diverses courbes.

En réalité, on a procédé en deux étapes; la première

série d'expériences servant uniquement à situer la con-

centration optimum.

I - ACTION DU MANGANESE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.-

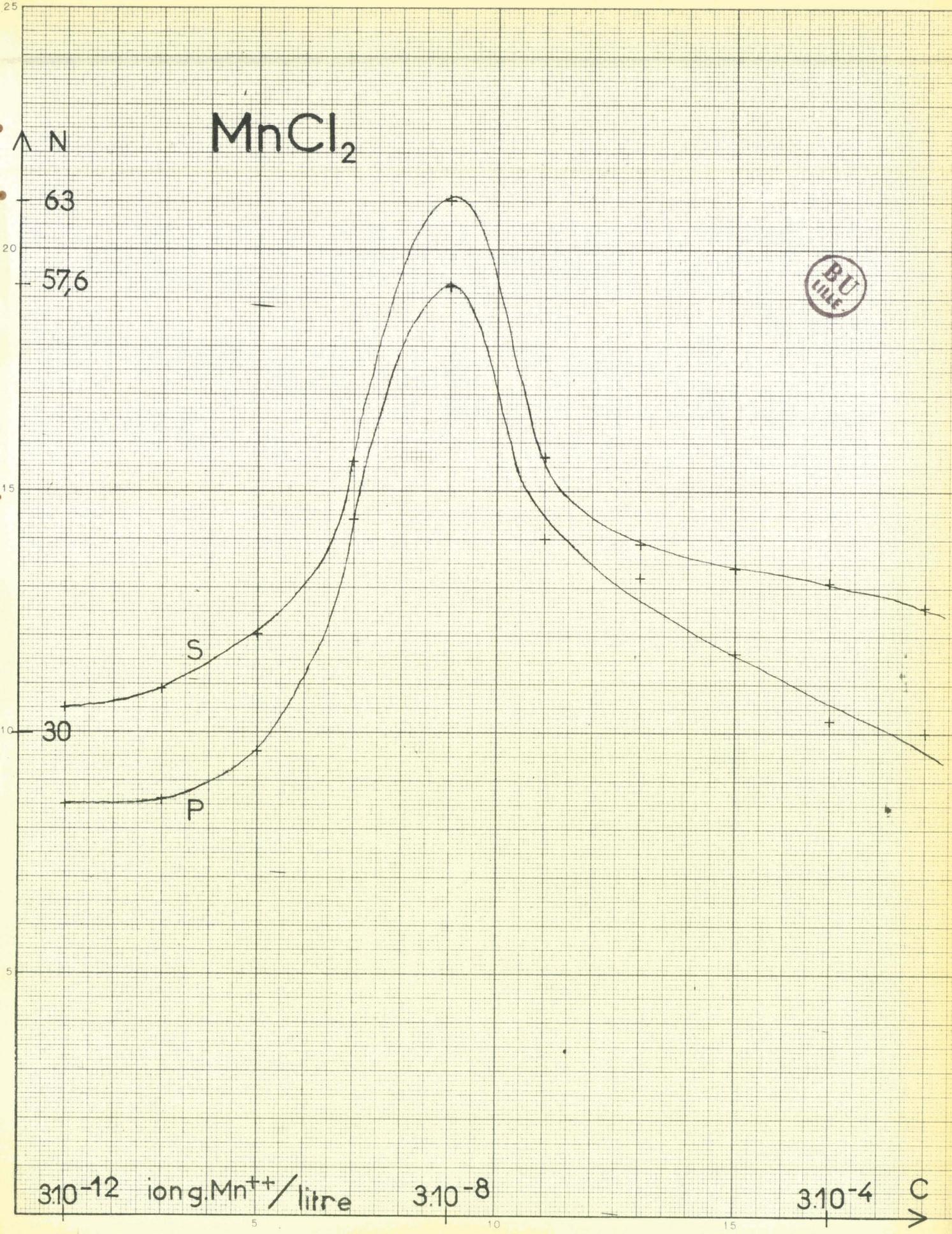
Nous avons préparé deux séries de 10 tubes. Dans la première série, la concentration en Mn SO₄ a varié de $3 \cdot 10^{-12}$ à $3 \cdot 10^{-3}$ ion gramme Mn⁺⁺ par litre. Dans la seconde série, nous avons remplacé quantitativement Mn SO₄ par Mn Cl₂. Les concentrations ont varié dans les même proportions que pour les macro - éléments.

Le calcul montre que le rapport chlorure / sulfate garde une valeur très voisine de l'optimum dans tous ces essais. Les autres caractéristiques du milieu de culture ont donc été celles choisies par N. POTELLE.

Mn Cl2 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION en Mn ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|---------------|------------|---|---------------|------------|
| 3.10 ⁻¹² | 10.12.6.4.6.10.10.6. 7.9.6.6.8.2.2.0. | $\frac{1}{5}$ | 31,5 | 10.0.2.2.6.5.6.0. 10.0.11.8.9.3.9.8. | $\frac{1}{5}$ | 25,5 |
| 3.10 ⁻¹¹ | 5.6.6.3.3.6.9.12. 5.8.6.8.12.7.4. | $\frac{1}{5}$ | 32,8 | 3.4.6.4.4.5.6.9. 3.4.3.6.4.4.13.4. | $\frac{1}{5}$ | 25,9 |
| 3.10 ⁻¹⁰ | 8.5.7.5.4.4.8.13 9.6.12.5.6.5.11.8. | $\frac{1}{5}$ | 36,2 | 5.8.7.6.3.6.8.7. 6.7.2.5.6.5.4.7. | $\frac{1}{5}$ | 28,7 |
| 3.10 ⁻⁹ | 5.4.10.7.10.12.9.11. 3.4.9.8.8.11.7.7. | $\frac{1}{6}$ | 46,8 | 6.10.8.4.10.7.10.5. 6.4.4.8.6.7.13.9. | $\frac{1}{6}$ | 43,2 |
| 3.10 ⁻⁸ | 12.10.12.13.13.9.10.13. 12.8.11.12.9.11.7.9. | $\frac{1}{6}$ | 63 | 10.11.12.10.10.10.10.7 10.7.12.11.10.8.10.8. | $\frac{1}{6}$ | 57,6 |
| 3.10 ⁻⁷ | 16.8.11.9.10.12.15.11. 16.10.15.14.13.10.7.12 | $\frac{1}{4}$ | 47,2 | 2.10.16.20.15.8.16.16. 5.5.15.13.19.7.4.14. | $\frac{1}{4}$ | 42 |
| 3.10 ⁻⁶ | 9.11.11.8.10.6.16.12. 11.7.13.12.8.12.8. | $\frac{1}{4}$ | 41,8 | 18.14.5.6.9.14.5.8. 3.11.11.8.15.4.7.20. | $\frac{1}{4}$ | 39,6 |
| 3.10 ⁻⁵ témoin | 12.8.8.8.7.12.9.10. 12.13.8.13.11.9.8.13. | $\frac{1}{4}$ | 40,2 | 6.11.16.10.6.6.9.12. 11.6.10.6.11.8.10.8. | $\frac{1}{4}$ | 35 |
| 3.10 ⁻⁴ | 8.5.10.10.4.12.6.6. 11.12.4.6.7.7.3.12. | $\frac{1}{5}$ | 39,4 | 4.5.5.5.8.5.5.6. 4.7.9.5.11.7.6.6. | $\frac{1}{5}$ | 30,6 |
| 3.10 ⁻³ | 8.6.5.6.6.6.8.11 5.5.7.10.11.6.11.10 | $\frac{1}{5}$ | 37,8 | 5.4.6.6.3.5.12.4. 9.4.8.5.7.8.6.4. | $\frac{1}{5}$ | 30 |



3.10^{-12} iong. Mn^{++} / litre

3.10^{-8}

3.10^{-4}

C

Mn SO4 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Mn ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|---------------|------------|---|---------------|------------|
| 3.10 ⁻¹² | 6.4.5.2.2.6.5.10. 8.4.0.6.1.5.3.6. | $\frac{1}{6}$ | 27 | 4.5.4.3.5.2.6.2. 5.2.3.3.4.5.2.10. | $\frac{1}{6}$ | 24,3 |
| 3.10 ⁻¹¹ | 4.4.7.5.7.6.7.7. 6.3.3.7.7.7.8. | $\frac{1}{5}$ | 27,5 | 5.9.13.6.7.8.4. 3.6.3.3.5.4.3.4. | $\frac{1}{5}$ | 23,1 |
| 3.10 ⁻¹⁰ | 5.8.5.12.8.4.8.4. 6.6.5.4.4.2.5.11. | $\frac{1}{5}$ | 30,5 | 5.7.6.6.7.3.6.6. 4.5.5.4.5.4.6.6. | $\frac{1}{5}$ | 26,5 |
| 3.10 ⁻⁹ | 12.7.3.5.7.4.4.3. 7.11.3.11.17.9.2.2. | $\frac{1}{6}$ | 39,6 | 4.2.6.2.7.10.7.5. 8.3.3.9.8.8.3.10. | $\frac{1}{6}$ | 32,4 |
| 3.10 ⁻⁸ | 13.14.8.8.9.6.17.14. 4.6.12.9.5.9.7.12. | $\frac{1}{6}$ | 58 | 12.10.12.13.11.16.9.10 8.9.12.8.4.3.7.5. | $\frac{1}{6}$ | 55,2 |
| 3.10 ⁻⁷ | 8.14.11.17.14.14.24.9. 13.16.13.6.15.12.13.17 | $\frac{1}{4}$ | 54,0 | 8.19.10.18.8.16.12.3. 17.10.17.2.15.14.10.16 | $\frac{1}{4}$ | 46,5 |
| 3.10 ⁻⁶ | 4.12.4.11.5.7.13.8. 6.7.6.12.10.4.4.7. | $\frac{1}{5}$ | 37,5 | 7.6.4.9.10.4.5.7. 5.16.7.7.5.4.8.9. | $\frac{1}{5}$ | 35,3 |
| 3.10 ⁻⁵ témoin | 10.6.6.8.11.3.6.8. 6.4.5.8.6.9.9.10. | $\frac{1}{5}$ | 35,9 | 4.7.8.6.5.10.4.6. 8.6.6.6.9.5.7.12. | $\frac{1}{5}$ | 34,0 |
| 3.10 ⁻⁴ | 5.13.12.8.8.8.6.9. 11.9.6.10.7.4.7.13. | $\frac{1}{4}$ | 34 | 8.18.12.14.12.8.12.9. 10.10.14.12.0.4.14.14 | $\frac{1}{3}$ | 31,2 |
| 3.10 ⁻³ | 13.7.8.11.7.12.10.11 12.14.9.8.14.7.9.9. | $\frac{1}{3}$ | 31,8 | 6.15.7.9.6.9.17.10. 15.6.16.6.7.7.8.9. | $\frac{1}{3}$ | 28,5 |

MnSO₄

N

25
20
15
10
5

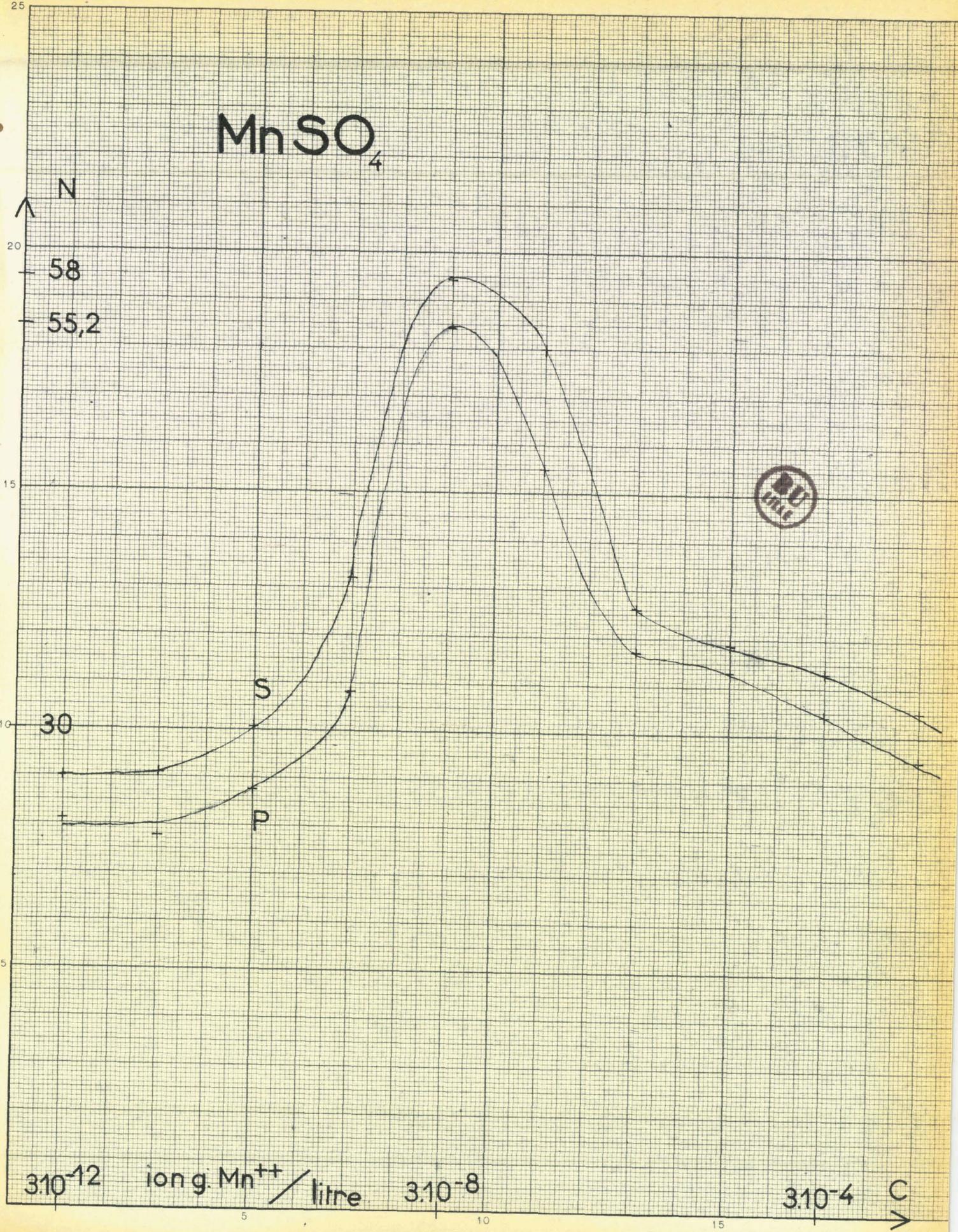
58
55,2
30

S

P



3.10⁻¹² ion g. Mn⁺⁺ / litre 3.10⁻⁸ 3.10⁻⁴ C



INTERPRETATION DES RESULTATS.-

Pour que ces résultats soient directement comparables, il nous a paru nécessaire de mener de front l'étude du sulfate et du chlorure. Par contre, la constitution d'un tube témoin était inutile : l'un des tubes de la série sulfate de manganèse (concentration 3.10^{-5}) possédait les caractéristiques du milieu POTELLE.

Les deux courbes font apparaître un maximum net dans le développement de la culture du *Perabacterium spelei* pour une concentration de 3.10^{-8} ion gramme Mn^{++} par litre. Qu'il soit sous forme de chlorure ou de sulfate, le manganèse exerce la même action oligodynamique. Cette action est nette pour des concentrations variant de 3.10^{-9} à 3.10^{-7} ion gramme Mn^{++} par litre pour le chlorure et 3.10^{-9} à 3.10^{-6} pour le sulfate.

Dans les deux cas, la courbe tend vers un palier pour des concentrations inférieures à 3.10^{-10} . On peut conclure que le manganèse à de très faibles concentrations est pratiquement inactif.

La concentration optima en Mn^{++} diffère beaucoup de celle indiquée par N. POTELLE ($2,5.10^{-5}$ ion gramme par litre) au lieu de 3.10^{-8} . Ce résultat s'explique : en l'absence d'une quantité suffisante de fer ferreux, les bactéries utilisent le manganèse pour leur métabolisme. N. POTELLE a étudié l'action du manganèse dans un milieu très pauvre en fer ferreux.

Dans ces conditions, le sulfate de manganèse est à la fois trophique et oligodynamique. Dans notre milieu beaucoup plus riche en fer ferreux (5.10^{-2} g/cc au lieu de $1,6.10^{-6}$), le sulfate de manganèse a un rôle uniquement oligodynamique.

II - ACTION DU FER FERRIQUE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.-

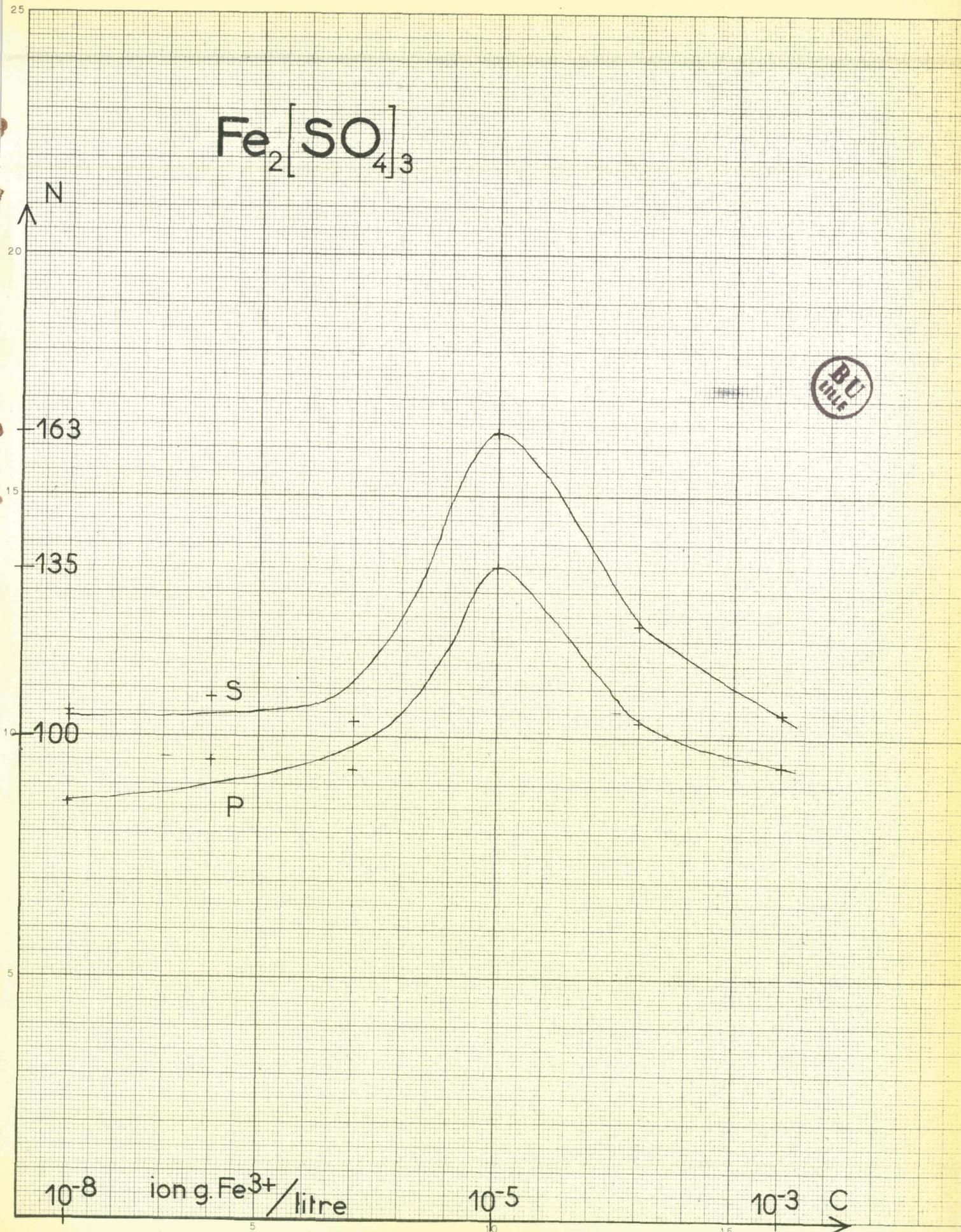
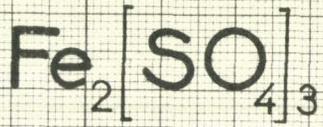
Nous avons préparé une série de 6 tubes où les concentrations en $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ont varié de 10^{-8} à 10^{-3} ion gramme Fe^{3+} par litre et une série de 9 tubes où les concentrations en FeCl_3 ont varié de 10^{-11} à 10^{-3} .

Comme pour le manganèse, le milieu n'a pas dû être modifié pour ramener le rapport $\frac{(\text{Cl}^-)}{(\text{SO}_4^{--})}$ à sa valeur optimum.

Fe₂ (SO₄)₃ : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Fe ³⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|---|----------------|------------|--|----------------|------------|
| 10 ⁻⁸ | 6.7.8.1.10.8.3.7. 7.10.7.3.11.13.12. | $\frac{1}{16}$ | 105 | 3.5.8.6.4.4.7.4. 4.4.3.6.7.6.6.9. | $\frac{1}{16}$ | 86 |
| 10 ⁻⁷ | 6.10.11.7.5.3.3.7. 7.7.4.7.14.6.6.5. | $\frac{1}{16}$ | 108 | 10.10.4.3.7.5.7.4. 10.12.4.2.8.2.7.8. | $\frac{1}{16}$ | 95 |
| 10 ⁻⁶ témoin | 7.3.8.4.6.10.7.4. 5.13.9.5.5.4.6.7. | $\frac{1}{16}$ | 103 | 5.4.4.5.6.10.8.5. 6.3.8.4.8.3.7.7. | $\frac{1}{16}$ | 93 |
| 10 ⁻⁵ | 3.5.11.12.1.11.15.6. 10.10.11.9.11.16.13.17. | $\frac{1}{16}$ | 163 | 4.5.8.14.5.5.10.4. 14.7.0.11.16.9.16.7. | $\frac{1}{16}$ | 135 |
| 10 ⁻⁴ | 6.10.7.11.5.3.3.7. 7.7.4.7.14.6.16.5. | $\frac{1}{16}$ | 118 | 12.8.4.3.7.5.7.4. 10.12.4.2.8.1.10.5. | $\frac{1}{16}$ | 103 |
| 10 ⁻³ | 9.8.5.10.3.8.6.10. 7.2.7.8.4.6.6.6. | $\frac{1}{16}$ | 105 | 8.5.4.6.10.6.10.7. 6.4.4.3.2.5.6.8. | $\frac{1}{16}$ | 94 |



Fe C13 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION en Fe ³⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|----------------|------------|--|----------------|------------|
| 10 ⁻¹¹ | 8.12.11.14.3.5.9.9. 9.11.2.8.9.7.13.11. | $\frac{1}{10}$ | 95 | 9.11.10.9.7.5.4.8. 8.7.6.7.7.11.6.13. | $\frac{1}{10}$ | 83 |
| 10 ⁻¹⁰ | 9.7.8.7.11.5.7.11. 10.4.6.6.9.16.15.13. | $\frac{1}{10}$ | 93 | 6.5.7.7.7.5.10.11. 11.5.12.13.7.6.10.13. | $\frac{1}{10}$ | 85 |
| 10 ⁻⁹ | 10.7.6.9.10.6.15.8. 13.12.13.13.17.10.9.6. | $\frac{1}{10}$ | 102,5 | 7.12.17.12.5.3.15.12 6.2.7.8.12.7.6.7. | $\frac{1}{10}$ | 85 |
| 10 ⁻⁸ | 2.6.5.5.5.3.4.5. 9.6.6.10.7.12.5.8. | $\frac{1}{16}$ | 98 | 8.3.6.4.6.4.6.7. 7.4.6.5.3.3.8.7. | $\frac{1}{16}$ | 88 |
| 10 ⁻⁷ | 12.6.5.3.7.8.13.6. 7.3.4.4.8.12.8.5. | $\frac{1}{16}$ | 111 | 8.7.3.12.9.5.11.5. 4.8.2.4.9.7.9.5. | $\frac{1}{16}$ | 109 |
| 10 ⁻⁶ témoin | 10.10.7.4.12.11.5.10. 16.15.9.3.6.7.4.6. | $\frac{1}{16}$ | 135 | 10.9.7.10.4.5.6.5. 6.5.10.5.6.5.13.10. | $\frac{1}{16}$ | 116 |
| 10 ⁻⁵ | 8.12.9.17.10.13.13.18. 12.9.11.12.10.20.16.15 | $\frac{1}{16}$ | 205 | 9.11.15.14.9.21.8.12. 13.11.8.7.21.16.9.10. | $\frac{1}{16}$ | 194 |
| 10 ⁻⁴ | 10.1.10.5.13.6.8.14. 9.5.6.8.9.14.7.12. | $\frac{1}{16}$ | 137 | 8.7.7.9.7.12.4.12. 6.9.12.9.7.7.6.5. | $\frac{1}{16}$ | 127 |
| 10 ⁻³ | 0.4.4.4.3.10.10.3. 4.7.3.2.7.5.4.7. | $\frac{1}{16}$ | 77 | 1.4.5.8.3.1.7.5. 7.5.8.3.1.4.6.7. | $\frac{1}{16}$ | 75 |

FeCl_3

N

↑
205
194



100

S

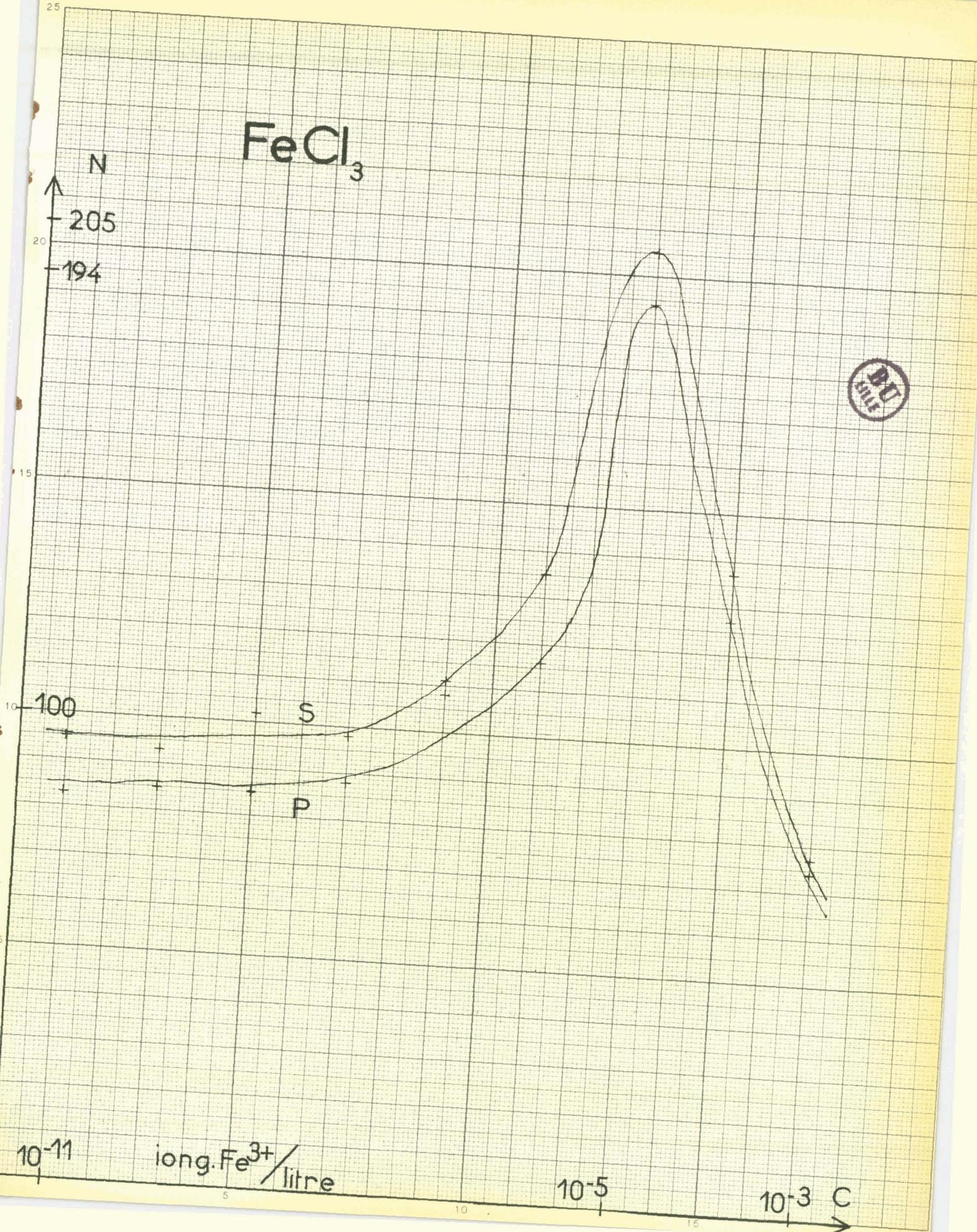
P

10^{-11}

iong. Fe^{3+} / litre

10^{-5}

10^{-3} C



INTERPRETATION DES RESULTATS.-

Les deux courbes indiquent une action oligodynamique certaine du fer ferrique sous les deux formes : chlorure et sulfate. Le maximum est plus élevé pour le chlorure que pour le sulfate mais la courbe est plus étalée pour les sulfates.

La différence d'efficacité des deux sels provient d'abord de la faible stabilité du sulfate ferrique en solution aqueuse - on sait en effet qu'il est facilement hydrolysable.

L'instabilité due à l'hydrolyse nuit à la diffusion et l'hydrate ferrique insoluble est pratiquement inutilisable.

On peut expliquer le seuil plus net à 10^{-3} du Fe Cl_3 par le fait que Fe Cl_3 est antiseptique à partir de cette concentration ; (ici interviendraient à la fois la concentration et la facilité de diffusion de la forme chlorure).

Aux très faibles concentrations inférieures à 10^{-7} ion g Fe^{3+} par litre, les deux formes chlorure et sulfate sont également inactives. Le domaine d'activité des deux sels va de 10^{-6} à 10^{-4} ion gramme Fe^{3+} /litre et la concentration optimum est de 10^{-5} ion gramme Fe^{3+} par litre.

Aux erreurs expérimentales près, nos résultats sont identiques à ceux de N. POTTÉLLE.

III - ACTION DU NICKEL

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI

Cette action a été envisagée sous les deux formes chlorure et sulfate. Nous avons fait varier les concentrations de 10^{-10} à 10^{-1} ion gramme Ni^{++} par litre.

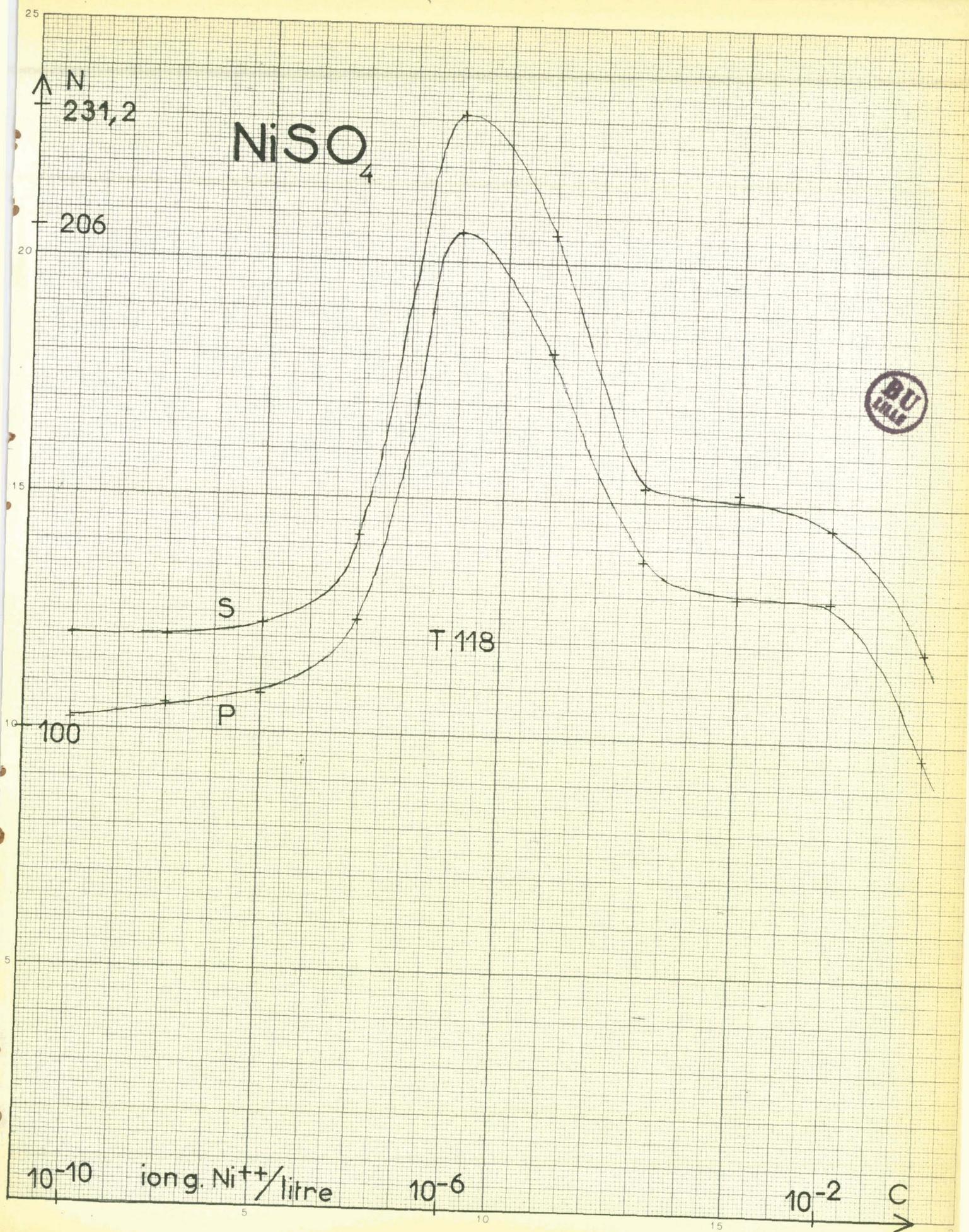
Pour $NiCl_2$ aux fortes concentrations, il a fallu abaisser la concentration en chlorure de potassium dans le milieu afin de ne pas élever exagérément le rapport Chlorure/sulfate.

A partir de cette série d'expériences, nous avons préparé chaque fois un tube témoin.

Ni SO4 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Ni ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|---|----------------|------------|---|----------------|------------|
| 10 ⁻¹⁰ | 4.8.9.9.6.4.10.6. 4.3.3.10.6.4.4.6. | $\frac{1}{20}$ | 120 | 5.4.4.4.6.6.9.1. 3.1.10.10.2.6.4.7. | $\frac{1}{20}$ | 102 |
| 10 ⁻⁹ | 5.4.5.1.9.8.5.6. 3.6.5.8.10.7.6.8. | $\frac{1}{20}$ | 120 | 4.4.5.5.5.8.7.6. 3.4.5.6.5.6.5.7. | $\frac{1}{20}$ | 106,2 |
| 10 ⁻⁸ | 4.9.9.3.8.7.6.7. 7.3.6.7.8.4.6.5. | $\frac{1}{20}$ | 123,6 | 7.5.4.6.5.6.4.5. 7.5.5.8.4.4.6.6. | $\frac{1}{20}$ | 108,6 |
| 10 ⁻⁷ | 12.9.4.5.4.6.8.9. 13.4.7.5.8.4.7.6. | $\frac{1}{20}$ | 142,4 | 8.5.13.8.4.8.5.4. 3.4.6.5.7.8.5.6. | $\frac{1}{20}$ | 124 |
| 10 ⁻⁶ | 7.12.12.15.12.9.11.11. 17.10.10.10.13.8.14.14. | $\frac{1}{20}$ | 231,2 | 6.5.19.9.9.10.16.16. 15.15.7.6.7.10.7.8. | $\frac{1}{20}$ | 206 |
| 10 ⁻⁵ | 12.10.11.11.12.7.10.12. 9.8.5.7.11.13.13.14. | $\frac{1}{20}$ | 206,2 | 6.13.8.4.13.9.14.6. 6.4.4.6.15.13.12.12. | $\frac{1}{20}$ | 181,2 |
| 10 ⁻⁴ | 14.11.12.7.8.5.8.5. 9.6.5.4.10.7.7.10. | $\frac{1}{20}$ | 153 | 12.12.6.6.13.6.6.6. 7.5.6.5.5.4.5.6. | $\frac{1}{20}$ | 137,4 |
| 10 ⁻³ | 5.7.6.6.7.6.4.14. 8.12.6.9.5.11.6.10. | $\frac{1}{20}$ | 152,4 | 8.4.8.7.6.9.7.5. 6.8.5.9.10.8.0.4. | $\frac{1}{20}$ | 130 |
| 10 ⁻² | 11.7.6.8.6.5.9.3. 4.7.11.15.9.3.8. | $\frac{1}{20}$ | 145 | 7.6.10.7.3.12.5.6. 4.2.4.6.13.5.4.9. | $\frac{1}{20}$ | 130 |
| 10 ⁻¹ | 5.5.9.4.5.4.5.5. 9.4.9.13.6.4.4.5. | $\frac{1}{20}$ | 120 | 7.0.5.8.6.6.6.5. 5.4.4.4.4.4.4.6. | $\frac{1}{20}$ | 97,4 |
| tube témoin | 6.1.15.4.4.4.6.6. 5.14.6.6.3.8.4.0. | $\frac{1}{20}$ | 118 | 6.5.6.4.6.4.6.4. 6.5.1.7.5.3.5.5. | $\frac{1}{20}$ | 97 |

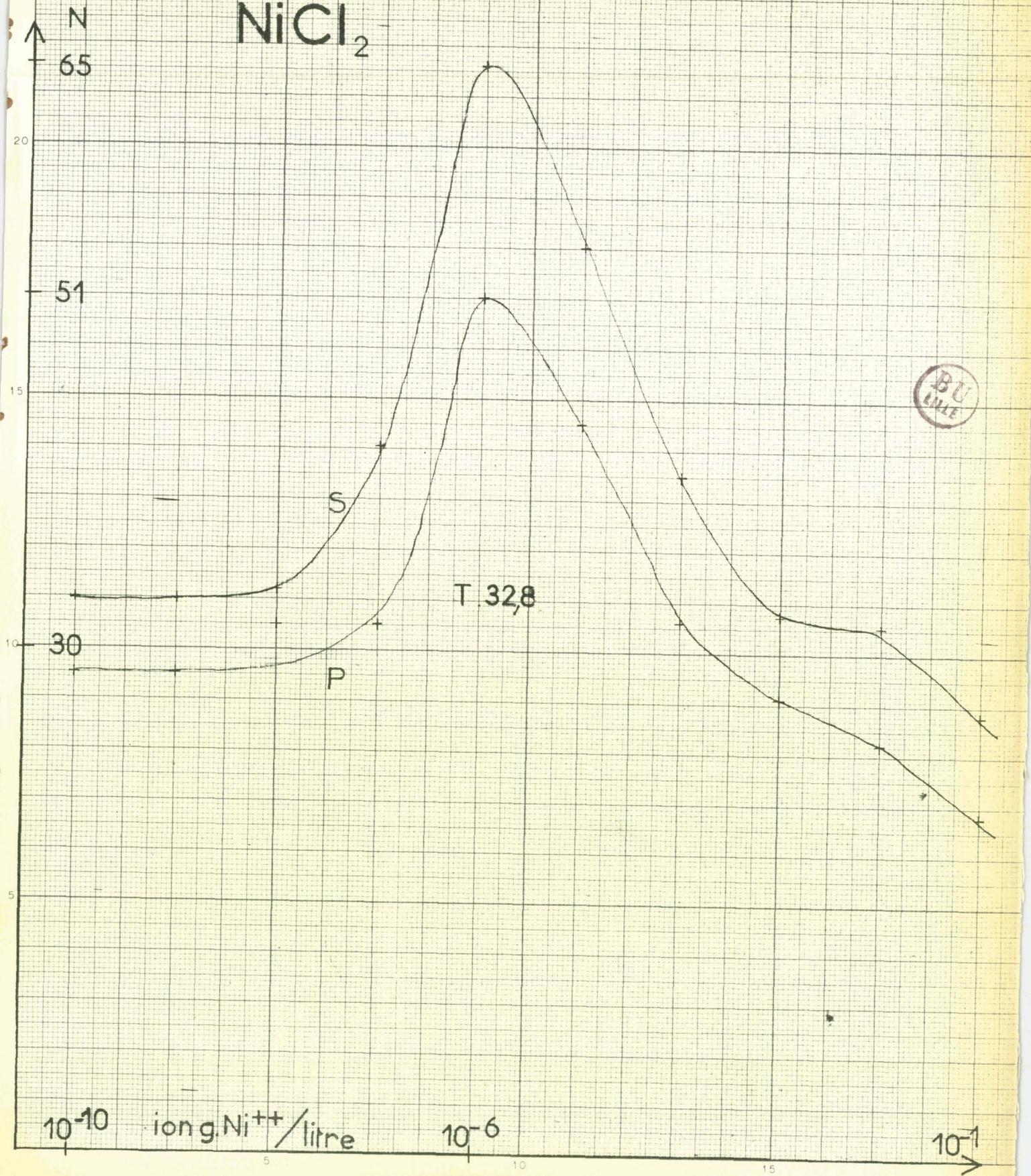


Ni Cl2 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION en Ni ⁺⁺ Ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|---|---------------|------------|---|---------------|------------|
| 10 ⁻¹⁰ | 2.3.20.8.8.1.4.3. 5.10.11.3.6.4.9.10. | $\frac{1}{5}$ | 33 | 1.9.5.8.2.5.5.7. 10.8.8.4.7.10.1.8. | $\frac{1}{5}$ | 28,5 |
| 10 ⁻⁹ | 4.4.5.12.8.6.5.16. 7.9.5.5.3.4.5.8. | $\frac{1}{5}$ | 33,1 | 7.6.4.6.3.12.4.7. 4.4.5.6.5.7.7.5. | $\frac{1}{5}$ | 28,5 |
| 10 ⁻⁸ | 5.10.10.5.5.13.5.7. 12.3.3.5.16.4.4.1. | $\frac{1}{5}$ | 33,7 | 6.6.7.7.7.6.7.3. 6.7.6.4.6.6.9.8. | $\frac{1}{5}$ | 31,5 |
| 10 ⁻⁷ | 5.3.18.6.12.7.15.5. 8.6.7.7.5.5.2.26. | $\frac{1}{5}$ | 42,5 | 5.10.7.7.9.4.7.8. 3.6.8.4.4.3.8.9. | $\frac{1}{5}$ | 31,5 |
| 10 ⁻⁶ | 8.12.17.17.10.9.17.8. 9.26.14.8.18.16.15.15 | $\frac{1}{5}$ | 65 | 10.13.6.15.10.10.8.13 16.11.11.7.14.8.7.4. | $\frac{1}{5}$ | 51 |
| 10 ⁻⁵ | 8.5.10.10.10.13.12.13. 17.7.9.11.13.11.9.16? | $\frac{1}{5}$ | 54 | 5.15.15.15.8.9.8.15. 8.5.6.4.4.9.4.10. | $\frac{1}{5}$ | 43,5 |
| 10 ⁻⁴ | 5.10.12.10.5.8.5.9. 8.9.7.5.6.13.16.2. | $\frac{1}{5}$ | 40,2 | 9.4.2.11.4.4.8.8. 7.7.4.7.10.5.7.6. | $\frac{1}{5}$ | 32 |
| 10 ⁻³ | 4.7.2.8.6.10.3.3. 7.11.6.7.4.11.7.7. | $\frac{1}{5}$ | 32,1 | 3.7.5.0.7.8.9.7. 8.5.7.2.4.8.7.0. | $\frac{1}{5}$ | 28,3 |
| 10 ⁻² | 6.5.8.4.5.11.6.4. 5.12.8.4.9.8.5.3. | $\frac{1}{5}$ | 32 | 6.5.6.5.5.5.4.4. 5.7.5.6.6.5.6.5. | $\frac{1}{5}$ | 26,5 |
| 10 ⁻¹ | 8.5.3.3.13.3.3.4. 7.5.5.3.6.8.6.7. | $\frac{1}{5}$ | 27,2 | 4.5.4.3.2.3.7.5. 5.7.1.4.2.3.8.3. | $\frac{1}{5}$ | 20,5 |
| témoin | 4.9.9.6.7.8.9.7. 7.6.3.7.6.6.8.3. | $\frac{1}{5}$ | 32,8 | 7.5.4.6.9.7.6.6. 8.5.5.8.7.6.5.4. | $\frac{1}{5}$ | 30,6 |

NiCl₂



INTERPRETATION DES RESULTATS.-

CHLORURE.-

Dans le tube témoin, le développement de Perabacterium a été le même que dans le tube contenant Ni CL₂ aux concentrations inférieures à 10^{-7} ion-gramme Ni⁺⁺ par litre (33 bactéries par unité de cellule THOMA en surface) donc l'élément est inactif à de telles concentrations.

Pour des concentrations de 10^{-7} à 10^{-4} ion gramme Ni⁺⁺, le nickel favorise le développement de Perabacterium spelei. Son action oligodynamique est donc certaine.

Aux concentrations supérieures à 10^{-4} il paraît jouer un rôle inhibiteur puisque la bactérie se développe moins que dans le milieu témoin.

Le développement optimum est obtenu pour une concentration de 10^{-6} ion gramme Ni⁺⁺ par litre.

SULFATE.-

Dans le tube témoin on a compté 125 bactéries par unité de cellule THOMA en surface. Pour des concentrations en NiSO₄ inférieures à 10^{-7} ion gramme Ni⁺⁺ par litre, on a compté sensiblement le même nombre de bactéries donc les conclusions seront les mêmes que pour le chlorure.

Du reste, les deux courbes de peuplement ont des allures tout à fait identiques, en particulier l'optimum est obtenu pour la même concentration en ion gramme Ni⁺⁺ par litre. Remarquons que la présence de Ni⁺⁺ à la concentration optimum a sensiblement doublé le nombre de bactéries présentes qu'il s'agisse du chlorure ou du sulfate: le nombre de bactéries par unité de cellule THOMA est passé de 33 à 65 pour le chlorure, 120 à 230 pour le sulfate.

IV - ACTION DE L'ALUMINIUM

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI

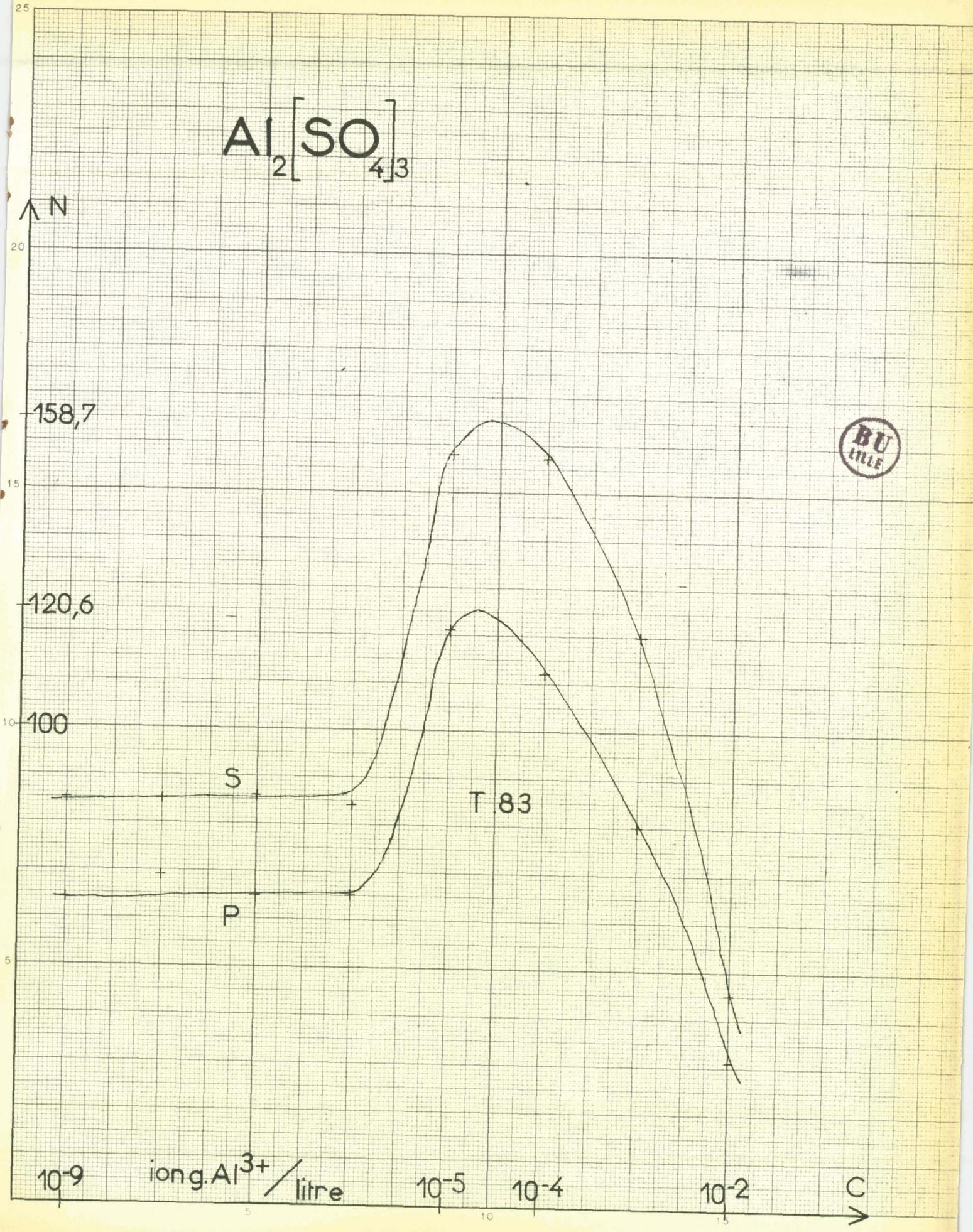
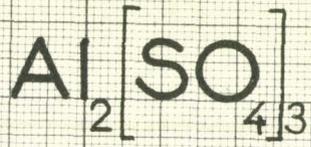
Cette action a été également envisagée sous les deux formes chlorure et sulfate. Nous avons fait varier les concentrations de 10^{-9} à 10^{-2} ion gramme Al^{3+} par litre.

Pour $AlCl_3$ à la concentration de 10^{-2} ion gramme d' Al^{3+} par litre, nous avons dû abaisser la concentration en chlorure de potassium dans le milieu, pour garder au rapport chlorure-sulfate une valeur proche de l'optimum.

Al₂ (SO₄)₃ : RESULTATS DES COMPTAGES



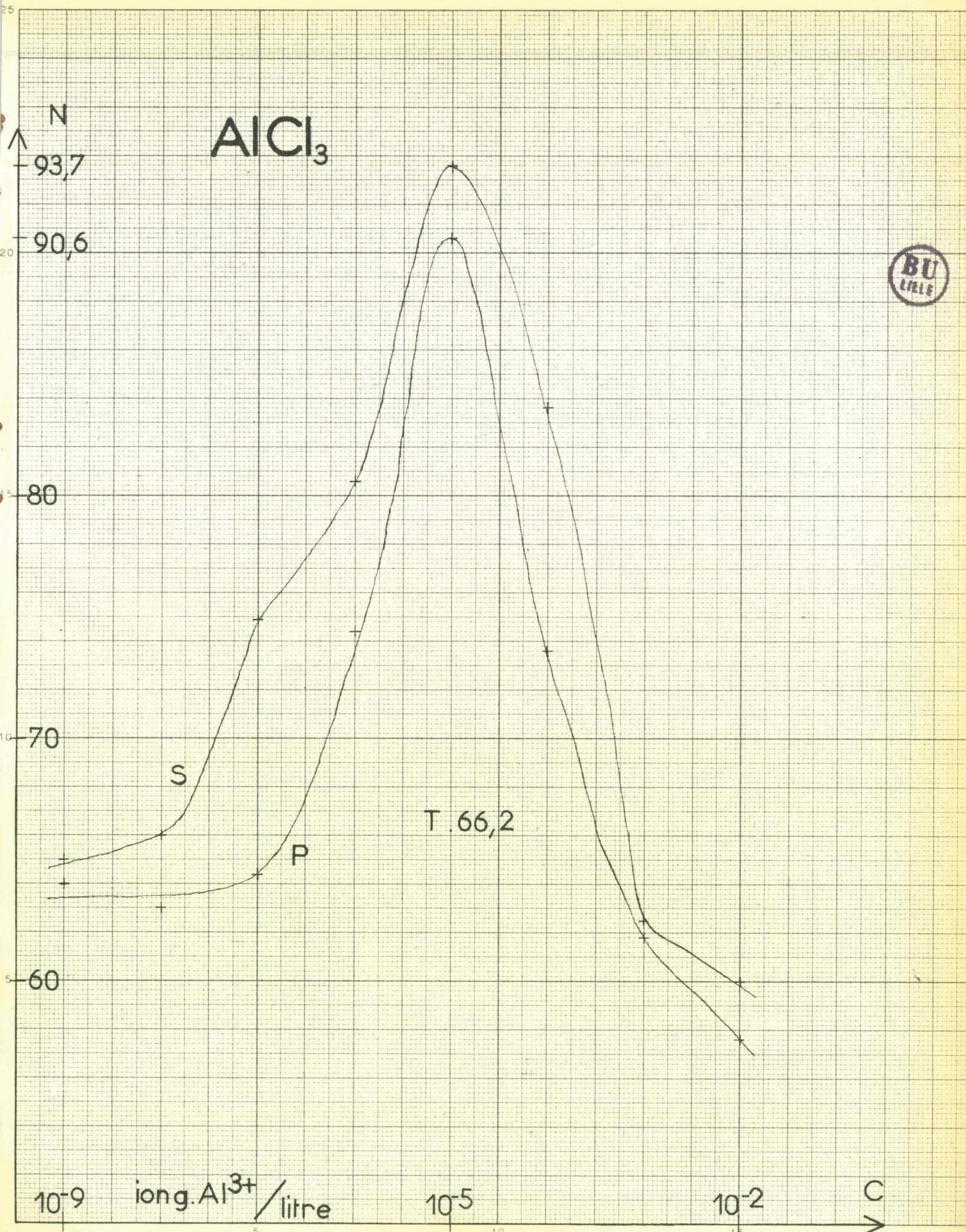
| CONCENTRATION en Al ³⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | |
|---|---|----------------|------------|--|----------------------|
| | | | | D | MOYEN |
| 10 ⁻⁹ | 5.8.13.9.4.7.4.9. 10.10.7.9.7.13.9.12. | $\frac{1}{10}$ | 84,3 | 8.10.5.3.5.8.7.4. 15.10.1.5.11.5.5.1. | $\frac{1}{10}$ 64,3 |
| 10 ⁻⁸ | 6.11.5.7.5.9.8.8. 7.10.10.11.10.8.9.13. | $\frac{1}{10}$ | 85,6 | 7.6.6.9.6.3.7.9. 10.7.7.4.6.6.7.10. | $\frac{1}{10}$ 68,7 |
| 10 ⁻⁷ | 2.4.9.9.12.3.11.11. 13.4.8.13.8.8.12.11. | $\frac{1}{10}$ | 86,2 | 6.7.8.10.7.0.5.6. 2.6.4.8.10.11.6.6. | $\frac{1}{10}$ 63,7 |
| 10 ⁻⁶ | 8.10.11.9.7.4.7.11. 7.6.10.5.12.12.6.10. | $\frac{1}{10}$ | 84,3 | 8.6.3.10.6.7.6.3. 9.6.5.6.7.7.7.6. | $\frac{1}{10}$ 63,7 |
| 10 ⁻⁵ | 13.25.16.11.10.14.15.16 8.24.25.12.25.9.12.19. | $\frac{1}{10}$ | 158,7 | 9.8.12.9.8.9.17.9. 25.14.15.8.5.17.21.17 | $\frac{1}{10}$ 120,6 |
| 10 ⁻⁴ | 12.18.29.25.20.5.7.15. 16.15.11.15.26.19.7.12. | $\frac{1}{10}$ | 157,5 | 12.12.9.11.13.15.10.11 4.9.8.12.10.23.7.13. | $\frac{1}{10}$ 111,9 |
| 10 ⁻³ | 12.16.5.9.12.9.13.15. 12.8.13.11.19.15.8.15. | $\frac{1}{10}$ | 120 | 9.3.7.7.6.12.5.5. 8.8.7.12.10.13.5.11. | $\frac{1}{10}$ 80 |
| 10 ⁻² | 10.4.5.6.4.2.6.10. 2.2.1.3.8.5.1.3. | $\frac{1}{10}$ | 45 | 7.2.7.3.1.7.0.9. 0.0.4.3.0.0.5.3. | $\frac{1}{10}$ 31,9 |
| témoin | 16.6.8.10.3.12.8.13. 7.5.7.5.7.5.12.11. | $\frac{1}{10}$ | 83 | 6.9.15.13.10.3.4.8. 8.8.6.8.13.10.4.6. | $\frac{1}{10}$ 78,7 |



Al C13 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION en Al ³⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|---------|------------|---|---------|------------|
| 10 ⁻⁹ | 12.5.14.7.4.7.7.6. 10.3.5.7.4.3.4.16. | I I0 | 65 | 6.14.14.5.5.4.3.4. 4.5.5.15.6.4.4.5. | I I0 | 64 |
| 10 ⁻⁸ | 4.4.3.8.7.6.8.7. 7.11.8.6.7.6.7.7. | I I0 | 66 | 8.6.5.15.5.4.5.6. 3.7.4.5.9.7.5.7. | I I0 | 63,1 |
| 10 ⁻⁷ | 8.4.7.9.7.7.7.8. 10.11.7.6.10.11.7.5. | I I0 | 75 | 15.5.4.5.13.5.5.4. 14.6.6.16.6.7. | I I0 | 64,4 |
| 10 ⁻⁶ | 6.12.8.11.4.6.8.9. 4.7.11.16.7.8.6.6. | I I0 | 80,6 | 5.9.18.7.10.9.10.5. 4.5.6.7.5.7.7.5. | I I0 | 74,3 |
| 10 ⁻⁵ | 11.10.12.9.6.11.9.7. 8.7.9.10.8.11.12.10. | I I0 | 93,7 | 13.17.10.10.9.4.5.7. 11.11.5.6.16.8.7.6. | I I0 | 90,6 |
| 10 ⁻⁴ | 5.4.6.8.6.15.7.20. 5.5.10.7.8.10.9.9. | I I0 | 83,7 | 14.5.8.15.12.3.7.15. 4.5.4.4.7.5.3.7. | I I0 | 73,7 |
| 10 ⁻³ | 6.12.5.9.6.4.3.4. 6.6.5.8.5.7.7.6. | I I0 | 62,5 | 8.5.9.5.5.4.6.7. 8.5.5.6.7.7.4.8. | I I0 | 61,8 |
| 10 ⁻² | 3.7.4.4.6.5.8.11. 13.2.3.8.5.7.3.6. | I I0 | 60 | 4.11.7.10.6.4.6.5. 3.7.4.5.5.5.4.6. | I I0 | 57,5 |
| témoin | 7.3.8.7.5.8.0.7. 8.8.13.5.6.4.10.7. | I I0 | 66,2 | 5.6.9.6.5.7.7.5. 6.6.3.5.4.5.8.7. | I I0 | 58,1 |



INTERPRETATION DES RESULTATS.-

SULFATE.-

Pour des concentrations inférieures à 10^{-6} ion gramme Al^{3+} par litre, le nombre de bactéries par unité de cellule THOMA est sensiblement le même que dans le tube témoin : l'élément est donc inactif.

De 10^{-6} à 10^{-3} le sulfate d'aluminium favorise le développement de *Perabacterium spelei*.

Pour des concentrations supérieures à 10^{-3} , il apparaît nettement inhibiteur.

Le développement optimum s'obtient pour une concentration un peu supérieure à 10^{-5} ion gramme Al^{3+} par litre.

CHLORURE.-

Les domaines d'activité et l'optimum sont identiques pour le chlorure et pour le sulfate comme en témoignent les deux courbes; mais nous devons faire des réserves sur la courbe du chlorure. Le chlorure paraît beaucoup moins actif que le sulfate: le nombre de bactéries par unité de cellule THOMA n'augmente que de 50 % au lieu de 100 % pour le sulfate, pour la concentration optimum, c'est ce qui nous a contraint à adopter une grande échelle pour le nombre de bactéries.

Le fait que chlorure soit beaucoup plus hydrolysé que le sulfate en solution explique peut être sa moindre activité: nous rejoignons ici ce qui a déjà été dit pour le fer.

V - ACTION DU CUIVRE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

Cette étude a porté sur l'action du sulfate de cuivre pris à des concentrations variant de 3.10^{-11} à 3.10^{-2} ion gramme par litre.

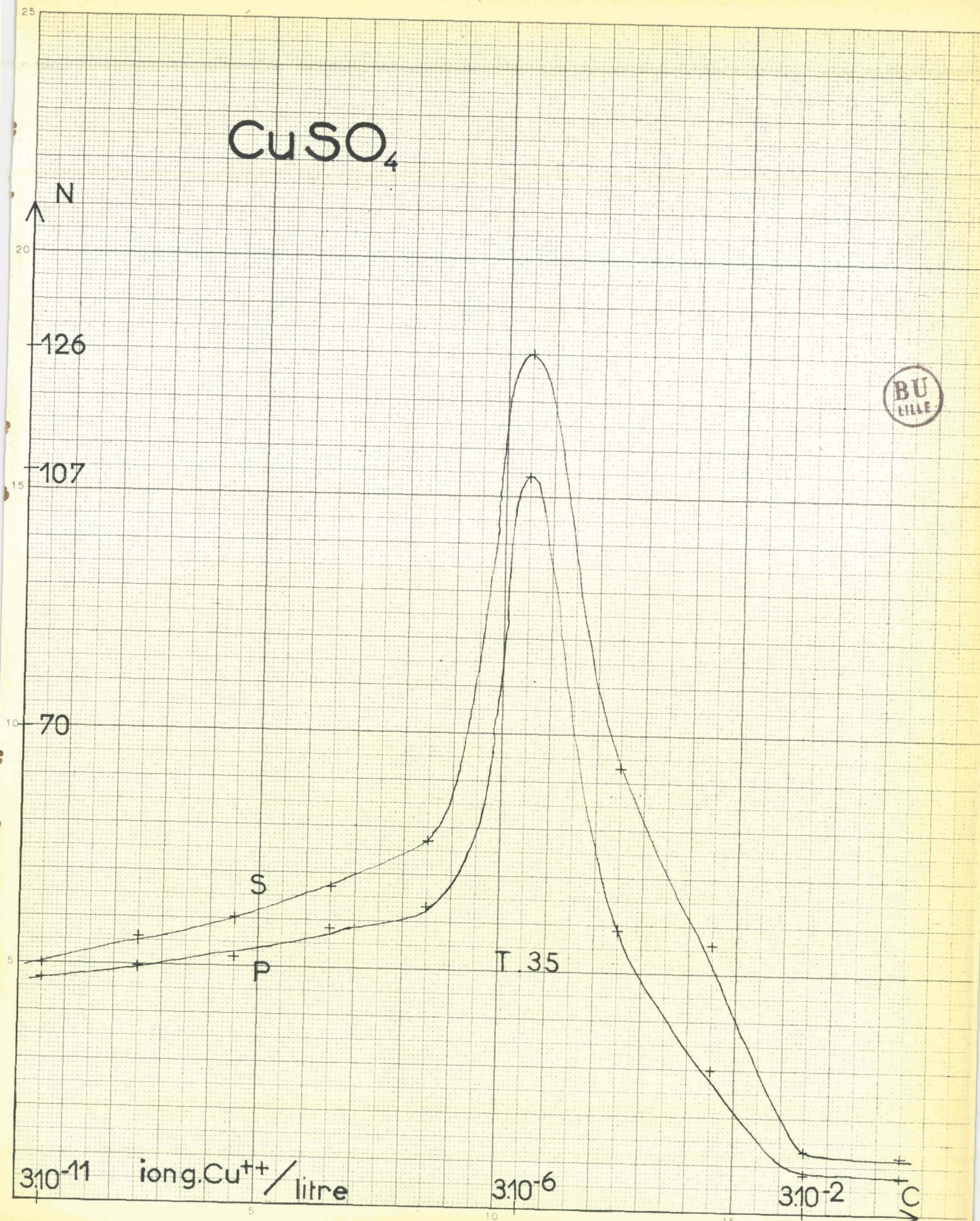
La présence du sulfate de cuivre n'a pas modifié sensiblement le rapport chlorure/sulfate et par conséquent nous avons conservé le milieu type.

Cu SO4 : RESULTATS DES COMPTAGES

BU
1111

| CONCENTRATION EN Cu ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|----------------|------------|---|----------------|------------|
| 3.10 ⁻¹¹ | 6.6.14.15.6.3.3.9. 6.4.5.5.4.6.15.6. | $\frac{1}{5}$ | 35 | 3.2.5.13.5.9.10.4. 8.13.3.8.6.5.8.3. | $\frac{1}{5}$ | 32,9 |
| 3.10 ⁻¹⁰ | 3.13.6.9.11.6.12.13 11.10.13.4.4.3.10.10. | $\frac{1}{5}$ | 39,2 | 6.9.3.15.3.6.6.11. 7.12.12.0.9.0.6.8. | $\frac{1}{5}$ | 35 |
| 3.10 ⁻⁹ | 7.7.5.5.12.6.3.16. 8.8.7.4.21.8.10.11 | $\frac{1}{5}$ | 42 | 11.6.6.9.9.6.6.5. 9.18.6.7.4.5.6.14. | $\frac{1}{5}$ | 36,4 |
| 3.10 ⁻⁸ | 0.8.9.19.10.9.13.9. 13.4.5.14.10.11.10.10. | $\frac{1}{5}$ | 48 | 17.4.13.4.4.3.13.12 3.12.6.15.4.6.10.6. | $\frac{1}{5}$ | 39,6 |
| 3.10 ⁻⁷ | 11.5.13.15.11.10.9.10. 8.9.14.9.6.16.14.15. | $\frac{1}{5}$ | 54,5 | 11.8.7.11.13.4.6.12. 10.7.11.7.9.11.9.6. | $\frac{1}{5}$ | 44 |
| 3.10 ⁻⁶ | 20.10.5.3.6.7.10.3. 21.25.11.24.16.11.16.5. | $\frac{1}{10}$ | 126 | 1.8.7.8.1.8.15.18. 12.19.10.17.11.12.10.15 | $\frac{1}{10}$ | 107 |
| 3.10 ⁻⁵ | 8.7.5.13.5.9.3.5. 2.10.13.3.3.4.8.6. | $\frac{1}{10}$ | 65,1 | 19.4.4.8.9.8.8.12. 8.7.10.11.5.5.8.8. | $\frac{1}{10}$ | 41,3 |
| 3.10 ⁻⁴ | 4.4.3.3.6.5.5.2. 3.4.3.5.2.5.3.7. | $\frac{1}{10}$ | 40 | 6.4.0.2.3.0.0.3. 8.2.0.0.0.2.3.3. | $\frac{1}{10}$ | 21 |
| 3.10 ⁻³ | 4.15.9.3.6.9.6. 5.11.5.14.4.8.5.5. | | 7,2 | 0.4.4.3.4.7.8.4. 5.6.6.7.7.7.4.7. | | 5,1 |
| 3.10 ⁻² | 5.21.9.5.6.10.3.5. 4.3.5.10.7.4.8.12. | | 7,3 | 3.6.6.3.1.2.4.4. 6.8.3.2.9.9.8.5. | | 4,9 |
| Tube témoin | 3.9.14.15.3.6.3.9. 10.0.10.0.10.0.11.10 | $\frac{1}{5}$ | 35 | 10.12.0.0.8.7.6.5. 4.3.5.0.6.5.5.0. | $\frac{1}{5}$ | 33 |

CuSO_4



INTERPRETATION DES RESULTATS.

Comme le nickel et l'aluminium, le cuivre est pratiquement sans action aux concentrations inférieures à $3 \cdot 10^{-7}$ ion gramme Cu^{++} par litre.

Il devient inhibiteur dès la concentration de $3 \cdot 10^{-5}$.

Son action inhibitrice est très énergique puisque à la concentration de $3 \cdot 10^{-3}$, on ne trouve plus que 7 bactéries par unité de cellule THOMA contre 35 dans le milieu témoin et 126 pour la concentration optimum (peuplement en surface).

Ces chiffres sont traduits par un optimum très aigu qui correspond à la concentration de 10^{-6} ion gramme Cu^{++} par litre.

VI - ACTION DU ZINC

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

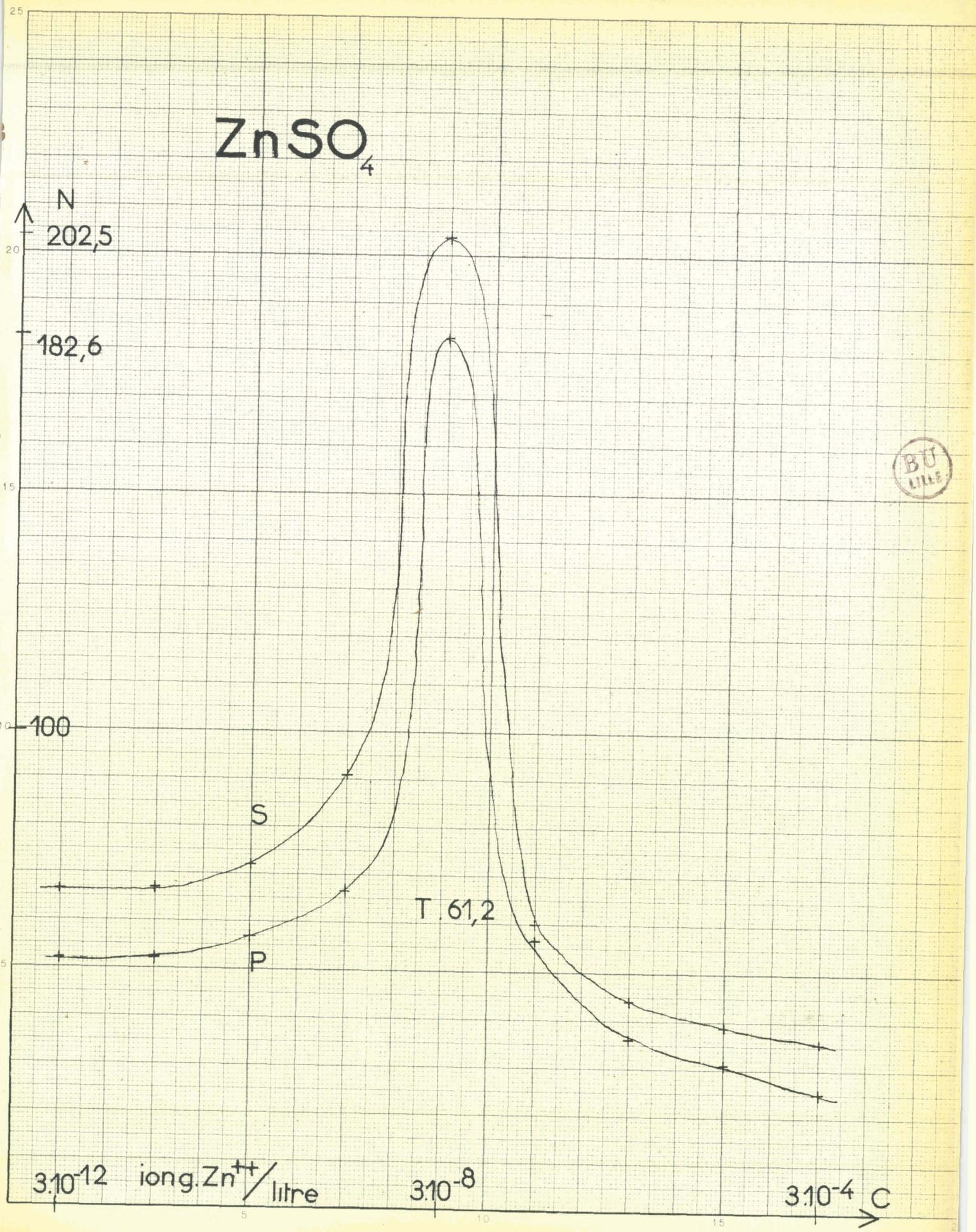
Le sulfate de zinc a été utilisé pour cette étude à des concentrations variant de 3.10^{-12} à 3.10^{-4} ion gramme Zn^{++} par litre.

L'introduction du sulfate de zinc n'a apporté aucune modification sensible au rapport chlorure/sulfate.

Zn SO4 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Zn ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES E? SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|---|----------------|------------|---|----------------|------------|
| 3.10 ⁻¹² | 12.3.9.7.5.9.7.6. 8.4.5.5.7.6.3.11. | $\frac{1}{10}$ | 66,8 | 4.4.5.14.5.5.11.6. 6.5.4.6.7.6.5.4. | $\frac{1}{10}$ | 61,6 |
| 3.10 ⁻¹¹ | 6.8.7.3.5.7.10.7. 7.6.6.5.4.6.9.11. | $\frac{1}{10}$ | 66,8 | 3.6.5.10.3.6.7.7. 10.4.7.6.9.6.0.8. | $\frac{1}{10}$ | 62,5 |
| 3.10 ⁻¹⁰ | 5.12.8.6.7.13.5.7. 6.7.12.9.9.6.5.2. | $\frac{1}{10}$ | 72 | 1.9.6.5.8.4.6.2. 5.4.10.4.16.4.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 56,5 |
| 3.10 ⁻⁹ | 13.14.5.11.7.9.11.8. 5.11.13.7.7.11.8.8. | $\frac{1}{10}$ | 90 | 4.6.7.9.7.6.6.7. 9.5.7.5.7.9.9.6. | $\frac{1}{10}$ | 66,5 |
| 3.10 ⁻⁸ | 13.9.10.24.26.31.26.18 20.18.20.22.25.21.22.24 | $\frac{1}{10}$ | 202,5 | 21.17.17.22.22.20.14.14 8.16.19.13.18.28.19.29 | $\frac{1}{10}$ | 182,6 |
| 3.10 ⁻⁷ | 7.4.7.7.16.2.4.12. 16.9.9.6.14.7.10.6. | $\frac{1}{7}$ | 59,5 | 16.9.4.10.11.4.2.11. 6.11.7.13.10.9.9.2. | $\frac{1}{7}$ | 58,1 |
| 3.10 ⁻⁶ | 1.9.16.8.11.6.9.18. 4.5.10.9.9.11.8.8. | $\frac{1}{5}$ | 44 | 1.1.5.6.12.8.17.8. 9.10.9.6.7.4.13.2. | $\frac{1}{5}$ | 36,5 |
| 3.10 ⁻⁵ | 5.12.10.19.7.5.6.3. 4.8.10.4.5.7.8.13. | $\frac{1}{5}$ | 39 | 6.6.11.6.10.3.4.2. 5.2.8.10.4.5.7.7. | $\frac{1}{5}$ | 31 |
| 3.10 ⁻⁴ | 3.5.4.4.18.4.6.15. 10.6.8.8.15.8.7.5. | $\frac{1}{5}$ | 39,3 | 8.5.7.7.3.6.6.0. 4.9.0.8.12.9.0.13. | $\frac{1}{5}$ | 30,3 |
| tube témoin | 6.6.5.7.4.6.7.8. 3.7.5.11.6.3.7.7. | $\frac{1}{10}$ | 61,2 | 8.6.5.6.5.8.6.12. 2.2.5.8.2.4.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 51,8 |



INTERPRETATION DES RESULTATS.

Inactif aux faibles concentrations, inhibiteur aux concentrations élevées, le zinc présente des seuils d'activité très rapprochés : seuil inférieur $3 \cdot 10^{-9}$; seuil supérieur : $3 \cdot 10^{-7}$ ion gramme Zn^{++} par litre.

Sa présence à la concentration optimum de $3 \cdot 10^{-8}$ ion gramme Zn^{++} par litre est extrêmement favorable au développement du *Perabacterium spelei*: le nombre de bactéries par unité de cellule THOMA se trouve multiplié par 3 par rapport au milieu témoin dépourvu de zinc.

VII - ACTION DU LITHIUM

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI

C'est le chlorure de lithium que nous avons utilisé à des concentrations variant de 10^{-II} à 10^{-I} par litre.

Le rapport chlorure / sulfate s'élève de 0,13 à 0,15 lorsque la concentration en Li Cl passe de 10^{-II} à 10^{-2} , ion g / litre, mais pour la concentration de 10^{-I} , il atteint 0,41.

Même en supprimant tous les chlorures du milieu type, il est impossible de donner au rapport chlorure/sulfate une valeur voisine de l'optimum 0,13.

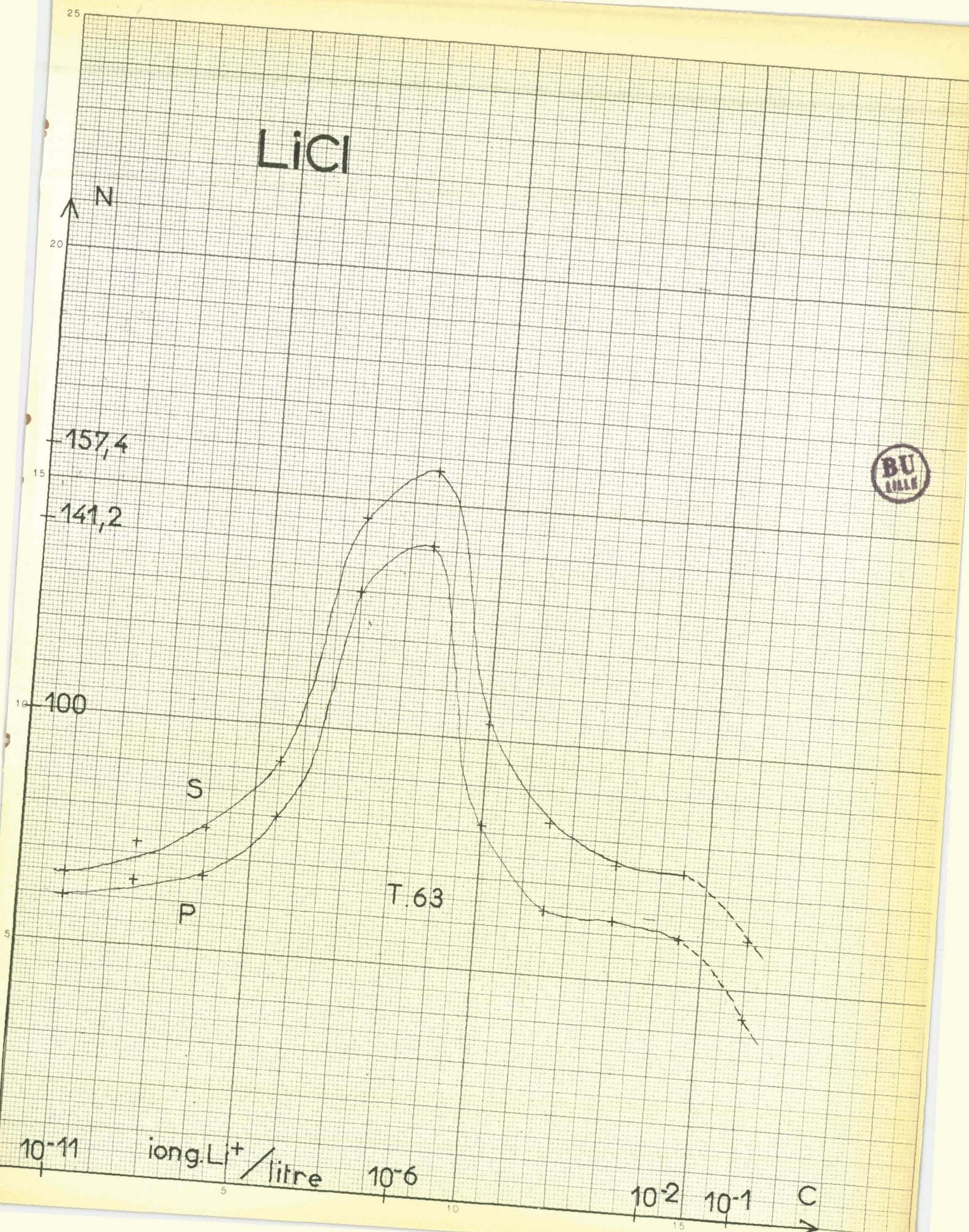
Par suite, le résultat correspondant à cette concentration de 10^{-I} en Li Cl doit être interprété avec prudence.

Li CI : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Li ⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES en SURFACE | | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | | N MOYEN |
|--|---|----------------|------------|---|----------------|------------|
| | D | | | D | | |
| 10 ⁻¹¹ | 5.9.14.7.6.5.6.3. 6.5.10.8.4.6.7.4. | $\frac{1}{10}$ | 65,6 | 4.6.4.13.7.6.7.6. 6.5.8.5.5.4.5.6. | $\frac{1}{10}$ | 60 |
| 10 ⁻¹⁰ | 6.8.9.4.10.9.9.8. 9.7.7.3.11.5.6.7. | $\frac{1}{10}$ | 73,6 | 4.6.8.5.13.7.4.5. 10.4.6.7.6.6.7.4. | $\frac{1}{10}$ | 63,7 |
| 10 ⁻⁹ | 8.3.8.8.9.7.7.5. 9.5.11.8.9.10.6.9. | $\frac{1}{10}$ | 76,2 | 8.4.6.8.8.7.10. 4.6.4.7.5.13.3.5. | $\frac{1}{10}$ | 66,2 |
| 10 ⁻⁸ | 6.10.10.4.4.18.16.6.4. 10.24.6.4.16.8.2.4. | $\frac{1}{10}$ | 92,4 | 10.2.8.12.8.4.14.6. 14.6.8.14.2.4.12.6. | $\frac{1}{10}$ | 80 |
| 10 ⁻⁷ | 8.22.14.6.16.18.16.6. 16.14.14.6.20.14.24.20. | $\frac{1}{10}$ | 146,2 | 17.7.11.7.19.8.4.16. 12.16.15.15.19.18.16.8 | $\frac{1}{10}$ | 130 |
| 10 ⁻⁶ | 14.18.12.16.22.10.10.14. 18.10.24.22.18.18.18.8. | $\frac{1}{10}$ | 157,4 | 12.8.10.16.15.18.16.18 10.26.12.10.12.16.20.10 | $\frac{1}{10}$ | 141,2 |
| 10 ⁻⁵ | 6.18.6.8.24.10.8.6. 16.8.22.8.16.8.6.18. | $\frac{1}{10}$ | 103 | 12.8.8.6.8.2.2.6. 12.14.6.6.10.8.8.14. | $\frac{1}{10}$ | 81,2 |
| 10 ⁻⁴ | 4.10.4.8.10.14.10.6. 8.12.4.8.6.8.14.8. | $\frac{1}{10}$ | 83,8 | 6.8.4.6.6.10.4.10. | $\frac{1}{10}$ | 63,8 |
| 10 ⁻³ | 5.5.11.11.5.5.8.8. 9.6.8.7.10.9.5.8. | $\frac{1}{10}$ | 75 | 4.5.9.6.2.10.10.7. 6.10.8.9.7.3.2.3. | $\frac{1}{10}$ | 63,1 |
| 10 ⁻² | 10.8.7.7.7.10.4.11. 4.12.5.5.5.8.7.9. | $\frac{1}{10}$ | 74 | 6.6.7.6.6.3.4.7. 5.8.7.5.7.9.4.7. | $\frac{1}{10}$ | 60 |
| 10 ⁻¹ | 2.10.8.6.4.14.4.6. 6.2.6.8.8.2.8.2. | $\frac{1}{10}$ | 60 | 6.0.8.4.4.12.0.4. 2.4.8.2.4.0.4.6. | $\frac{1}{10}$ | 43,8 |
| tube témoin | 10.5.5.4.4.7.7.7. 8.6.9.2.9.5.8.5. | $\frac{1}{10}$ | 63 | 6.6.7.7.8.10.6.4. 6.6.10.4.5.4.5.6. | $\frac{1}{10}$ | 60 |

LiCl



157,4

141,2

100

S

P

T.63

10^{-11}

iong. Li^+ / litre

10^{-6}

10^{-2}

10^{-1}

C

INTERPRETATION DES RESULTATS.-

Inactif aux très faibles concentrations comme les éléments précédents, le lithium ne parait pas devoir jouer un rôle vraiment inhibiteur aux concentrations élevées.

Le développement faible pour la concentration 10^{-1} ion gramme Li^{++} / litre est sans doute imputable à la valeur très défavorable du rapport chlorure/sulfate; pour cette raison, nous^{avons} représenté la portion de courbe correspondant aux concentrations supérieures à 10^{-2} en pointillés.

Le domaine d'action de l'ion Li^{+} se situe entre 10^{-8} et 10^{-5} avec un optimum au voisinage de 10^{-6} ion gramme Li^{+} par litre.

VIII - ACTION DU COBALT

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

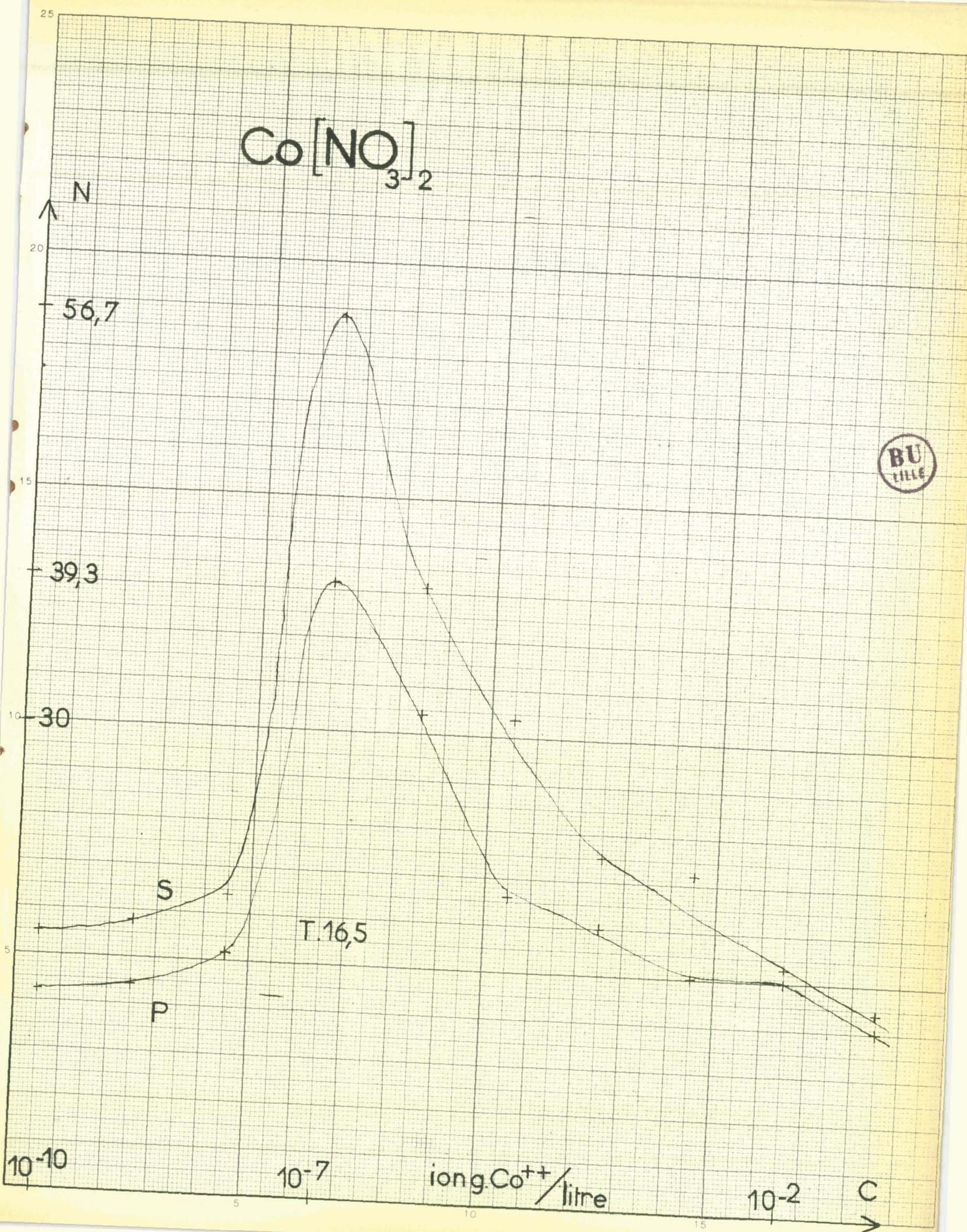
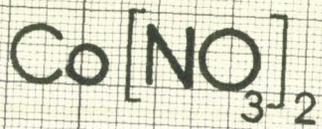
Pour cet élément et les suivants, nous n'avons pas utilisé, ni de chlorures ni de sulfates donc le rapport chlorure / sulfate ne s'est pas trouvé modifié et dans tous les cas, le milieu avait les caractéristiques types citées plus haut.

Nous avons employé le nitrate de cobalt à des concentrations variant de 10^{-10} à 10^{-1} ion gramme Co^{++} par litre.

Co (NO3) 2 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Co ⁺⁺ ion.g/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | | N MOYEN |
|---|--|---------------|------------|---|---------------|------------|
| | D | | | D | | |
| 10 ⁻¹⁰ | 5.5.4.8.4.7.4.3. 7.8.8.9.4.5.3.5. | $\frac{1}{3}$ | 16,5 | 4.4.4.3.12.2.4.5. 3.4.6.3.6.4.2.2. | $\frac{1}{3}$ | 12,6 |
| 10 ⁻⁹ | 7.6.4.4.9.7.5.9. 8.4.4.4.7.4.6.4. | $\frac{1}{3}$ | 17,25 | 5.7.4.2.4.3.2.4. 9.5.7.0.10.4.2.2. | $\frac{1}{3}$ | 13,1 |
| 10 ⁻⁸ | 11.7.8.7.5.9.10.7. 10.13.8.7.18.13.16.6. | $\frac{1}{2}$ | 19,3 | 10.8.6.3.14.5.4.8. 8.9.6.7.9.6.12.8. | $\frac{1}{2}$ | 15,3 |
| 10 ⁻⁷ | 16.12.14.12.13.9.14.13. 17.10.10.14.17.10.10.12 | $\frac{1}{3}$ | 56,7 | 12.16.11.14.14.9.18.14 18.9.12.15.9.14.13.13. | $\frac{1}{3}$ | 39,3 |
| 10 ⁻⁶ | 12.17.17.23.19.22.24.19. 25.26.10.15.24.24.19.19. | $\frac{1}{2}$ | 39,2 | 11.18.14.13.18.12.16.17 24.16.10.11.8.19.27.18 | $\frac{1}{2}$ | 31,5 |
| 10 ⁻⁵ | 10.17.13.15.10.5.16.21 15.19.22.25.11.24.25.22 | $\frac{1}{2}$ | 31,2 | 12.3.18.16.4.6.12.8. 3.14.16.8.9.15.6.9. | $\frac{1}{2}$ | 19,8 |
| 10 ⁻⁴ | 10.7.6.14.5.10.5.6. 12.3.7.7.11.5.5.6. | $\frac{1}{3}$ | 22,5 | 6.7.5.8.6.5.7.3. 4.7.8.4.8.3.6.9. | $\frac{1}{3}$ | 18 |
| 10 ⁻³ | 21.16.6.12.10.5.13.12 14.11.2.6.19.3.5.16. | $\frac{1}{2}$ | 21,8 | 10.11.10.4.6.5.6.4. 5.8.5.11.4.5.12.15. | $\frac{1}{2}$ | 15 |
| 10 ⁻² | 3.6.5.5.5.8.4.7. 7.5.1.8.7.5.2.7. | $\frac{1}{3}$ | 15,9 | 2.5.4.6.8.6.7.3. 8.6.4.3.5.3.4.7. | $\frac{1}{3}$ | 15 |
| 10 ⁻¹ | 3.2.4.12.5.1.10.9. 2.0.5.4.1.4.7.2. | $\frac{1}{3}$ | 13,2 | 6.1.2.2.10.3.6.2. 1.4.7.5.3.7.2.6. | $\frac{1}{3}$ | 12,3 |
| Tube témoin | 5.7.5.5.7.6.10.5. 8.3.4.6.3.4.5.5. | $\frac{1}{3}$ | 16,5 | 4.10.5.4.8.5.3. 7.0.5.4.7.9.6.7. | $\frac{1}{3}$ | 15,6 |



10^{-10}

10^{-7}

iong. Co^{++} / litre

10^{-2}

C

INTERPRETATION DES RESULTATS.-

Comme les éléments étudiés jusqu'ici, le cobalt semble inactif aux très faibles concentrations.

Son domaine d'activité se situe entre 10^{-8} et 10^{-5} avec un optimum pour 10^{-7} ion gramme Co^{++} par litre.

Il semble modérément inhibiteur aux concentrations supérieures à 10^{-5} , mais nettement inhibiteur vers 10^{-3} , il faut également faire intervenir ici l'ion NO_3^- .

Les ordonnées des maximums des courbes en surface et en profondeur sont très différentes l'une de l'autre : fait que nous n'avons pas observé jusqu' alors et dont l'interprétation paraît liée à la toxicité des nitrates qui varie dans de notables proportions suivant l'oxygénation du milieu.

IX - ACTION DU TITANE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

Nous avons utilisé l'oxyde de titane dans un
domaine de concentrations allant de 10^{-12} à 10^{-1} mole/litre.

Ti 02 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION en Ti^{4+} ion g / l' | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|----------------|------------|---|----------------|------------|
| 10^{-12} | 6.2.8.1.6.3.6.2. 7.5.9.8.7.8.6.5. | $\frac{I}{10}$ | 52,5 | 3.4.2.3.8.8.7.4. 4.5.7.6.2.3.10.3. | $\frac{I}{10}$ | 49,1 |
| 10^{-11} | 5.5.8.5.4.5.6.6. 1.7.8.10.5.3.3.5. | $\frac{I}{10}$ | 53,7 | 8.5.6.4.7.5.12.4. 4.4.4.5.3.4.3.4. | $\frac{I}{10}$ | 51,2 |
| 10^{-10} | 3.4.10.4.12.4.5.6. 13.4.3.7.3.4.1.8. | $\frac{I}{10}$ | 56,8 | 4.5.6.4.3.7.6.6. 3.5.4.3.11.10.4.2. | $\frac{I}{10}$ | 51,8 |
| 10^{-9} | 5.4.4.12.12.5.3.3. 7.4.9.11.11.4.5.7. | $\frac{I}{10}$ | 60 | 2.8.5.7.5.6.4.3. 9.8.7.3.2.8.8.5. | $\frac{I}{10}$ | 56,2 |
| 10^{-8} | 5.14.6.15.15.14.8.6. 7.14.15.7.19.18.11.15. | $\frac{I}{10}$ | 118,1 | 13.6.8.12.7.14.16.15. 12.11.9.6.9.14.5.13. | $\frac{I}{10}$ | 106,8 |
| 10^{-7} | 8.11.10.10.10.29.15.6. 12.9.6.7.14.4.10.14. | $\frac{I}{10}$ | 109,3 | 5.7.9.8.10.7.12. 12.7.12.6.11.18.11.10. | $\frac{I}{10}$ | 95,6 |
| 10^{-6} | 9.5.10.14.15.5.11.5. 9.1.10.8.12.11.7.6. | $\frac{I}{10}$ | 86,2 | 6.5.16.8.6.6.8.15. 3.6.13.6.8.8.4.9. | $\frac{I}{10}$ | 77 |
| 10^{-5} | 7.6.13.3.2.7.17.9. 4.5.12.5.11.14.8.4. | $\frac{I}{10}$ | 79,3 | 4.4.8.15.7.4.12.8. 6.4.9.12.5.6.3.8. | $\frac{I}{10}$ | 71,8 |
| 10^{-4} | 6.11.13.11.9.3.4.6. 7.4.11.4.7.4.11.5. | $\frac{I}{10}$ | 72,5 | 3.8.6.10.3.5.9.8. 10.9.4.4.5.7.8.10. | $\frac{I}{10}$ | 68,7 |
| 10^{-3} | 7.4.11.4.7.6.6.5. 10.11.9.5.3.6.6.5. | $\frac{I}{10}$ | 65 | 6.4.5.3.3.6.2.4. 3.5.5.7.4.6.5.13. | $\frac{I}{10}$ | 52,1 |
| 10^{-2} | 3.5.6.5.1.5.9.5. 8.7.3.10.4.8.6.4. | $\frac{I}{10}$ | 55,6 | 3.8.5.8.1.3.3.3. 6.7.6.8.7.2.6.2. | $\frac{I}{10}$ | 48,7 |
| 10^{-1} | 3.4.1.4.6.8.6.5. 3.6.3.10.1.4.7.6. | $\frac{I}{10}$ | 49 | 5.7.6.2.2.4.5.8. 4.4.4.4.5.5.9.5. | $\frac{I}{10}$ | 44,1 |
| Tube témoin | 6.3.6.6.7.4.6.5. 7.3.4.5.3.8.6.6. | $\frac{I}{10}$ | 52,5 | 5.5.5.1.7.8.5.7. 4.4.5.4.7.6.6.3. | $\frac{I}{10}$ | 51,4 |



N

118,1

106,8

70

S

P

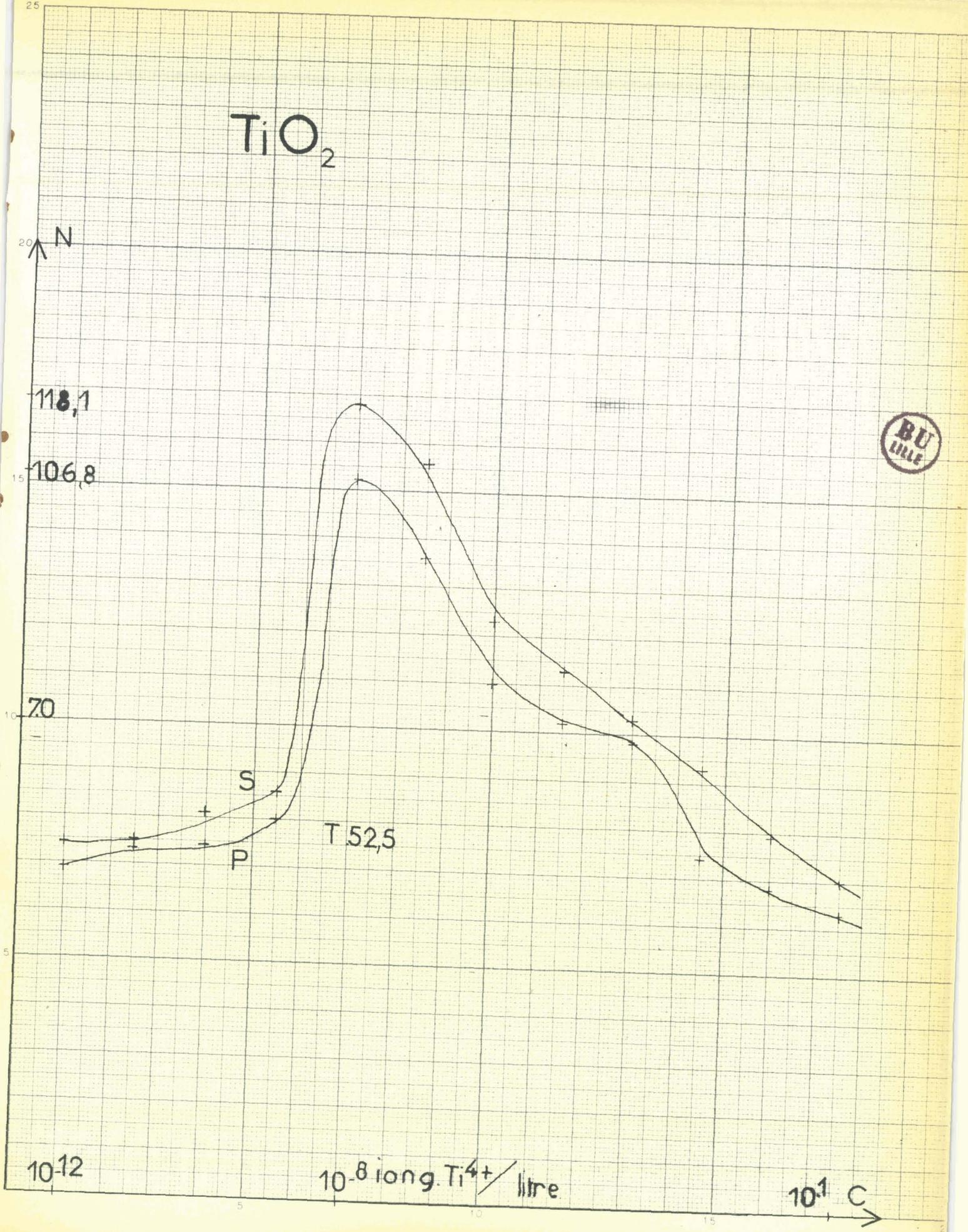
T 52,5



10^{-12}

10^{-8} iong. Ti^{4+} / litre

10^1 C



INTERPRETATION DES RESULTATS.-

— l'action du titane sur le développement de *Perabacterium spelei* est notable à des concentrations de 10^{-7} à 10^{-3} ion gramme par litre.

L'optimum est atteint pour une concentration de 10^{-8} ion gramme Ti^{4+} par litre.

Ce corps n'agit pas aux très faibles concentrations, il atteint rapidement son optimum d'action puis devient lentement inhibiteur lorsque la concentration augmente : la bactérie semble pouvoir en supporter des concentrations élevées.

X - ACTION DU BORE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERBACTERIUM SPELEI.

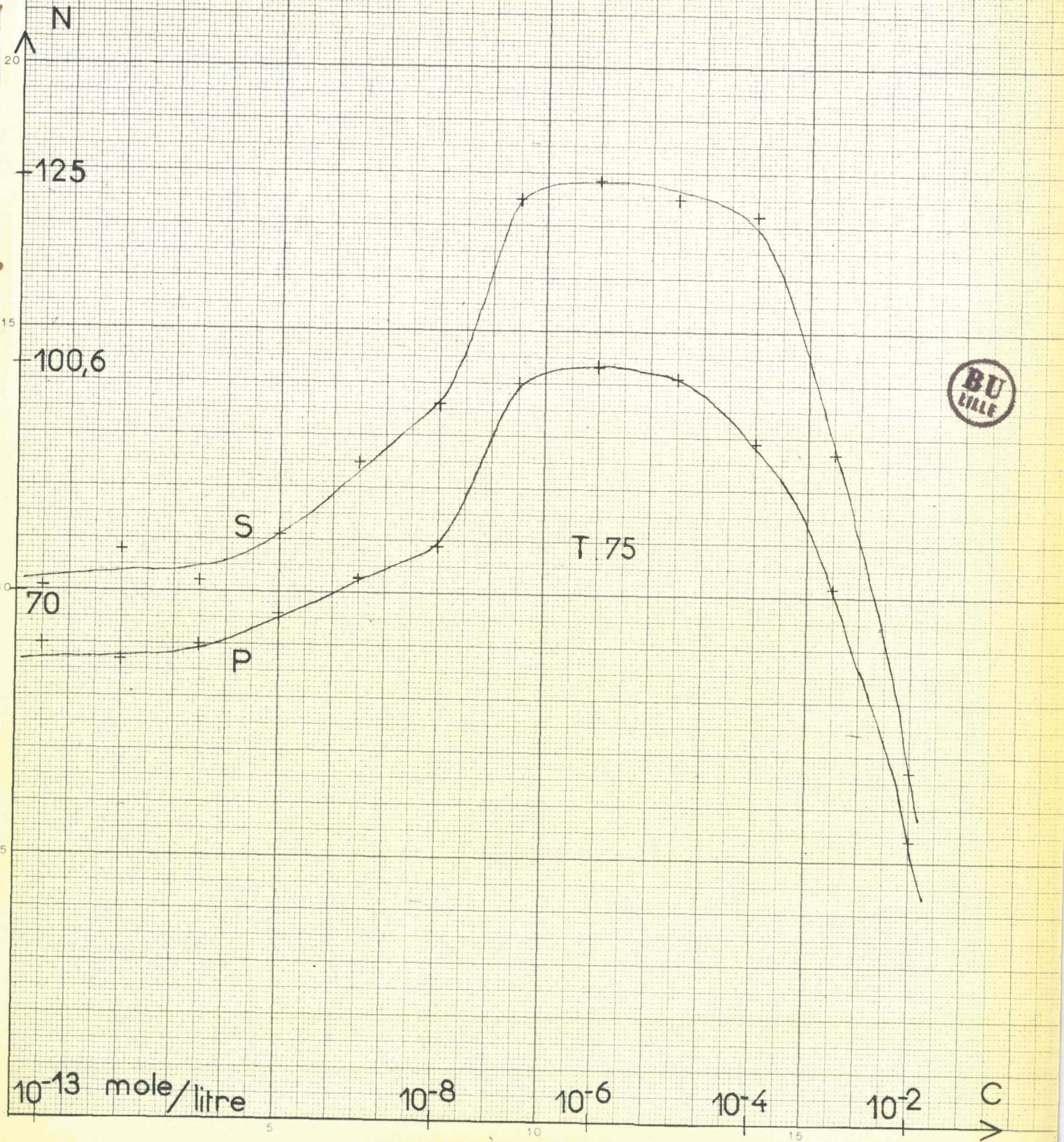
Nous avons étudié le bore sous forme de borate de potassium après des essais sans résultats avec l'acide borique lui-même qui modifie trop sensiblement le PH du milieu.

Nous avons fait varier les concentrations de 10^{-13} à 10^{-2} ion gramme BO_3^{3-} par litre.

-.K3 B03 : RESULTATS DES COMPTAGES.-



| CONCENTRATION en B03 ³⁻ long / I | NOMBRE DE BACTERIES en surface | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|---|--|----------------|------------|--|----------------|------------|
| 10 ⁻¹³ | 5.6.12.7.5.4.7.5. 12.7.7.4.9.8.8.8. | | 71,2 | 5.3.7.8.5.8.8.6. 4.13.7.4.4.8.6.5. | $\frac{1}{10}$ | 63,1 |
| 10 ⁻¹² | 11.6.6.15.10.4.5.7. 7.8.7.8.10.5.6.6. | | 75,6 | 10.7.6.5.5.7.4.4. 5.6.6.13.6.7.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 61,2 |
| 10 ⁻¹¹ | 11.5.9.7.10.6.4.6. 9.10.5.7.5.8.6.7. | | 71,8 | 9.11.7.6.12.3.6.5. 5.4.7.8.0.0.8.10. | $\frac{1}{10}$ | 63,1 |
| 10 ⁻¹⁰ | 7.6.4.10.5.5.5.11. 6.9.5.17.7.13.5.10. | $\frac{1}{10}$ | 78,1 | 10.9.10.4.8.9.5.7. 6.9.5.4.8.6.5.3. | $\frac{1}{10}$ | 67,5 |
| 10 ⁻⁹ | 7.6.7.12.7.10.3.4. 10.10.9.13.10.10.11.8. | $\frac{1}{10}$ | 87,5 | 9.3.14.7.4.7.13.6. 6.9.4.14.3.4.9.5. | $\frac{1}{10}$ | 72,5 |
| 10 ⁻⁸ | 3.7.18.15.4.10.10.13. 7.9.3.11.12.6.14.11. | $\frac{1}{10}$ | 95,6 | 7.4.8.7.3.7.7.10. 8.10.12.6.7.8.7.12. | $\frac{1}{10}$ | 76,8 |
| 10 ⁻⁷ | 19.12.11.14.5.12.10.12 8.7.13.11.16.13.12.22 | $\frac{1}{10}$ | 123 | 9.8.15.7.9.3.10.11. 7.10.11.11.12.8.15.11. | $\frac{1}{10}$ | 98,1 |
| 10 ⁻⁶ | 15.11.7.20.4.21.10.17. 8.13.8.8.13.11.17.18. | $\frac{1}{10}$ | 125 | 11.8.14.15.15.8.9.13. 14.8.7.7.10.5.9.8. | $\frac{1}{10}$ | 100,6 |
| 10 ⁻⁵ | 14.18.8.12.9.11.9.14. 8.15.12.21.10.14.9.13. | $\frac{1}{10}$ | 123,1 | 6.10.10.10.8.16.5.9. 12.11.8.11.15.11.5.11. | $\frac{1}{10}$ | 98,7 |
| 10 ⁻⁴ | 12.12.10.22.16.6.8.14. 12.13.8.12.11.15.8.14. | $\frac{1}{10}$ | 120,6 | 13.6.7.9.10.9.9.10. 5.5.18.9.9.12.11.13. | $\frac{1}{10}$ | 90,3 |
| 10 ⁻³ | 8.7.7.7.8.7.8.12. 8.6.6.11.9.13.11.15. | $\frac{1}{10}$ | 89,3 | 5.6.4.5.11.7.4.13. 7.8.6.9.8.7.7.7. | $\frac{1}{10}$ | 71,2 |
| 10 ⁻² | 6.6.3.3.8.5.4.5. 9.5.3.1.7.7.2.2. | $\frac{1}{10}$ | 47,5 | 3.4.2.4.5.4.4.6. 4.3.4.3.4.3.4.4. | $\frac{1}{10}$ | 38,1 |
| tube témoin | 10.5.6.7.10.5.12.7. 9.5.10.8.6.7.5.8. | $\frac{1}{10}$ | 75 | 4.11.3.4.6.10.3.8. 7.5.5.6.5.5.6.5. | $\frac{1}{10}$ | 58,1 |



INTERPRETATION DE RESULTATS ;

La courbe représentative du développement de *Perabacterium spelei* en fonction de la concentration en ion g BO_3^{3-} est assez particulière.

Le maximum est très aplati : c'est à dire qu'il n'y a pas à proprement parler une concentration optimum mais un domaine optimum allant de 10^{-7} à 10^{-4} ion gramme BO_3^{3-} par litre.

Dés que la concentration dépasse 10^{-3} , apparaît une inhibition très nette qui est encore due vraisemblablement aux propriétés antiseptiques de ce corps.

XI - ACTION DU MOLYBDENE

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

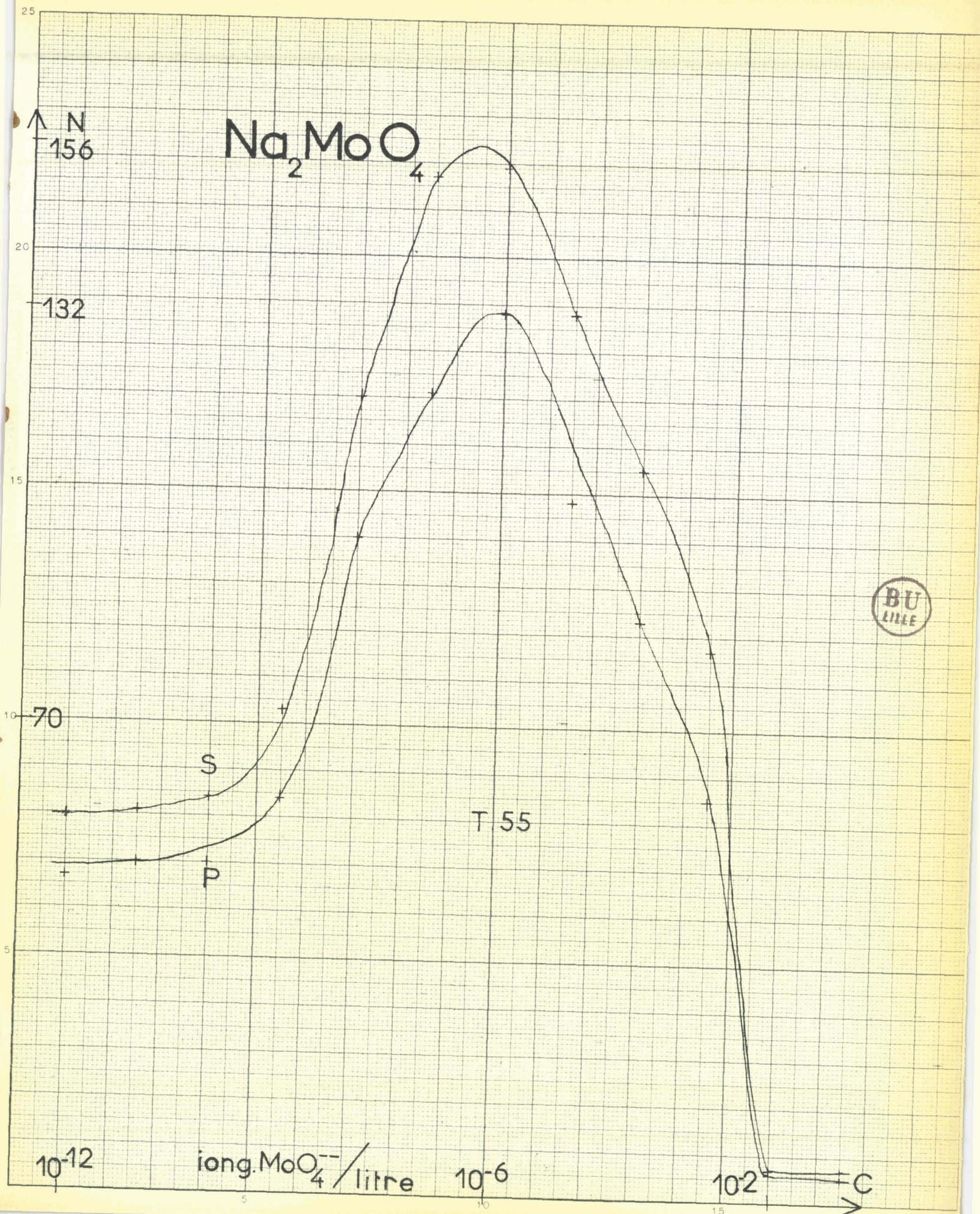
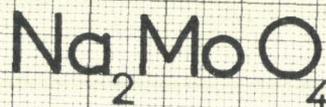
C'est sous forme de molybdate de sodium que nous avons étudié l'action du molybdène.

Nous avons choisi des concentrations variant de 10^{-II} à 10^{-I} ion gramme Mo 04^{-} par litre.

Na2 Mo 04 : RESULTATS DES COMPTAGES



| CONCENTRATION EN Mo 04 ⁻⁻⁻ iong/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|--|---|----------------|------------|--|----------------|------------|
| 10 ⁻¹² | 4.4.8.13.5.3.5.4. 3.9.4.5.6.3.9.5. | $\frac{1}{10}$ | 56 | 4.9.5.7.5.7.4.3. 8.3.3.2.7.6.2.0. | $\frac{1}{10}$ | 46,8 |
| 10 ⁻¹¹ | 2.6.5.7.7.6.5.7. 5.7.6.5.7.7.6.4. | $\frac{1}{10}$ | 56,8 | 5.4.3.5.5.6.4.5. 4.8.3.5.5.4.5.9. | $\frac{1}{10}$ | 50 |
| 10 ⁻¹⁰ | 9.14.6.3.4.6.7.8. 9.4.4.3.5.3.4.5. | $\frac{1}{10}$ | 59 | 9.7.6.4.6.6.5.3. 4.3.3.4.5.5.6.5. | $\frac{1}{10}$ | 49 |
| 10 ⁻⁹ | 8.7.8.9.7.3.7.8. 6.5.5.13.5.6.5.9. | $\frac{1}{10}$ | 72 | 11.2.12.2.4.11.8.8. 3.7.6.5.0.5.3.6. | $\frac{1}{10}$ | 58,8 |
| 10 ⁻⁸ | 19.8.18.9.12.8.6.12. 11.11.9.12.17.15.13.10. | $\frac{1}{10}$ | 118,7 | 17.7.12.9.14.5.10.12. 6.6.8.13.13.9.8.8. | $\frac{1}{10}$ | 98,1 |
| 10 ⁻⁷ | 12.7.22.9.10.8.10.15. 4.6.11.6.10.8.11.13. | $\frac{1}{15}$ | 151,8 | 6.7.14.11.4.3.8.11. 9.6.11.10.7.3.22.7. | $\frac{1}{15}$ | 130,2 |
| 10 ⁻⁶ | 9.9.6.8.13.9.10.5. 3.21.12.10.10.14.12.13. | $\frac{1}{15}$ | 153,7 | 15.2.7.3.11.9.9.10. 8.9.14.3.16.7.9.9. | $\frac{1}{15}$ | 132,1 |
| 10 ⁻⁵ | 8.7.7.10.8.4.16.16. 9.5.12.8.6.4.9.13. | $\frac{1}{15}$ | 133,3 | 5.8.5.6.7.5.9.10. 8.9.6.6.7.8.8.4. | $\frac{1}{15}$ | 103,9 |
| 10 ⁻⁴ | 8.15.11.11.11.12.12.11. 14.22.11.13.7.3.7.6. | $\frac{1}{10}$ | 108,7 | 7.9.11.18.9.6.7.12. 12.7.5.9.8.5.9.4. | $\frac{1}{10}$ | 86,2 |
| 10 ⁻³ | 6.8.8.14.5.7.8.16. 7.8.8.8.5.7.8.16. | $\frac{1}{10}$ | 82,5 | 10.3.10.5.10.10.5.3. 10.3.10.5.10.10.5.3. | $\frac{1}{10}$ | 60 |
| 10 ⁻² | 9.4.6.0.7.3.9.7. 4.9.7.2.9.4.3.6. | | 5,3 | 4.6.7.2.8.7.3.7. 7.5.6.0.5.8.4.7. | | 5,2 |
| 10 ⁻¹ | 3.6.4.6.8.6.5.4. 5.5.6.3.6.5.5.3. | | 4,9 | 4.3.3.4.4.7.6.4. 4.4.5.2.3.5.4.3. | | 4 |
| Tube témoin | 4.5.4.9.8.3.13.6. 5.5.3.4.5.9.4.3. | | 55 | 9.5.7.6.6.5.4.5. 6.4.6.3.5.3.3.4. | | 50 |



10^{-12}

iong. MoO_4^{--} / litre

10^{-6}

10^2

C

INTERPRETATION DES RÉSULTATS:

La courbe représentative des résultats révèle l'existence d'une concentration optimum (10^{-6} ion gramme MoO_4 par litre) mais le molybdène à une action favorable sur le développement de *Perabactérium spelei* à des concentrations relativement éloignées de cet optimum 10^{-10} à 10^{-3} ion gramme MOO_4^{--} par litre.

Lorsque la concentration passe de 10^{-3} à 10^{-2} , le molybdène devient **brutalement** inhibiteur: il n'y a plus que 4 ou 5 bactéries par unité de cellule THOMA au lieu de 55 environ en l'absence de molybdène dans le tube témoin. En plus de la présence de Na^+ qui s'est révélé être un mauvais cation en culture, l'action de l'ion oxydé au maximum MoO_4^{--} explique cette inhibition.

XII - ACTION DE L'IODE.

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI.

L'iodure de potassium a été choisi à des concentrations variant de 10^{-15} à 10^{-1} ion gramme I^- par litre.

K I - RESULTATS DES COMPTAGES

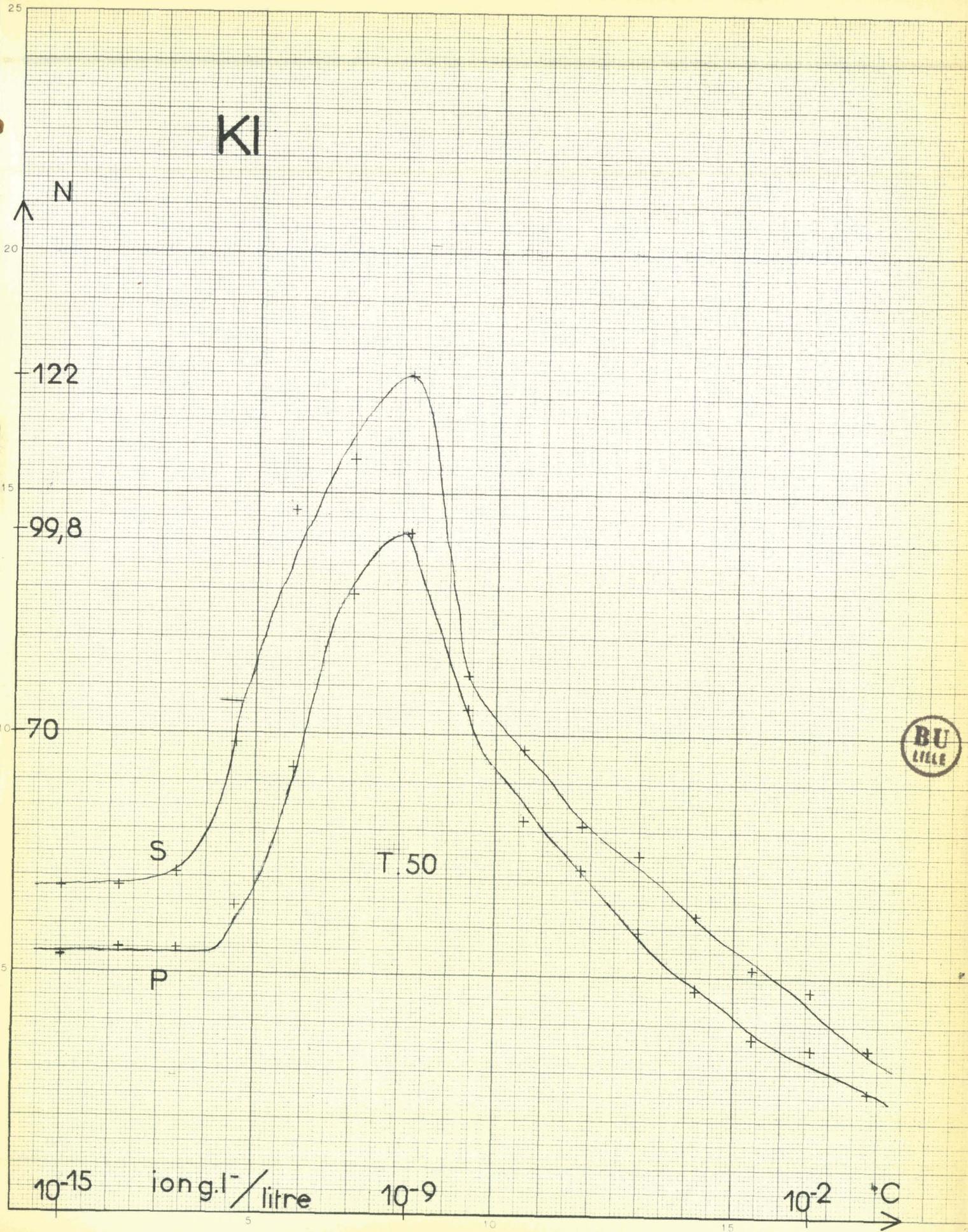


| CONCENTRATION EN I ⁻ iong /L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | N MOYEN |
|---|---|-------------------------|---|--------------------------|
| 10 ⁻¹⁵ | 7.4.3.6.3.4.2.3. 5.6.4.8.5.5.4. | $\frac{I}{10}$ 48, I | 4.4.3.2.5.7.1.6. 3.5.2.2.6.2.1.7. | $\frac{I}{10}$ 37, II |
| 10 ⁻¹⁴ | 4.1.4.3.6.3.4.4. 7.9.8.10.1.6.6.2. | $\frac{I}{10}$ 48 | 3.0.6.8.3.2.7.9. 5.2.3.3.0.5.5.1. | $\frac{I}{10}$ 38,5 |
| 10 ⁻¹³ | 3.4.6.4.5.5.4.4. 5.2.8.5.5.7.6.6. | $\frac{I}{10}$ 49,3 | 1.2.7.7.1.4.8.8. 3.4.2.4.2.3.3.3. | $\frac{I}{10}$ 38,5 |
| 10 ⁻¹² | 4.7.5.4.2.5.10.5. 5.4.1.16.8.12.14.9. | $\frac{I}{10}$ 69 | 1.3.2.4.1.5.2.4. 1.2.4.3.8.3.8.3. | $\frac{I}{10}$ 44,8 |
| 10 ⁻¹¹ | 7.17.5.14.5.8.9.10. 6.10.9.10.17.11.17.6. | $\frac{I}{10}$ 100 | 4.3.5.4.4.5.9.8. 3.4.7.8.10.11.13.9. | $\frac{I}{10}$ 65 |
| 10 ⁻¹⁰ | 13.9.15.8.8.9.11.15. 8.7.13.14.15.12.9.11 | $\frac{I}{10}$ 110 | 7.1.8.11.6.7.9.10. 8.8.9.13.14.8.23. | $\frac{I}{10}$ 90,5 |
| 10 ⁻⁹ | 6.11.2.15.16.13.13.13 7.16.10.22.14.16.16.16 | $\frac{I}{10}$ 122 | 12.12.10.19.14.13.10. 9.6.6.13.6.13.6.9.14 | $\frac{I}{10}$ 99,8 |
| 10 ⁻⁸ | 2.12.4.18.5.4.4.19. 10.13.2.4.5.3.12.10 | $\frac{I}{10}$ 79 | 2.4.4.11.12.2.6.19. 5.18.1.5.4.4.11.11. | $\frac{I}{10}$ 73,5 |
| 10 ⁻⁷ | 7.11.7.4.8.2.6.7. 3.10.5.6.5.10.8.11 | $\frac{I}{10}$ 68 | 9.9.5.6.0.2.1.4. 6.7.5.6.7.8.8.11. | $\frac{I}{10}$ 57,5 |
| 10 ⁻⁶ | 3.6.7.3.2.7.5.12. 4.7.5.12.3.5.4.7. | $\frac{I}{10}$ 57 | 4.5.5.5.4.5.8.9. 0.4.8.9.4.4.5.6. | $\frac{I}{10}$ 51 |
| 10 ⁻⁵ | 4.11.7.6.3.5.6.13. 3.5.4.8.4.4.2.1. | $\frac{I}{10}$ 53 | 4.6.3.2.0.1.9.10. 4.4.6.6.3.3.4.1. | $\frac{I}{10}$ 41,3 |
| 10 ⁻⁴ | 3.6.13.9.8.5.5.8. 3.19.12.13.5.12.5.12. | $\frac{I}{5}$ 43,8 | 3.3.6.2.13.10.11.13. 6.7.6.7.8.9.8.9. | $\frac{I}{5}$ 32,9 |
| 10 ⁻³ | 7.6.12.5.12.2.6.5. 7.7.3.5.4.7.5.7. | $\frac{I}{5}$ 31,2 | 10.3.4.5.7.7.6.5. 6.8.4.4.6.5.6.6. | $\frac{I}{5}$ 25,9 |
| 10 ⁻² | 8.8.6.4.10.14.2.0. 6.10.4.4.12.4.2.14. | $\frac{I}{5}$ 36 | 0.4.2.4.6.8.4.4. 8.8.6.2.10.6.6.10. | $\frac{I}{5}$ 24,5 |
| 10 ⁻¹ | 4.2.4.6.5.3.8.4. 8.5.3.3.8.6.6.5. | $\frac{I}{5}$ 25 | 0.2.0.2.5.6.8.4. 6.7.2.4.8.3.7.4. | $\frac{I}{5}$ 18,2 |
| Tube témoin | 4.8.5.4.0.2.0.4. 8.8.8.5.6.6.5.6. | $\frac{I}{10}$ 50 | 4.3.3.6.1.1.2.2. 2.10.12.5.5.7.4.7. | $\frac{I}{10}$ 47 |

KI

N

^



10^{-15}

ion g.l⁻ / litre

10^{-9}

10^{-2}

C

>

INTERPRETATION DES RESULTATS.-

L'optimum est obtenu pour une concentration exceptionnellement faible de 10^{-9} ion gramme I^- par litre.

Agissant favorablement à des concentrations comprises entre 10^{-12} et 10^{-7} , l'iode devient progressivement inhibiteur au fur et à mesure que la concentration augmente.

XIII . A C T I O N D U B R O M E .

SUR LE DEVELOPPEMENT DE PERABACTERIUM SPELEI

Le bromure de potassium a été choisi pour étudier non pas l'action du potassium mais celle du brome.

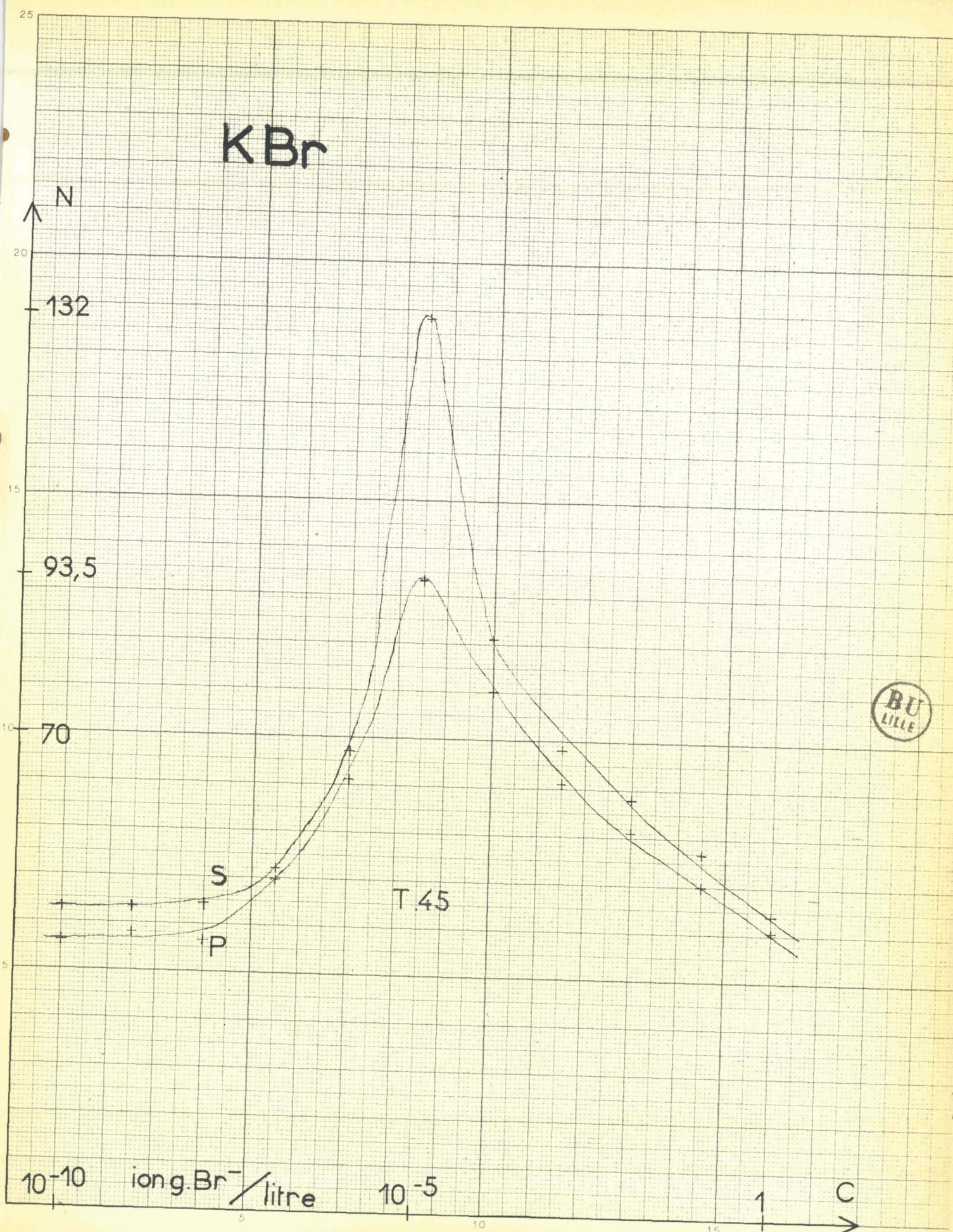
On a envisagé des concentrations allant de 10^{-10} à 1 ion - gramme Br^- .

K Br : RESULTATS DES COMPTAGES

| CONCENTRATION EN Br ⁻ ion/L | NOMBRE DE BACTERIES EN SURFACE | D | N MOYEN | NOMBRE DE BACTERIES EN PROFONDEUR | D | N MOYEN |
|--|---|----------------|------------|---|----------------|------------|
| 10 ⁻¹⁰ | 3.5.7.7.3.7.2.3. 2.5.5.6.7.5.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 45 | 4.8.2.4.6.5.3.3. 5.3.4.5.0.2.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 39 |
| 10 ⁻⁹ | 3.2.5.7.5.5.7.6. 3.7.7.5.3.2.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 45 | 6.4.6.3.2.2.3.2. 3.3.6.6.6.3.8.4. | $\frac{1}{10}$ | 40 |
| 10 ⁻⁸ | 3.5.3.7.2.5.7.5. 3.4.5.6.2.3.7.7. | $\frac{1}{10}$ | 45 | 4.2.4.3.5.5.4.3. 0.4.3.2.5.5.6.8. | $\frac{1}{10}$ | 39,3 |
| 10 ⁻⁷ | 7.3.6.4.3.5.5.4.8. 5.5.2.6.4.2.4.7. | $\frac{1}{10}$ | 50,4 | 4.4.3.4.5.3.3.5. 4.5.4.4.6.4.3.10. | $\frac{1}{3}$ | 48,6 |
| 10 ⁻⁶ | 6.7.8.8.5.6.8.5. 10.7.5.8.7.5.7.6. | $\frac{1}{10}$ | 67,5 | 5.6.8.3.12.5.9.5. 6.2.12.7.3.4.8.7. | $\frac{1}{10}$ | 63,7 |
| 10 ⁻⁵ | 20.5.16.19.16.11.7.12 28.8.11.14.8.11.5.8. | $\frac{1}{10}$ | 132 | 10.12.23.11.0.4.10.9 6.9.16.9.9.11.10.8. | $\frac{1}{10}$ | 93,5 |
| 10 ⁻⁴ | 11.7.15.10.18.6.9.6. 8.9.3.16.6.4.6.11. | $\frac{1}{10}$ | 84,7 | 10.7.6.9.6.5.18.6. 8.13.6.8.6.6.4.2. | $\frac{1}{10}$ | 77 |
| 10 ⁻³ | 7.6.8.7.7.5.10.10. 6.3.9.8.7.4.3.9. | $\frac{1}{10}$ | 68,7 | 6.4.8.6.10.7.4.8. 9.10.5.4.4.9.7.5. | $\frac{1}{10}$ | 63,7 |
| 10 ⁻² | 4.3.9.6.3.8.9.7. 6.7.3.4.9.1.7.7. | $\frac{1}{10}$ | 58,1 | 9.3.8.8.8.4.5.3. 8.7.11.4.3.5.2.0. | $\frac{1}{10}$ | 55,0 |
| 10 ⁻¹ | 3.4.4.9.4.4.7.6. 7.2.6.8.7.2.7.6. | $\frac{1}{10}$ | 53,7 | 2.5.5.7.1.13.6.8. 6.2.9.5.6.3.4.3. | $\frac{1}{10}$ | 53,1 |
| I | 3.5.4.4.11.2.6.2. 2.2.5.0.7.12.2.3. | $\frac{1}{10}$ | 45,1 | 8.9.1.3.4.4.3.3. 1.4.3.2.3.2.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 43,8 |
| tube témoin | 4.4.6.9.2.5.4.3. 3.4.5.6.6.6.3.4. | $\frac{1}{10}$ | 45 | 4.6.8.5.9.3.4.3. 4.5.2.8.3.2.3.5. | $\frac{1}{10}$ | 42 |



KBr



INTERPRETATION DES RESULTATS :

Inactif à de très faibles concentrations, le brome a un domaine d'activité qui s'étend de 10^{-7} à 10^{-3} ion gramme Br^- par litre.

Il ne semble pas encore inhibiteur à la concentration pourtant déjà élevée de 1 mole/litre.

À la concentration optimum en BrK (10^{-5} mole/litre), le développement du *Perabacterium spelei* est beaucoup plus important en surface qu'en profondeur.

ACTION COMPAREE D'UN OLIGO-ELEMENT ET D'UN MACRO-ELEMENT.-

— L'optimum d'action de l'oligo élément ne se situe pas aux mêmes concentrations que pour le macro - élément. Il se situe à une concentration allant de 10^{-5} à 10^{-9} mole/litre pour l'oligo élément et à une concentration plus élevée allant de 10^{-2} à 10^{-4} ion g/litre pour le macro élément.

— A faible concentration, ils agissent différemment :

l'oligo élément est inactif : le développement de la bactérie est le même qu'en son absence et la courbe dessine un palier.

Le macro élément agit déjà de façon sensible, la colonie bactérienne se développe de plus en plus lorsque la concentration augmente et la courbe marque une pente très accusée.

— Aux fortes concentrations, la toxicité n'intervient pas de la même façon pour les deux sortes d'éléments.

Le macro élément devient toxique du fait de sa trop grande abondance dans le milieu de culture. Il intervient des phénomènes physiques, tels qu'une modification de la tension superficielle, qui inhibent le développement de la bactérie.

La substance oligo dynamique, elle, est toxique par le mécanisme chimique qu'elle met en jeu. Elle empêche le développement de *Perabacterium* en modifiant notamment la valeur du potentiel d'oxydo réduction du milieu.

ACTION GENERALE DES OLIGO ELEMENTS :

Tous les oligo - éléments étudiés ont agi sensiblement de la même façon : on a toujours noté une concentration optimum généralement nette, sauf pour le bore. Aux très faibles concentrations, aucun effet sensible n'est apparu. Aux très fortes concentrations, nous avons le plus souvent noté une action inhibitrice, particulièrement intense, pour le cuivre et le molybdène.

Nous devons remarquer que les sels oxydés au maximum (MoO_4^{--} , Na_2BO_3 , K_3) sont plus facilement inhibiteurs que les autres : la courbe a une pente très accusée à partir du seuil supérieur d'activité.

ACTION COMPAREE DES OLIGO - ELEMENTS :

On peut tenter de comparer l'action des divers oligo - éléments sur le développement de *Perabacterium spelei*. Nous avons choisi pour effectuer cette comparaison le procédé suivant :

- No désigne le nombre de bactéries présentes en surface dans le tube témoin ;

- NI le nombre de bactéries présentes en surface dans le tube où l'oligo élément est à la concentration optimum.

Nous avons formé pour chaque élément le rapport $\frac{NI}{NO}$.

Plus ce rapport est grand, plus l'élément s'est révélé actif.

Sur le tableau, nous avons porté pour chaque élément la concentration optimum et la valeur du rapport $\frac{NI}{NO}$ sous la forme d'un trait horizontal. La longueur de ce trait représente la valeur de $\frac{NI}{NO}$ en fonction de l'unité choisie.

Ce mode de représentation a l'avantage de permettre la comparaison d'un simple coup d'œil.

ACTION COMPAREE DES OLIGO-ELEMENTS

| | | |
|---|--------------------|-----|
| MnCl ₂ | 3·10 ⁻⁸ | 2,3 |
| MnSO ₄ | 3·10 ⁻⁸ | 2,1 |
| FeCl ₃ | 10 ⁻⁵ | 2,2 |
| Fe ₂ (SO ₄) ₃ | 10 ⁻⁵ | 1,6 |
| NiCl ₂ | 10 ⁻⁶ | 2 |
| NiSO ₄ | 10 ⁻⁶ | 1,9 |
| Al ₂ (SO ₄) ₃ | 5·10 ⁻⁵ | 1,8 |
| AlCl ₃ | 10 ⁻⁵ | 1,4 |
| CuSO ₄ | 3·10 ⁻⁶ | 3,6 |
| ZnSO ₄ | 3·10 ⁻⁸ | 3,3 |
| LiCl | 10 ⁻⁶ | 2,5 |
| Co(NO ₃) ₂ | 10 ⁻⁷ | 3,4 |
| TiO ₂ | 10 ⁻⁸ | 2,2 |
| K ₃ BO ₃ | 10 ⁻⁶ | 1,7 |
| Na ₂ MoO ₄ | 10 ⁻⁶ | 2,8 |
| KI | 10 ⁻⁹ | 2,4 |
| KBr | 10 ⁻⁵ | 2,9 |



0 1 2 3 4

Le cuivre, le cobalt et le zinc semblent avoir été particulièrement favorables au développement du *Perabacterium spelei*.

A un degré moindre, viennent le brome, molybdène, lithium et iode. Par contre le bore et surtout l'aluminium sous forme de chlorure se sont montrés peu actifs.

COMPOSITION D'UN MILIEU IDEAL.-

Essayons de déterminer maintenant quels oligo - éléments il serait bon d'introduire dans un milieu de culture amélioré et à quelle concentration il conviendrait de les prendre.

Il s'agit d'abord de trancher, lorsque le cas se présente ; pour la forme chlorure et pour la forme sulfate.

Il suffit de consulter le tableau précédent. Nous adopterons le chlorure de manganèse, le chlorure ferrique, le sulfate d'aluminium et le chlorure de nickel.

Ensuite vient le choix des concentrations. Il suffit d'adopter les valeurs optimum rassemblées dans le tableau.

Ces oligo éléments aux concentrations optimales trouvées seront adjoints à un milieu de culture comportant toutes les substances du milieu type avec les mêmes concentrations, à l'exception du fer ferrique et du manganèse qui auront les concentrations optimum de nos propres expériences.

Précisons la composition de ce milieu de culture amélioré :

PARTIE MINERALE.-

macro - éléments : (en mole/litre)

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| K ₂ H PO ₄ | 5,8.10 ⁻⁴ |
| Mg SO ₄ | 1,4.10 ⁻² |
| Na Cl | 8,5.10 ⁻⁴ |
| Fe SO ₄ | 3,3.10 ⁻¹ |
| K Cl | 4,5.10 ⁻² |



oligo - éléments : (en ion.g/litre)

| | | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|------------------|
| Mn CL ₂ | 3,10 ⁻⁸ | CO(NO ₃) ₂ | 10 ⁻⁷ |
| Fe Cl ₃ | 10 ⁻⁵ | TI O ₂ | 10 ⁻⁸ |
| Ni Cl ₂ | 10 ⁻⁶ | K ₃ BO ₃ | 10 ⁻⁶ |
| Al ₂ (SO ₄) ₃ | 5.10 ⁻⁵ | Na ₂ MoO ₄ | 10 ⁻⁶ |
| Cu SO ₄ | 3.10 ⁻⁶ | KI | 10 ⁻⁹ |
| Zn SO ₄ | 3.10 ⁻⁸ | K Br | 10 ⁻⁵ |
| Li Cl | 10 ⁻⁶ | | |

PARTIE ORGANIQUE.-

peptone 0,3 g
bouillon de pomme de terre.

RESULTATS OBTENUS AVEC LE MILIEU DE CULTURE AMELIORE.-

Le milieu de culture a été ensemencé en même temps qu'un milieu témoin.

Après 10 jours d'étuvage, nous avons relevé :

209 bactéries en surface et 189 en profondeur pour le milieu amélioré.

45 bactéries en surface et 40 en profondeur pour le témoin.

Le rapport $\frac{NI}{NO}$ vaut 4,6

- Il suffit de le comparer aux différents rapport $\frac{NI}{NO}$ établi pour chaque oligo - élément séparément pour constater le degré d'amélioration obtenu.

Le milieu de culture auquel nous avons abouti répond, dans le cadre de notre étude, aux exigences du *Perabacterium spelei*.

Pour terminer, nous avons été amenés en outre à envisager les conditions dans lesquelles on peut espérer obtenir une stérilisation.

POSSIBILITE DE STERILISATION :

UTILISATION DE SUBSTANCES NOCIVES A CERTAINE CONCENTRATION.-

Parmi les macro-éléments, l'ion phosphate paraît toxique aux concentrations supérieures à 10^{-3} .

Les oligo éléments suivants présentent une action inhibitrice très nette :

| | | |
|---|------------------------|--------------|
| Le sulfate de cuivre à des concentrations | $\geq 3 \cdot 10^{-2}$ | ion.g/litre. |
| Le molybdate de sodium | " $\geq 10^{-2}$ | " |
| Les borate et iodure de potassium | " $\geq 10^{-2}$ | " |

L'introduction des substances citées, aux concentrations indiquées dans un milieu contenant des *Perabacterium* stériliserait vraisemblablement le milieu, ou du moins empêcherait le développement de la bactérie.

ACTION DES RAYONS ULTRA - VIOLETS :

Lors de l'ensemencement de notre dernière série de tubes, nous avons étudié l'action des rayons ultra-violetts sur le développement de *Perabacterium*.

Un tube contenant le milieu de culture amélioré est exposé aux rayons ultra - violets à une température qui diffère fort peu de celle de l'étuve pendant un laps de temps de deux heures environ.

Nous répétons cette opération un certain nombre de fois à intervalles réguliers pendant 10 jours.

Le comptage a montré que le nombre de bactéries était très faible : 10 bactéries en surface par unité de cellule THOMA, 4 bactéries en profondeur contre 209 bactéries en surface et 189 en profondeur dans un tube ensemencé dans les mêmes conditions mais laissé à l'étuve.

Les rayons ultra - violets ont donc une action nocive sur le développement.

On peut les utiliser pour stériliser un milieu ou du moins pour stabiliser le développement du *Perabacterium spelei*.

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

V. CAUMARTIN .-

Recherches sur une bactérie des argiles des cavernes et des sédiments ferrugineux.

Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences, Tome CCXL - p. 1758 - 1760 - Nov. 1957.

V. CAUMARTIN .-

Quelques aspects nouveaux de la microflore des cavernes.

Annales de speléologie, Tome XIV, fascicule I - 2, p. 147 - 157 - 1959.

V. CAUMARTIN et P. RENAULT. 1958

La corrosion biochimique dans un réseau karstique et le genèse du mondmilch.

Notes biospeleologiques. Tome XIII, p. 87 - 109 - 1958.

J. POCHON et de BARJAC.

Traité de microbiologie des sols.

Dunod - Paris. 1958.

J. POCHON.

Manuel technique d'analyse microbiologique des sols. Masson - Paris. 1954.

N. POTELLE.

Recherche des conditions optimales de développement d'une ferrobactériale : le Perabacterium spelei. (diplôme d'Etudes Supérieures soutenu à Lille en 1960)

A et R. SARTORY et J. MEYER.

Microbiologie pratique.
Maloine - Paris. 1950.

852491201