

ÉTUDE SUR LES CONDITIONS D'AUTOÉPURATION DE LA SOMME A AMIENS

par P. VIVIER, M. LAURENT et J. FEUTRIE (1)

et la collaboration technique de M. SUEUR.

I. N. R. A. Station d'Hydrobiologie Continentale de Paris.

I. — INTRODUCTION

Dans le cadre du sujet de recherches « Interréactions vase-eau » effectué avec l'aide financière de la Délégation Générale de la Recherche Scientifique, nous avons été amenés à étudier chimiquement et bactériologiquement la Somme en amont et en aval d'Amiens, comme exemple de rivière recevant des rejets d'origine organique et susceptible ensuite d'auto-épuration.

Cette partie de la Somme (fig. 1) avait déjà fait l'objet d'études préliminaires menées par C. DUQUENNE, exposées dans son Diplôme d'Études Supérieures soutenu en 1964; pour pouvoir comparer éventuellement les résultats du présent recueil à ceux du précédent, nous avons refait les prélèvements à peu près aux mêmes stations, dont voici la liste :

— *Point 1.* — Pont de Camon, à l'entrée de la ville d'Amiens. La Somme y est claire et propre avec végétation abondante. On n'y trouve que peu de vase.

— *Point 2.* — Après le pont Saint-Michel, dans le port. L'eau y est déjà polluée par un collecteur de la ville.

— *Point 3.* — En aval des abattoirs de la ville, à environ 500 m du précédent. Des déchets flottent à la surface de l'eau qui prend une odeur nauséabonde.

— *Point 4.* — Barrage de la Chaudière. Ici, la rivière étant plus large et le courant moins fort, il se produit une décantation sur les berges. On remarque, surtout quand on remue la vase, que des bulles crèvent à

(1) Nous remercions M. Feuillade, directeur de la Station d'Hydrobiologie continentale du Paraclet, pour l'aide et les conseils qu'il nous a apportés dans cette étude.

la surface de l'eau témoignant probablement d'une fermentation méthanique. L'eau a une odeur nauséabonde. C. DUQUESNE signale dans son étude que des odeurs d'hydrogène sulfuré (H_2S) se répandent aux environs. Nous avons fait un prélèvement spécial d'eau en vue d'y doser H_2S (en le transformant en $Zn S$ aussitôt le prélèvement fait, par traitement à l'acétate de zinc, selon la technique préconisée par les normes A. S. T. M. américaines). L'essai n'a pas révélé de H_2S .

Il faut dire que certaines plantes peuvent dégager des odeurs pouvant prêter à confusion (ex. *Chara foetida*). De toute façon, la teneur en oxygène de l'eau s'est révélée toujours importante ; or, il y a incompatibilité entre la présence d'O et de H_2S corps très oxydable et donc très fugace. En outre, l'eau de la Somme étant bicarbonatée calcique, basique avec effet tampon, ne semble pas attaquer les sulfures de fer de la vase avec assez d'intensité pour provoquer un départ de H_2S ; les sulfures ne se déposent pas, en effet, à partir de l'eau ; ils se produisent par réduction ultérieure des sulfates sur un dépôt primaire en anaérobiose, sous l'effet des bactéries sulfatoréductrices.

— *Point 5.* — Confluent commun de la Somme et de deux bras de la Selle (Haute-Selle et Basse-Selle). La Basse-Selle apparaît très polluée par des industries chimiques : teintureries, produits laitiers, fabrique de colle d'os. Elle a une couleur blanchâtre mais, toutefois, son débit est très faible par rapport à la Haute-Selle qui semble propre. On remarque beaucoup de touffes de *Sphaerotilus natans* qui dérivent dans le courant.

— *Point 6.* — A la pointe d'Herbet, 1 km en aval, en dehors de la ville, l'eau est encore sale.

— *Point 7.* — Environ 500 m en aval, entre Montières et Dreuil, l'eau s'éclaircit ; les plantes supérieures immergées réapparaissent.

— *Point 8.* — Ailly-sur-Somme, en aval de la ville où quelques usines déversent des eaux résiduaires.

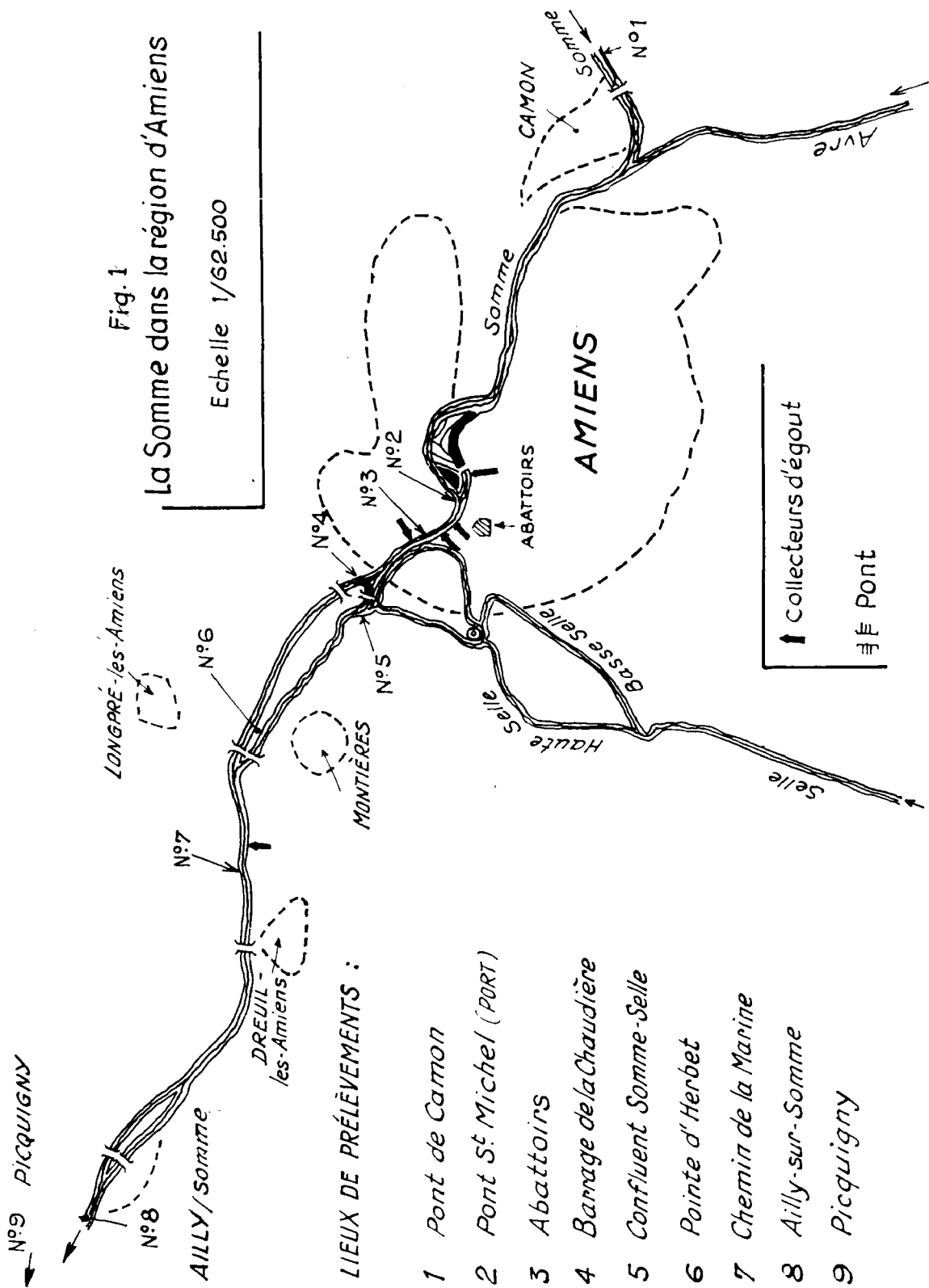
— *Point 9.* — Picquigny, à 12 km d'Amiens. L'eau a un aspect propre. Comme au point 1, les dépôts vaseux sont moins importants ; il est difficile d'en trouver ; il faut explorer les endroits en aval de touffes de plantes aquatiques, là où le courant affaibli n'entraîne plus les dépôts de décantation.

Dans cette étude, nous ne présenterons que les commentaires des résultats des nombreuses mesures effectuées car l'ensemble des chiffres et diagrammes est trop important pour trouver place ici.

II. — TECHNIQUES D'ANALYSES CHIMIQUES.

Les méthodes de mesures s'appuient sur les techniques classiques de dosage. Nous en rappellerons les principes :

1° VASE. — % de matière sèche : Sur environ 100 g de vase humide séchée à 105° C.



— *Matières organiques* : Déterminées par la perte au feu à 600° C.

— *Carbone* : Déterminé par la méthode Anne, mais ici le facteur empirique de conversion, établi pour les acides humiques, demanderait à être corrigé parce que vraisemblablement trop élevé (présence d'autres réducteurs : sulfures de fer, acides gras).

— *Fer total* : Estimé comme le fer solubilisé par HCl à 25% environ à chaud sur le produit de calcination à 600°. Titration par le chlorure de titane (TiCl₃) en présence de sulfocyanure d'ammonium.

— *Sulfures* : Dosage de H₂S produit par attaque à chaud par HCl à 20% environ, puis iodimétrie sur le sulfure de zinc formé après barbotage des gaz dans l'acétate de zinc.

— *Sulfates* : Pesée du SO₄Ba formé par double précipitation à partir du liquide résultant de l'attaque précédente.

— *Azote total* : Après attaque selon le protocole Kjeldahl; acidimétrie après distillation de NH₃.

— *Azote ammoniacal* : Estimation des sels ammoniacaux extraits par le chlorure de calcium.

— *Azote nitreux* : Spectrophotocolorimétrie par la réaction de Griess sur le filtrat précédent.

— *Azote nitrique* : Dosage de NH₄ formé par réduction à l'aide de l'alliage de Dewarda sur le filtrat de l'extraction au chlorure de calcium.

2° EAU. — *Oxygène* : Dosé par la méthode de Winckler. L'oxygène est fixé sur le terrain, puis dosé au laboratoire.

— *D. B. O.* : Après dilution par de l'eau de source non stérilisée dont le D. B. O. est très faible.

— *Chlorures* : Titrage par le nitrate mercurique selon la technique A. S. T. M.

— *Sulfates* : Par néphélométrie du SO₄Ba.

— *Oxydabilité (Matières organiques)* : En évaluant le sulfate cérique consommé après ébullition de 20 mn en milieu sulfurique. Cette méthode a été reconnue comme donnant des résultats plus fidèles.

— *Azote ammoniacal* : Par acidimétrie sur le distillat de l'eau.

— *Azote nitrique* : Par acidimétrie sur le distillat après réduction des nitrates par l'alliage de Dewarda.

— *Azote nitreux* : Par spectrophotocolorimétrie après traitement au réactif de Griess.

— *Fer total* : Par spectrophotocolorimétrie du thiocyanate ferrique après minéralisation par l'eau régale.

En ce qui concerne surtout les matières organiques et le fer total, l'analyse n'a porté que sur l'eau filtrée sur membrane millipore. Les matières protéidiques à grosses molécules sont donc arrêtées et n'interviennent plus dans l'oxydabilité; d'autre part, on ne risque pas de doser le fer inclus dans les particules argileuses en suspension.

III. — TECHNIQUES D'ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES.

Elles ont consisté dans le dénombrement, d'une part des germes ammonifiants considérés comme nombre total de bactéries, et d'autre part des germes sulfatoréducteurs. Ces dénombrements ont été effectués par la méthode des suspensions-dilutions, après la mise en évidence de la formation d'ammoniaque pour les premiers et de sulfure de fer, pour les seconds.

IV. — RÉSULTATS.

Nous avons effectué des mesures de variations des compositions chimiques, et des essais bactériologiques de la vase et de l'eau de la Somme, d'une part en fonction de la distance à partir du point 1 (pont de Camon à l'entrée d'Amiens) jusqu'à Picquigny, situé à environ 15 km en aval, et d'autre part, en fonction du temps, pour chaque point de prélèvement, en faisant 6 séries d'échantillons de janvier à juin 1965. Les prélèvements de vase ont été effectués à l'aide d'une petite pelle-dragueuse à main, moyen limité qui ne permet d'accéder qu'à la berge dans une zone de végétation des plantes typiques de marécages : jones, iris. Dans le but d'essayer de mettre en corrélation les effets entre la vase et l'eau, celle-ci a été prélevée près des rives et non au milieu du fleuve. Malheureusement, cette restriction limite peut-être la valeur des mesures, car sur les bords le courant est freiné ; il y a une décantation des matières en suspension dans l'eau et l'action épurante de l'oxygène de photosynthèse des plantes vertes peut également s'y faire sentir davantage.

Nous avons reproduit (fig. 2) les valeurs obtenues par certains anions (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^-) le long de la Somme dans la vase, le 31 janvier 1965.

Pour faciliter la compréhension du texte, nous donnons ci-après pour 3 points caractéristiques (nos 1, 4, 8) les limites de variation de chacun des éléments analysés (chimie et bactériologie). Nous avons également représenté sur un même graphique pour chacun des trois points choisis les variations au cours du temps des teneurs en NO_3^- et C dans la vase (fig. 3, 4 et 5).

En ce qui concerne la vase :

1. Carbone, soufre, fer total.

Carbone : donné en grammes par kilogramme de matière sèche.

Point 1 : 45,5 < C < 61
Point 4 : 86,5 < C < 127
Point 8 : 46,3 < C < 82,5

Soufre : en milligrammes par kilogramme de matière sèche.

— *Sulfures* :

Point 1 : 310 < S < 500

Point 4 : 420 < S < 1.300

Point 8 : 81 < S < 580

— *Sulfates* :

Point 1 : 98 < S < 200

Point 4 : 94 < S < 350

Point 8 : 104 < S < 360

Fer total : en grammes par kilogramme de matière sèche.

Point 1 : 13,9 < Fe < 19

Point 4 : 16,2 < Fe < 20,3

Point 8 : 9,95 < Fe < 15,8

Le taux en carbone est maximum au point 4 et ceci est l'indice d'une décantation régulière des matières en suspension dans l'eau. Les teneurs en soufre et la teneur en fer suivent celles du carbone, et varient entre elles dans le même sens. Ceci montre que le fer dosé est bien, à peu de choses près, celui engagé comme sulfure de fer (Fe S), indice de formation biologique par activité des bactéries sulfatoréductrices.

La figure 2 ainsi que le tableau des variations montrent que les sulfates, qui sont en quantité relativement faible à l'amont d'Amiens, voient leur teneur augmenter dans la traversée de la ville et rester encore élevée à 15 km en aval.

Les variations du nombre n de bactéries sulfatoréductrices sont les suivantes (nombre par g de vase humide) :

Point 1 : 2.500 < n < 450.000

Point 4 : 30.000 < n < 950.000

Point 8 : 9.500 < n < 450.000

2. Azote (ammoniacal, nitreux, nitrique).

Les concentrations des diverses formes de l'azote suivent ainsi (les chiffres sont donnés en milligrammes par kilogrammes de matière sèche) :

	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Point 1 ...	30,3 < NH_4^+ < 120	6 < NO_2^- < 13,5	5,63 < NO_3^- < 45
Point 4 ...	30 < NH_4^+ < 386,1	4 < NO_2^- < 28	1,5 < NO_3^- < 19,1
Point 8 ...	16,1 < NH_4^+ < 670,4	2 < NO_2^- < 62	14,6 < NO_3^- < 107,2

Les teneurs en NH_4^+ et NO_2^- varient souvent dans le même sens.

Les variations du nombre n' des bactéries ammonifiantes (ou nombre total de germes) ne font pas apparaître de corrélations intéressantes avec les chiffres précédents (en nombre de germes par gramme de vase humide) :

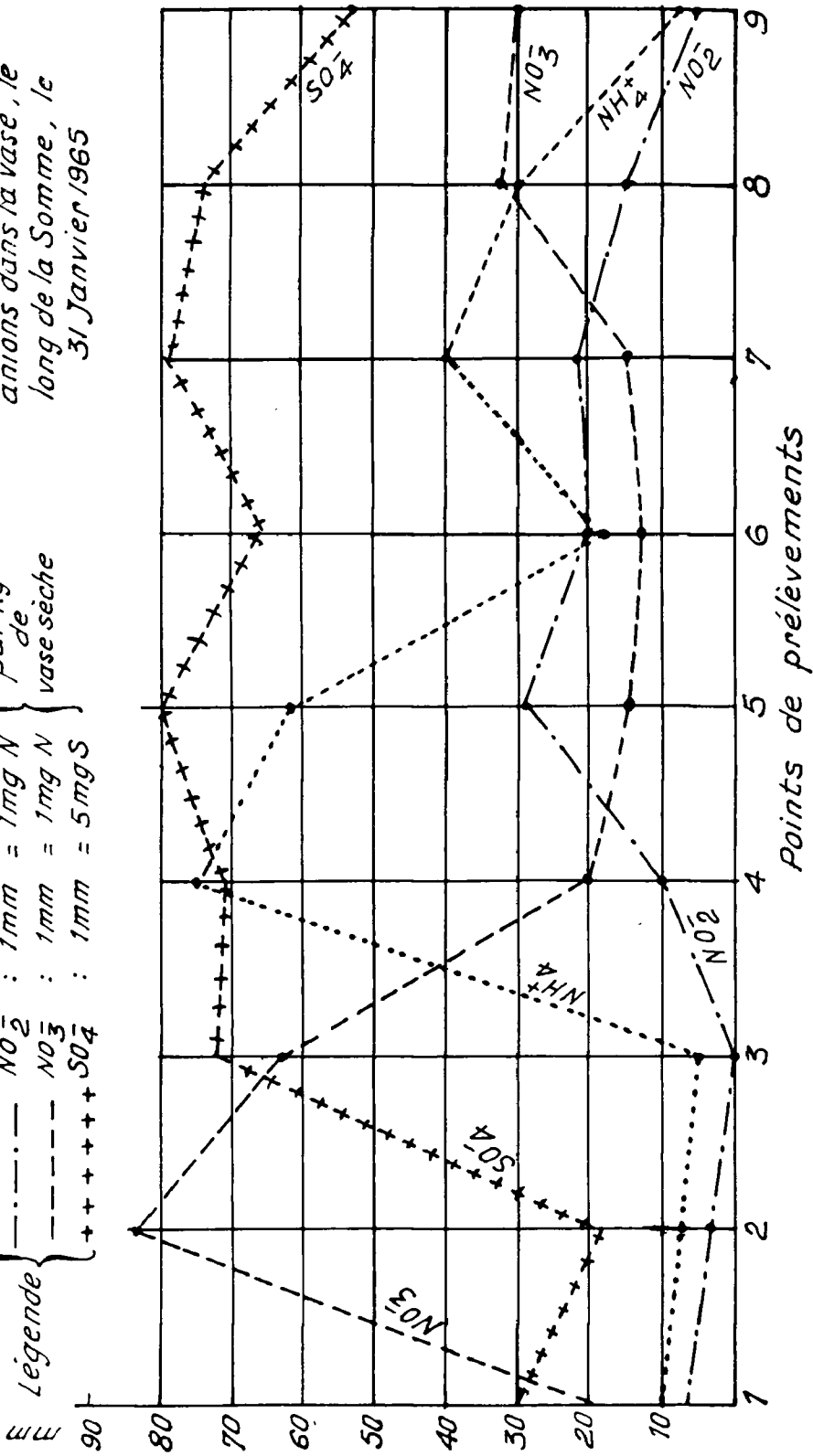
Fig.2 - Valeurs de certains anions dans la vase, le long de la Somme, le 31 Janvier 1965

NH_4^+ : 1mm = 5 mg N
 NO_2^- : 1mm = 1mg N
 NO_3^- : 1mm = 1mg N
 SO_4^{2-} : 1mm = 5mgS

par Kg de vase sèche

.....
 - - - -
 - - - -
 + + + +

Légende



Point 1 : $2,5 \times 10^8 < n' < 4,5 \times 10^{10}$
Point 4 : $0,75 \times 10^8 < n' < 1,4 \times 10^{10}$
Point 8 : $2,5 \times 10^8 < n' < 1,4 \times 10^{10}$

En ce qui concerne l'eau :

1. Chlore des chlorures.

Les teneurs en chlore varient dans les limites suivantes :

Point 1 : $17 < Cl < 21$
Point 4 : $17,5 < Cl < 21$
Point 8 : $17,5 < Cl < 21,5$

Elles se situent autour de 20 mg/l. La concentration varie assez peu, aussi bien en fonction de la distance que du temps. En effet, on ne trouve pratiquement pas d'augmentation après la sortie d'Amiens.

Les pollutions en chlorures sont attribuées généralement aux déjections (urines et matières fécales) ainsi qu'aux désinfectants de l'eau potable (Cl, ClO_2 , hypochlorites) après leur réduction. Donc l'indice « chlorures » tend à montrer que, bien que la ville d'Amiens compte plus de 100.000 habitants, la Somme a un débit assez considérable pour que, par effet de dilution, l'augmentation de pollution soit assez faible.

D'où peuvent venir ces chlorures ? Pour une petite part, de la pollution due à la traversée d'autres villes en amont telles que Saint-Quentin, presque aussi importante qu'Amiens. Mais il est probable que ces chlorures ont une autre origine, puisqu'on les trouve à la concentration envisagée ici, dans des eaux de source ou de forages. Il se pourrait donc que le lessivage des engrais potassiques chlorurés (sylvinites) soit un facteur non négligeable de production, les nitrates et chlorures étant peu retenus par le complexe argilo-humique des terres arables.

2. Sulfates : variations en milligrammes par litre de soufre (S).

Point 1 : $8 < S < 18,8$
Point 4 : $10,5 < S < 19$
Point 8 : $9,1 < S < 16,5$

Ces teneurs subissent des variations plus importantes en valeurs relatives que celle des chlorures, mais on ne peut pas noter une augmentation régulière due à la pollution par Amiens ; les teneurs à l'entrée étant très variables, on ne peut plus déduire la part qui revient à la pollution ; il aurait été nécessaire de faire les 9 prélèvements d'eau en descendant le courant et, autant que possible, à sa vitesse. La pollution paraît essentiellement d'origine industrielle (décapage des métaux). A part les produits détersifs tensio-actifs comme les arylalkylsulfonates, les eaux ménagères ne contiennent que très exceptionnellement des composés à base de soufre et les produits moussants ne peuvent que très difficilement se dégrader biologiquement jusqu'au stade sulfate (on envisage d'ailleurs d'obliger les industries à étudier la fabrication de produits tensio-actifs biodégradables).

3. **Fer** : variation en milligrammes par litre.

Point 1 : 0,05 < Fe < 0,20
 Point 4 : 0,07 < Fe < 0,60
 Point 8 : 0,09 < Fe < 0,30

Les teneurs en fer montrent des variations anarchiques. Les teneurs à l'entrée étant très variables, nous pouvons faire les mêmes remarques que pour les sulfates. Il est d'ailleurs peu probable qu'il y ait une pollution en fer par les eaux résiduaires d'Amiens. Il est impossible de faire le bilan de ce métal; notons toutefois l'importance de la teneur de la vase en sulfure de fer. Ce sel n'a pu s'accumuler que par l'action des bactéries sulfato-réductrices à partir d'un produit primaire de sédimentation de l'eau et dans lequel un peu de fer est engagé dans un précipité complexe (comme dans un « floc » artificiel) avec des matières organiques azotées.

4. **Différentes formes de l'azote.**

Notons d'abord l'absence d'azote ammoniacal, même dans les portions les plus polluées comme au point 4. Ceci est l'indice d'une eau suffisamment oxygénée comme l'indiquent les mesures des teneurs en oxygène dissous. En effet, dans les lacs, la production en NH_4^+ s'opère surtout dans l'hypolimnion, dans une zone où, par suite de la stratification thermique, l'oxygène, non renouvelable par photosynthèse chlorophyllienne, a été consommé pour donner un milieu réducteur.

Le nombre des bactéries ammonifiantes varie ainsi (en nombre de germes par litres d'eau) :

Point 1 : 3.000 < n' < 1.800.000
 Point 4 : 5.000 < n' < 1.800.000
 Point 8 : 8.000 < n' < 1.800.000

Les nombres ne font pas apparaître de corrélation intéressante avec les données de la chimie.

Les teneurs en matières organiques solubles, en NO_2^- et en NO_3^- , varient ainsi (en milligrammes par litre) :

	Matières organiques solubles (en mg O ₂ /l)	NO_2^-	NO_3^-
Point 1	0,95 < M.O. < 6	0,06 < NO_2^- < 0,26	1,5 < NO_3^- < 4,16
Point 4	3,30 < M.O. < 7,90	0,09 < NO_2^- < 0,37	1,2 < NO_3^- < 3,55
Point 8	1,30 < M.O. < 6,25	0,09 < NO_2^- < 0,70	1,7 < NO_3^- < 3,20

Nitrites : On a parfois considéré la présence des nitrites comme un indice certain de pollution, surtout quand on les trouve en présence de chlorures. C'est peut-être un point de vue un peu trop sommaire. Il est certain que les nitrites ne sont qu'une étape transitoire dans la minéralisation de l'azote organique et, comme ils sont à la fois facilement oxydables (en nitrates) et réductibles (en ammoniacque), ils peuvent caractériser une eau douteuse. En effet, dans une eau parfaitement oxygénée,

Fig.3 Point N°1
Graphique dans le temps
du carbone et des nitrates
en amont d'Amiens

Légende {
-.-.- Teneur en NO_3^- , en mg de N par kg de matière sèche
- - - Teneur en C, en g

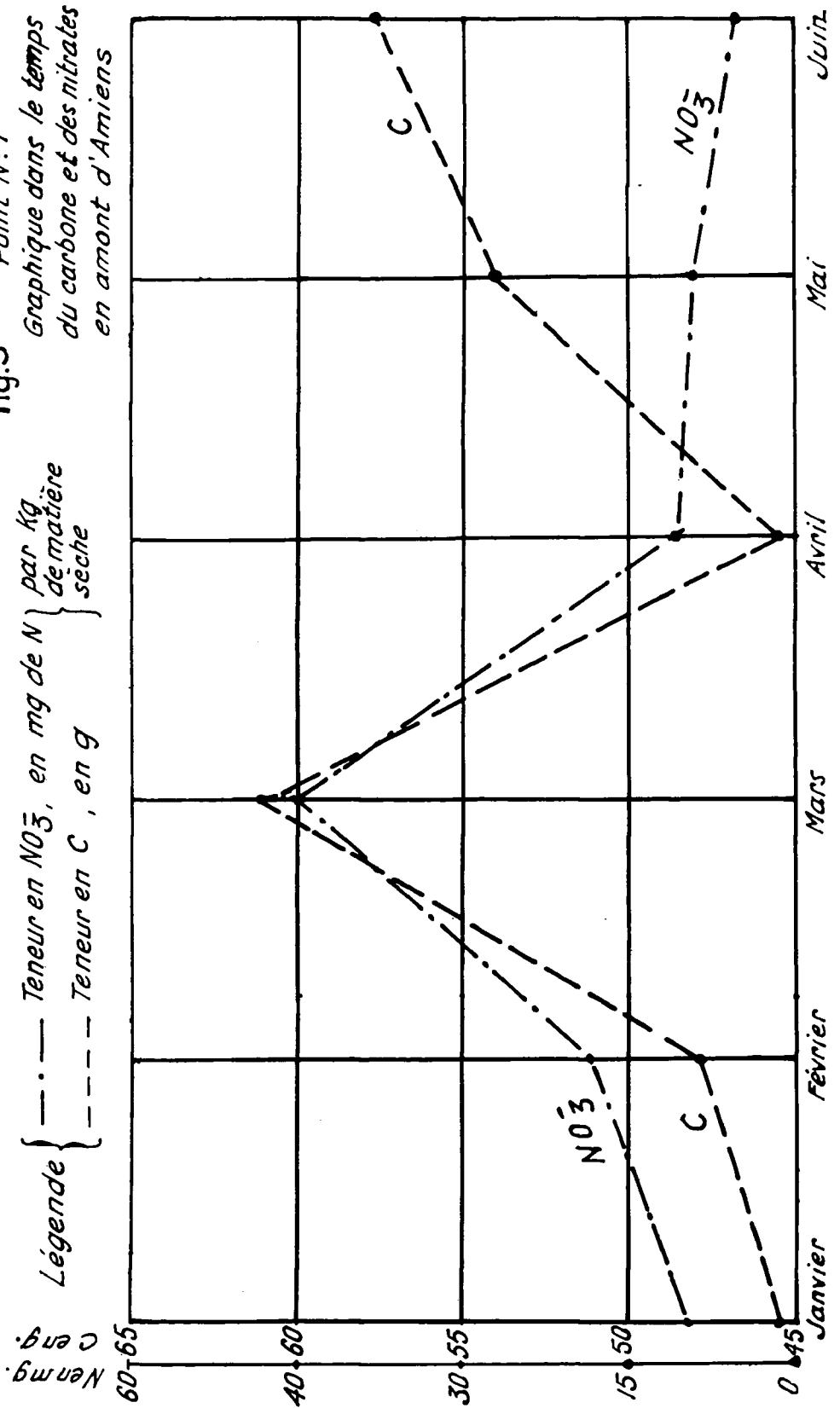
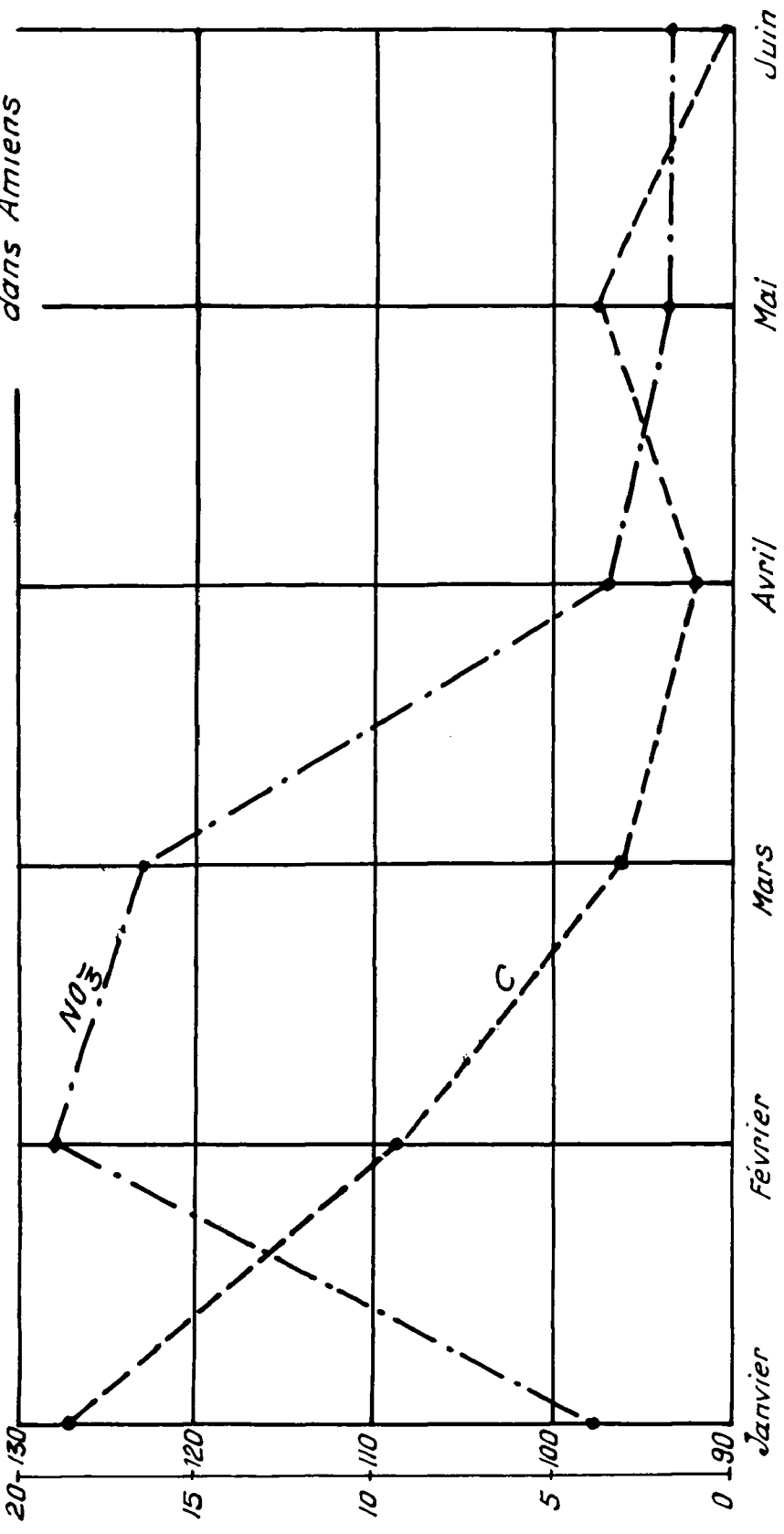
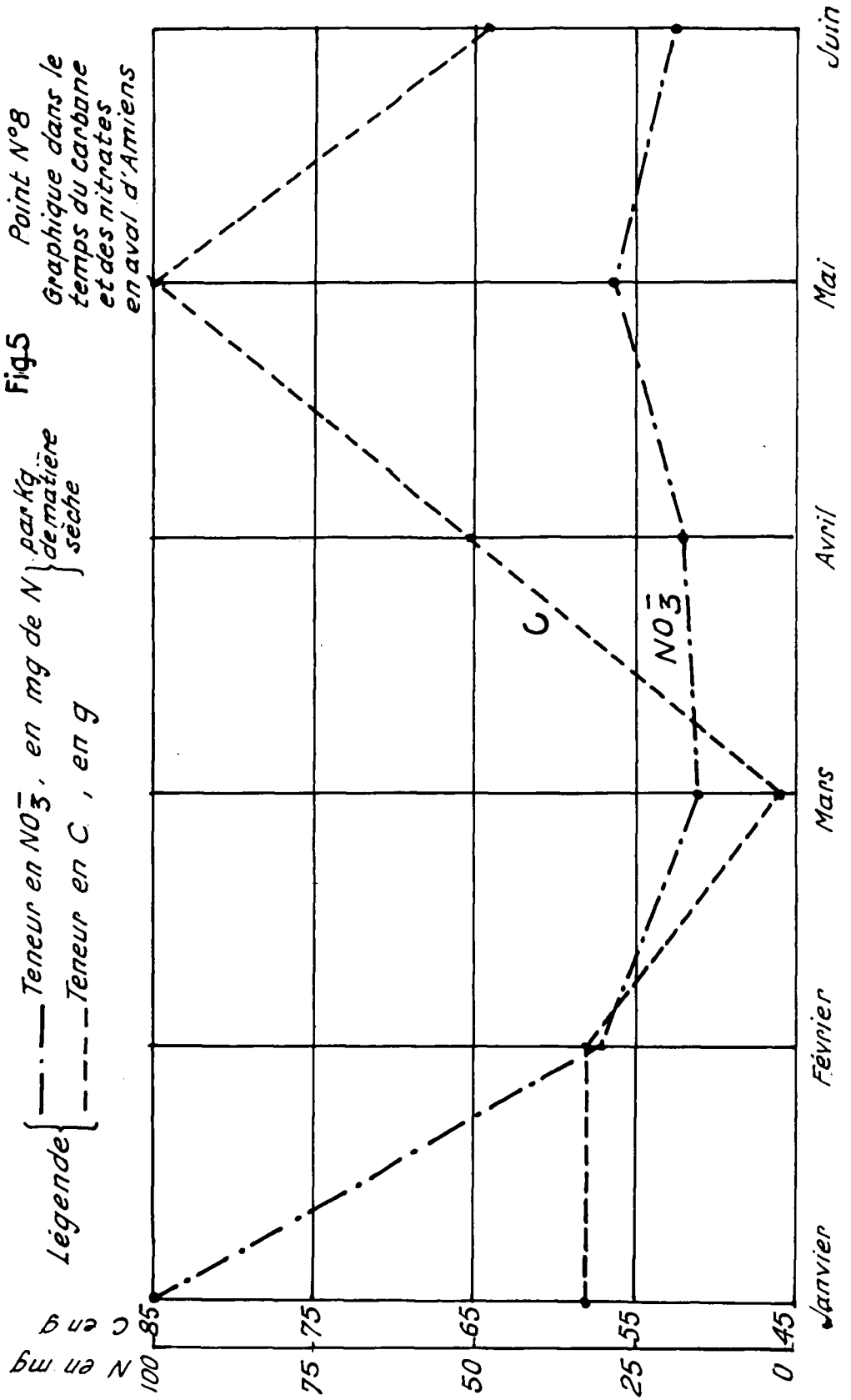


Fig.4 Point N°4
Graphique dans le temps
du carbone et des nitrates
dans Amiens

Teneur en NO_3^- , en mg de N } par kg
de matière }
sèche }
Teneur en C, en g.

Légende {
-.-.-- NO_3^-
- - - - C





sans apport nouveau de matières organiques, les nitrites tendront à disparaître. Mais, d'autre part, on a remarqué qu'on ne trouvait plus de nitrites dans les cours d'eau très pollués. De toute façon, la teneur en nitrites est toujours faible mais les variations en valeur relative sont plus importantes que celles des nitrates. On peut noter que la teneur en nitrites semble suivre celle des matières organiques solubles ; la concordance, à quelques exceptions près, est assez bonne.

Les teneurs en nitrites accusent une montée le long du parcours, d'autant plus nette qu'on avance dans l'été. Ceci indiquerait que la température est le facteur prédominant de formation.

NO_3^- : Variation très monotone le long d'une série ; les teneurs les plus variables sont au point 1 et proviennent des perturbations de l'eau avant Amiens ; si ces fluctuations demeurent très faibles, c'est que la transformation des substances protéiques par oxydation est une réaction lente.

Comme pour d'autres corps vus précédemment, l'augmentation de la teneur en nitrates le long de la Somme apparaît à peu près nulle. Il est donc peu probable qu'elle soit due aux égouts des villes, pour une part sensible. Quant aux nitrates préexistants, ils viendraient plutôt du lessivage des terres arables.

Le diagramme des variations en fonction du temps indique une diminution assez régulière depuis le début des essais, c'est-à-dire de janvier jusqu'en août. Comment expliquer cette diminution de la teneur en nitrates, en été ? Sans doute par leur assimilation par les végétaux : algues et plantes aquatiques supérieures de la rivière, et surtout par les plantes de couverture des terrains du bassin d'alimentation de la Somme. On sait que les nitrates des engrais ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique. On conçoit donc que, malgré une production bactériologique augmentée par effet de température en été, le taux en nitrates entraînés soit plus faible.

5. D. B. O. : variations exprimées en milligrammes d'oxygène par litre consommés en 5 jours.

Point 1 : 1,6 < D.B.O. < 5,2
Point 4 : 3 < D.B.O. < 9
Point 8 : 2,1 < D.B.O. < 5,4

En aucun point, les valeurs de D. B. O. ne sont très élevées.

* * *

Les mesures chimiques que nous venons de passer en revue, montrent au cours de l'année une croissance régulière des teneurs en éléments considérés, jusqu'à un maximum vers le milieu de l'été.

Les mesures bactériologiques mettent en évidence une croissance régulière du nombre des bactéries ammonifiantes, à partir de février où l'on observe les valeurs minima, en raison de la basse température. Les variations du nombre de bactéries sulfato-réductrices, ont une allure assez

désordonnée, avec plutôt une tendance à une baisse régulière tout au long de l'été.

Les chiffres des bactéries totales à 20 et 37° C trouvés par C. DUQUENNE, 1964, montrent également une augmentation régulière dans le courant de l'été, mais cette augmentation semble moins nette pour les *E. coli*, coliformes et streptocoques fécaux. Cet auteur a trouvé, d'une façon générale, un nombre très élevé au point 5, en aval du barrage de la Chaudière, donc une remontée brutale à partir du point 4 qui n'est pourtant distant que de 30 m. Cette remontée brutale du nombre des bactéries entre deux points aussi rapprochés, aussi bien en distance que dans le temps (2 à 3 mn en estimant la vitesse du courant), alors qu'il n'y a pas de pollution entre eux (le prélèvement d'eau étant fait ici avant le confluent de la Selle), pourrait peut-être s'expliquer par la présence de vanes : les violents remous qu'elles provoquent homogénéisent l'eau alors que, immédiatement en amont du barrage, il y a décantation des matières organiques ; il est normal que les bactéries y soient moins nombreuses.

V. — CONCLUSIONS.

Les conclusions de ce travail ont été de deux sortes :

1° A propos du phénomène objet de notre étude : les éléments examinés, quoique fragmentaires, peuvent néanmoins suffire à montrer que la pollution est surtout d'origine organique ; elle est relativement peu importante et se trouve vite neutralisée après 15 km de parcours.

2° A propos des travaux futurs, dans l'état actuel de nos connaissances, ce travail a montré que les critères chimiques sont les plus fidèles pour aboutir à une évaluation correcte de la pollution ; en effet, l'étude comparative bactériologique n'apporte que peu de renseignements intéressants ; les chiffres obtenus pour le nombre des germes ammonifiants et sulfatoréducteurs sont souvent discordants avec ceux de la chimie ; il serait peut-être plus rationnel de fonder les mesures bactériologiques, non plus sur des nombres absolus de bactéries, mais sur des mesures quantitatives chimiques des activités bactériennes, dans des conditions de dilution, de composition de milieu et de température bien définies.

Il aurait été intéressant de faire l'étude de l'auto-épuration en suivant le courant du fleuve : la comparaison simultanée du taux de saturation en oxygène, de l'oxydabilité, de la D. B. O. et des examens bactériologiques permettent de construire ce qu'il est convenu d'appeler « la courbe en sac » qui constitue la meilleure représentation de la capacité d'auto-épuration. Malheureusement, cette méthode de travail demande un matériel et un personnel plus importants que ceux dont nous disposons car les analyses, tant chimiques que bactériologiques, doivent être entreprises aussitôt après le prélèvement, l'évolution biochimique des eaux étant très rapide.

RÉSUMÉ

Une étude à la fois bactériologique et chimique a été entreprise dans le courant de l'année 1965 sur la Somme ; 9 points de prélèvements ont été choisis, en amont et en aval d'Amiens, sur une distance d'environ quinze kilomètres.

On a observé un parallèle entre les teneurs en carbone, soufre et azote total de la vase et les valeurs d'oxydabilité et de D. B. O. de l'eau surnageante.

La pollution provoquée par la ville d'Amiens se manifeste par l'augmentation du taux de NH_4^+ dans la vase, alors que, grâce au courant, cet ion n'apparaît pas en quantité appréciable dans l'eau. On peut conclure que 15 km après Amiens l'auto-épuration a joué son rôle.

D'une façon générale, ce travail montre que, dans l'état actuel de nos connaissances, les critères chimiques sont plus fidèles et plus précis que les critères bactériologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- C. DUQUENNE. — 1964, D. E. S. Sciences Naturelles, Faculté des Sciences de Lille (polycopié).
-