

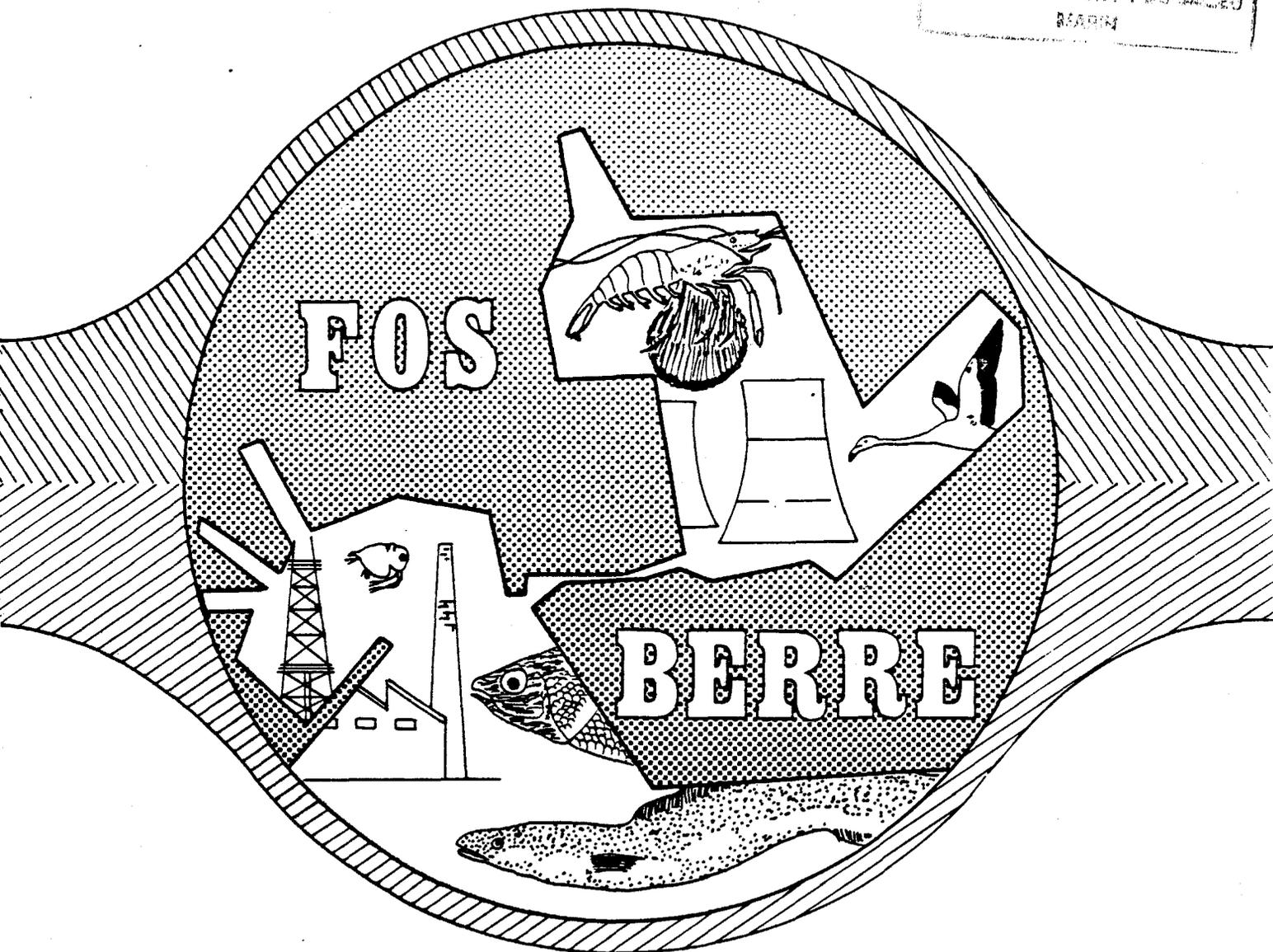
ETUDE REGIONALE INTEGREE

Etang de Berre

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARI

Etude des Apports limniques [Canaux et Rivières]

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARI



LABORATOIRE DE GEOLOGIE MARINE ET SEDIMENTOLOGIE APPLIQUEE
FACULTE DES SCIENCES DE LUMINY

SERVICE REGIONAL D'AMENAGEMENT DES EAUX · REGION "PACA"

SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE · FACULTE de PHARMACIE de MARSEILLE



JUILLET 1985

Direction de l'Environnement et des Recherches Océaniques
Département Environnement Littoral · Centre de Toulon

S O M M A I R E

PROLOGUE

CHAPITRE I - INTRODUCTION ET METHODOLOGIE

- I.1 Cadre de l'étude
- I.2 But de l'étude
 - I.2.1 Les apports liquides
 - I.2.2 Les apports solides
 - I.2.3 La qualité des eaux
 - I.2.4 Les polluants organiques et métalliques
 - I.2.5 Les paramètres analysés
- I.3 Méthodologie
 - I.3.1 Protocole de prélèvements
 - I.3.2 Matériel de prélèvement

CHAPITRE II - L'HYDROLOGIE

- II.1 Hydrographie des cours d'eau
- II.2 Méthodologie
- II.3 Résultats hydrologiques

CHAPITRE III - LA SEDIMENTOLOGIE

- III.1 Méthodologie analytique
 - III.1.1 Granulométrie du matériel particulaire en suspension
 - III.1.2 Minéralogie de la fraction argileuse
 - III.1.3 Traitement statistique des données
- III.2 Analyse des résultats
 - III.2.1 L'arc
 - III.2.1.1 Granulométrie du MPS
 - III.2.1.A L'arc au pont de Mauran
 - III.2.1.B L'arc au canal de Gordes
 - III.2.1.2 Minéralogie des argiles
 - III.2.1.A L'arc au pont de Mauran
 - III.2.1.B L'arc au canal de Gordes

- III.2.2 La Touloubre
 - III.2.2.1 Granulométrie du MPS
 - III.2.2.2 Minéralogie des argiles
 - III.2.3 La Cadière
 - III.2.3.1 Granulométrie du MPS
 - III.2.3.2 Minéralogie du MPS
 - III.2.4 La galerie de communication Etang de Berre -
Etang de l'Olivier
 - III.2.4.1 Granulométrie du MPS
 - III.2.5 Le canal EDF à Saint-Chamas
 - III.2.5.1 Granulométrie du MPS
 - III.2.5.2 Minéralogie des argiles
- CONCLUSION

CHAPITRE IV - LA QUALITE DES EAUX

- IV.1 Méthodologie analytique
 - IV.1.1 Sur le site
 - IV.1.2 En laboratoire
- IV.2 Analyse critique des résultats
 - IV.2.1 L'arc
 - IV.2.1.1 Données générales
 - IV.2.1.1.1 Rejets urbains
 - IV.2.1.1.2 Rejets industriels
 - IV.2.1.2 L'arc à Mauran
 - IV.2.1.2.1 Concentrations
 - IV.2.1.2.2 Notions de flux
 - IV.2.1.3 Arc canal de Gordes
 - IV.2.1.3.1 Concentrations
 - IV.2.1.3.2 Notions de flux
 - IV.2.1.3.3 Remarques
 - IV.2.2 La Touloubre à Saint-Chamas
 - IV.2.2.1 Situation
 - IV.2.2.1.1 Cadre général
 - IV.2.2.1.2 Rejets urbains
 - IV.2.2.1.3 Rejets industriels
 - IV.2.2.2 Examen des teneurs
 - IV.2.2.3 Notions de flux

- IV.2.3 La Cadière à l'aval de Marignane
 - IV.2.3.1 Données générales
 - IV.2.3.1.1 Situation
 - IV.2.3.1.2 Rejets urbains
 - IV.2.3.1.3 Rejets industriels
 - IV.2.3.2 Concentrations
 - IV.2.3.2.1 Hors pluie
 - IV.2.3.2.2 Episodes pluvieux
 - IV.2.3.3 Notions de flux
 - IV.2.3.3.1 La Tarage des flux en fonction du débit
 - IV.2.3.3.2 La comparaison des pourcentages mensuels
 - IV.2.3.3.3 Cas des crues
- IV.2.4 Galerie pluviale de l'Olivier
 - IV.2.4.1 Situation
 - IV.2.4.2 Analyse des données physico-chimiques
 - IV.2.4.2.1 Concentrations
 - IV.2.4.2.2 Notions de flux
- IV.2.5 Le canal EDF
 - IV.2.5.1 Généralités
 - IV.2.5.2 Analyse des résultats
 - IV.2.5.2.1 Les apports liquides
 - IV.2.5.2.2 Les apports solides
 - IV.2.5.2.2.1 Les matières en suspension, évolution des concentrations
 - IV.2.5.2.2.2 Estimation des apports annuels
 - IV.2.5.2.3 Les caractéristiques physico-chimiques
 - IV.2.5.2.3.1 Les paramètres hydrologiques
 - IV.2.5.2.3.2 Les paramètres hydrobiologiques
 - IV.2.5.3 Conclusions sur les apports EDF
- IV.3 Conclusion
 - IV.3.1 Les apports hors canal EDF
 - IV.3.2 L'ensemble des apports limniques

CHAPITRE V - LES APPORTS POLLUANTS

V.1 Cadre de l'étude

V.1.1 Choix des polluants

V.1.2 Lieux des prélèvements

V.2 Méthodologie

V.2.1 Prélèvements

V.2.2 Calendrier des prélèvements

V.2.3 Méthodes analytiques

V.2.4 Résultats

V.3 Calcul des flux de pollution

V.3.1 Cas des cours d'eau

V.3.2 Cas des aménées artificielles

V.4 Commentaires

CHAPITRE VI - CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

P R O L O G U E

— Ce rapport présente les résultats obtenus lors d'un programme d'études destinées à évaluer les apports liquides, solides et polluants introduits dans l'étang de Berre, du fait du réseau hydrographique local.—

Cette évaluation qui a porté sur un cycle annuel, a été réalisée avec la collaboration des organismes suivants :

- le Service Régional de l'Aménagement des Eaux (S.R.A.E.), service spécial du bassin de la Durance, chargé de l'évaluation des apports liquides et des paramètres de qualité des eaux pour toute les rivières sauf la Durance
- la Société du Canal de Provence (S.C.P.) qui a développé le même programme d'analyses sur le canal usinier de la Durance
- la Station Marine d'Endoume-Luminy (S.M.E.L.), centre d'océanologie de Marseille, qui a été chargé de l'évaluation qualitative et quantitative des apports sédimentaires
- le Laboratoire d'Hydrologie (L.H.) de la Faculté de Pharmacie de Marseille, qui a été chargé d'évaluer les flux polluants sur tous les cours d'eau

Les personnes ayant participé à cette étude sont :

- A. ARNOUX, professeur, L.H.
- S. GACHELIN, ingénieur, S.R.A.E.
- J.P. MORI, ingénieur, S.C.P.
- S. PHILIPPE-LOEILLET, chercheur, S.M.E.L.
- F. POULAILLON, ingénieur, S.R.A.E.

sous la responsabilité de L.A. ROMANA, IFREMER

CHAPITRE I

INTRODUCTION ET METHODOLOGIE

I - INTRODUCTION ET METHODOLOGIE

I.1 Cadre de l'étude

La zone de l'étang de Berre a subi de profondes transformations au cours des 20 dernières années :

- augmentation de population (urbanisation)
- aménagement hydroélectrique de la Durance
- transformation des activités et du paysage industriel des bassins versants connexes

Toutes ces mutations ont eu pour effet de modifier la nature et les modalités des différents apports, notamment fluviaux.

Les riverains, et en particulier, les pêcheurs professionnels ont assisté à un changement progressif de la qualité des eaux de l'étang de Berre.

En effet, la présence de polluants minéraux et organiques dans l'étang de Berre trouve une partie de son origine dans les rejets industriels et urbains directs, mais aussi dans les apports des cours d'eau et canaux qui y aboutissent.

Les apports atmosphériques doivent aussi contribuer pour une part non négligeable.

Dès 1971, afin de préserver le milieu naturel contre les différents types de pollution engendrés par ce développement rapide, une action concertée entre les administrations, les scientifiques, les élus et les usagers, s'est mise en place sous l'égide du Secrétariat Permanent pour les Problèmes de Pollution Industrielle (S.P.P.P.I.).

Le S.P.P.P.I. avait comme mission principale de promouvoir la réduction des flux polluants d'origine industrielle.

Quatre polluants majeurs ont fait l'objet d'un effort particulièrement important dont le taux d'abattement (état 1984) est présenté dans le tableau ci-dessous.

| | DEBIT D'EAUX POLLUEES (M ³ /JOUR) | M.E.S.T. (KG/JOUR) | D.C.O. (KG/JOUR) | HYDROCARBURES (KG/JOUR) | PHENOLS (KG/JOUR) |
|---|--|-----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| FLUX REJETES PAR LES USINES ANCIENNES 1ER SEMESTRE 1984 | 69 000 | 4 100 | 10 700 | 380 | 10 |
| REFERENCE 1972 - 1973 | - | 85 000 | 180 000 | 6 400 | 228 |
| Taux d'abattement en % | - | 95,1 | 94 | 94 | 95,6 |
| FLUX REJETES PAR LES NOUVELLES USINES 1ER SEMESTRE 1984 | 26 000 | 450 | 1 920 | 100 | 1 |
| REFERENCE 1983 | 29 920 | 382 | 1 813 | 77 | 1 |

(SPPPI, déc. 1984)

Les résultats globaux précédents concernent les moyennes des mesures effectuées dans le cadre de l'autosurveillance pour l'année 1983. Le premier semestre de l'année 1984 étant écoulé, on peut également apprécier la tendance des rejets de pollution en 1984.

L'Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, en collaboration avec la Mission pour l'Aménagement de l'Étang de Berre (MAEB), a développé, pendant la même période, un programme complémentaire de réduction des flux polluants d'origine urbaine, par la mise en place d'une première ceinture de collecte et de traitement autour de l'étang de Berre.

Si les deux premières sources de pollution ont fait l'objet d'une réduction assez spectaculaire, sur certains paramètres, il en n'est pas de même avec les autres, en particulier ceux véhiculés par le vaste réseau hydrographique aboutissant à l'étang de Berre.

En effet, l'étude des eaux et des sédiments de l'étang de Berre montre que la pollution apportée par ces affluents est loin d'être négligeable et contribue encore, pour une bonne partie, à la contamination du milieu. Cependant, aucune étude d'envergure ne permet d'établir un bilan de cette contribution et de l'impact réel de chaque arrivée d'eau douce sur l'étang.

Une bonne gestion dans la réduction des apports polluants passe par une évaluation et une quantification globale des sources polluantes.

Par ailleurs, le choix des paramètres à réduire doit uniquement dépendre de leur importance pour le milieu. Ceci est la raison pour laquelle l'IFREMER a entrepris, dans le cadre d'un programme régional intégré plus vaste, d'évaluer pendant une période d'un an, les apports limniques globaux (canaux et rivières) aboutissant à l'étang de Berre.

I.2 But de l'étude

Si une part essentielle et dominante revient au déversement massif, mais erratique, du canal usinier de Saint-Chamas, on ne peut tenir pour négligeable les quantités d'eau et de matériel particulaire apportées par les autres vecteurs c'est-à-dire l'Arc, la Touloubre mais aussi le canal de Craponne dans le nord de l'étang et le ruisseau de la Cadière apportant sa pollution dans l'étang de Bolmon, situé au sud de l'étang de Berre.

Il nous a semblé donc nécessaire, dans un premier temps, de procéder à une estimation de ces flux en effectuant des séries de prélèvements continus sur chacun des 5 affluents envisagés, dans différentes conditions de débit et de turbidité des eaux, en particulier en période de flot d'orage.

Quatre grands ensembles de mesures ont fait l'objet d'études spécifiques et qui seront présentés dans le cadre des prochains chapitres :

- les apports liquides (chapitre II)
- les apports solides (chapitre III)
- les paramètres de qualité des eaux (chapitre IV)
- les apports en polluants organiques et minéraux (chapitre V)

Nous nous sommes proposés, outre l'identification des principaux paramètres polluants véhiculés par les rivières et canaux, d'interpréter la façon dont ces flux sont répartis, transportés et éventuellement transformés avant d'être injectés dans l'étang. Une évaluation des apports annuels devrait compléter cette approche.

I.2.1 Les apports liquides

Paramètre capital pour l'évaluation des flux, l'étude des débits a fait l'objet d'une attention particulière. Six limnigraphes ont été placés dans le pourtour de l'étang de Berre. Ils complètent des limnigraphes permanents placés généralement très en amont des embouchures des rivières.

Ces six limnigraphes ont été mis en place et surveillés par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux du Ministère de l'Agriculture.

I.2.2 Les apports solides

Les polluants étudiés pouvant être transportés aussi sous forme particulaire, il était primordial d'étudier les apports solides soit organiques, soit inorganiques.

Par ailleurs, l'analyse de la qualité minéralogique et granulométrique des sédiments doit permettre de comprendre :

- le comportement et le devenir des apports solides dans l'étang de Berre
- la forme particulaire ou dissoute du flux polluant

C'est le S.R.A.E. (Service Régional de l'Aménagement des Eaux du Ministère de l'Agriculture) qui a été chargé de piloter et de coordonner cette partie du programme ainsi que le programme Qualité des eaux.

Le Laboratoire de Sédimentologie, au Centre Océanologique de Marseille, a pris en charge l'analyse et le dépouillement des données sédimentaires.

I.2.3 La qualité des eaux

Afin de mieux cerner quels sont les paramètres véritablement impliqués :

- d'une part dans la disparition de l'oxygène dans le fond des étangs (Berre et Olivier)
- d'autre part, dans les "blooms" saisonniers d'algues unicellulaires,

il a semblé nécessaire d'étudier préférentiellement :

- . les apports de matières minérales et organiques appartenant à la fraction particulaire et dissoute
- . les apports de matières oxydables

c'est-à-dire de mieux approfondir les notions de matières nutritives et de consommation d'oxygène

La surveillance régulière des flux hydriques naturels permettra en effet de caler les mesures ponctuelles mais aussi de mieux appréhender les apports de crues, jusque là peu étudiés du point de vue de la qualité des eaux.

En plus de l'évaluation des flux, nous nous attacherons aux sujets particuliers suivants :

- les bouffées de pollution organique urbaine,
- les problèmes de lessivage dûs aux crues ou à la modulation artificielle des débits,
- accessoirement, la pollution d'origine agricole, qui est très difficile à cerner car diffuse, dépendante du fonctionnement des canaux ou des irrigations et mêlée aux autres, notamment difficilement dissociable du "bruit de fond" naturel de chaque bassin versant.

La qualité des eaux a été étudiée conjointement par la Société du Canal de Provence (canal EDF) et le SRAE (autres apports limniques).

1.2.4 Les polluants organiques et métalliques

Comme nous le verrons au chapitre V, nous nous sommes trouvés confrontés à 2 problèmes majeurs :

- le choix des polluants représentatifs devant la nécessité pratique de limiter le nombre de constituants chimiques à rechercher,
- la mise au point d'une technologie d'échantillonnage adaptée au problème (volumes importants d'eau) qui a motivé un déphasage dans le temps entre l'étude de ces polluants particuliers et la recherche des autres paramètres.

C'est le Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Marseille qui a procédé aux prélèvements et analyses des différents polluants qui ont été choisis.

1.2.5 Les paramètres analysés

Le tableau ci-après fait le point sur les paramètres qui ont été mesurés sur un cycle annuel.

La distinction est faite quand les analyses ont porté sur la phase particulaire ou dissoute.

| PARAMETRE | DISSOUS | PARTICULAIRE | TOTAL | AUTRES |
|--------------------------------------|---------|--------------|-------|--------|
| Débit liquide | | | | X |
| Température de l'eau | | | | X |
| Température de l'air | | | | X |
| Conductivité électrique | X | | | |
| pH | X | | | |
| Oxygène dissous | X | | | |
| Matières en suspension | | X | | |
| Matières en suspension organiques | | X | | |
| Granulométrie | | X | | |
| Minéralogie de la fraction argileuse | | X | | |
| Azote organique | X | | | |
| Azote ammoniacal | X | | | |
| Azote nitreux | X | | | |
| Azote nitrique | X | | | |
| Orthophosphates | X | | | |
| Phosphore total | | | X | |
| Silice | X | | | |
| DCO | | | X | |
| DBO5 carbonée | | | X | |
| DBO5 totale | | | X | |
| Mercure | X | | X | |
| Plomb | X | | X | |
| Cadmium | X | | X | |
| Polychlorobphényles | X | | X | |

1.3 Méthodologie

1.3.1 Protocole de prélèvements

Pour chaque station d'étude retenue, la stratégie d'échantillonnage prévue sur un cycle annuel était la suivante :

- . un prélèvement mensuel ponctuel
- . une opération "bilan de 24 h" au choix au cours de l'année, pour mettre en évidence d'éventuelles et importantes variations journalières
- . une intervention en continu sur 7 jours pour rassembler des informations hebdomadaires et confronter les données sur une série successive homogène
- . des prélèvements occasionnels en cas de crue.

Les prélèvements ponctuels ont été effectués les mêmes jours mais de façon purement aléatoire.

Les bilans de 24 h sont généralement intervenus en période calme (sauf une fois en mai 84 pour la Touloubre), ce qui permet d'envisager une appréciation de l'amplitude des flux de pollution urbains.

En ce qui concerne les échantillonnages d'une semaine, on notera que :

- le hasard a voulu que ceux-ci coïncident avec des périodes pluvieuses sanctionnées par des crues d'importance faible à moyenne et relativement courtes et rapides, notamment pour l'Arc, la Touloubre et le canal EDF
- pour des raisons de temps et de défaut d'utilisation d'un matériel déjà mobilisé sur les autres sites, la Cadière et la galerie de l'Olivier n'ont pu être concernées par le même épisode pluvieux.

Sur ces deux points, les interventions hebdomadaires ont donc dû être programmées par temps sec.

Un pic de crue a cependant été saisi sur la Cadière le 16 mai 1984, mais c'est le seul renseignement dont on dispose sur ce petit cours d'eau.

A noter enfin que durant l'intervention sur la galerie de l'Olivier, le sens d'écoulement est obstinément et malheureusement resté dans la Direction Berre - Olivier.

Les fréquents renversements de courant observés entre les deux étangs font que les résultats du cycle annuel n'ont pu être que partiellement exploités d'où une extrapolation problématique.

I.3.2 - Matériel de prélèvement - Pour les bilans de 24 h et les interventions de longue durée (7 jours consécutifs) deux types d'échantillonneurs ont été utilisés :

I.3.2.1 Des échantillonneurs ISCO 1680 - Les appareils se composent d'une pompe avec tuyau et crépine d'aspiration, d'une couronne de répartition, d'un bac collecteur à bidon unique (10 l) ou à 24 flacons (volume 1,5 l) et d'un coffret de commande. Ces organes sont montés par sections, dans un carter compact et le tout fonctionne sur batterie (12 V).

Le coffret de commande permet un échantillonnage séquentiel et intermittent. Les volumes prélevés et leur périodicité répondent à un programme préaffiché : les fractions (d'un volume de 0,37 l) ont généralement été prélevées tous les quarts d'heure.

La phase de purge par refoulement qui précède chaque échantillonnage, évite les problèmes de contamination et de sédimentation.

La présentation en matériaux relativement isothermes minimise l'évolution possible des échantillons.

I.3.2.2 Des échantillonneurs NORTH-HANTS d'un principe totalement différent.

Chaque appareil comprend un faisceau de tuyaux avec crépine commune, relié à une boîte de répartition.

Chaque tubulure est repérée et reliée à un flacon verre placé dans un panier.

Avant chaque mise en place, le vide est fait dans les 24 flacons, par pompe manuelle. Les tuyaux sont pincés et s'ouvrent toutes les heures ; la libération est effectuée par une came reliée à un système d'horlogerie mécanique.

Toutes les heures, un litre d'eau est ainsi aspiré. Ce système de préleveur automatique, critiquable sur le plan de la programmation, a par contre l'avantage d'être autonome, simple et de ne nécessiter ni purge préalable, ni alimentation.

Inconvénient supplémentaire : conservation des échantillons non prévue.

La nécessité de prélever une quantité d'eau suffisante pour assurer le partage des échantillons s'est avérée telle, qu'il a fallu souvent coupler deux appareils sur le même site.

Les analyses granulométriques exigent, en effet, un minimum de 5 à 10 l d'eau, surtout lorsque les eaux sont claires.

CHAPITRE II

HYDROLOGIE

L'étang de Berre sert de débouché à toutes les rivières de son bassin versant, à des rejets de canaux agricoles et depuis 1966 au canal EDF de St Chamas issu de la Durance.

L'apport des eaux douces intéressent principalement les secteurs définis lors d'études antérieures. La zone II centrale, la zone III de dilution de l'Arc, la zone IV soumise à l'influence de la Durance et enfin la zone V face à la baie de St Chamas.

Ne pouvant appréhender toutes les venues, arrivées et rejets à cause de leur multiplicité, seuls les canaux et rivières les plus importants ou représentatifs a priori ont été choisis sur cette zone (fig. 1) :

- la Cadière à son arrivée dans l'étang de Bolmon
- l'Arc au pont de Mauran, et sur sa dérivation vers Shell (canal de Gordes)
- la Touloubre à son embouchure à St Chamas
- la galerie de jonction entre les étangs de l'Olivier et de Berre à Istres
- la Durance dérivée dans le canal EDF (usine de St Chamas)

II.1 Hydrographie des cours d'eau

L'Arc : le bassin versant de 740 km² de superficie pour une longueur de 70 km influencé par un régime méditerranéen connaît un étiage très bas, inférieur à 1 m³/s avec des crues très violentes pouvant atteindre 300 m³ (1978). Ces crues, toutefois, sont de faible durée n'excédant pas 12 h. L'Arc creuse son lit dans les calcaires blancs et les argiles rouges du Cengle puis dans les terrains fluvio-lacustres du bassin d'Aix, enfin dans les calcaires de Ventabren et les dépôts alluviaux anciens de la Fare. Cette rivière recueille en outre les effluents urbains et industriels de Gardanne et d'Aix.

La Touloubre : de bassin versant de 400 km² et de 60 km de longueur, connaît une même nature géologique que celui de l'Arc.

La Cadière : ce petit torrent draine le massif sud-ouest calcaire du Réaltor et Vitrolles, de 17 km de longueur, issu d'une source importante : l'Infernet. Cette rivière reçoit un affluent aussi important, le Raumartin. Leur régime à toutes les deux est identique à ceux de l'Arc et la Touloubre.

L'étang de l'Olivier : de 210 ha est en communication avec l'étang de Berre et en fonction de son rôle d'exutoire des canaux agricoles et du bassin urbain de la ville d'Istres, apporte des débits non négligeables, plus importants par mistral et vent d'ouest, qui augmentent la charge piézométrique due à la différence des niveaux dans deux plans d'eau.

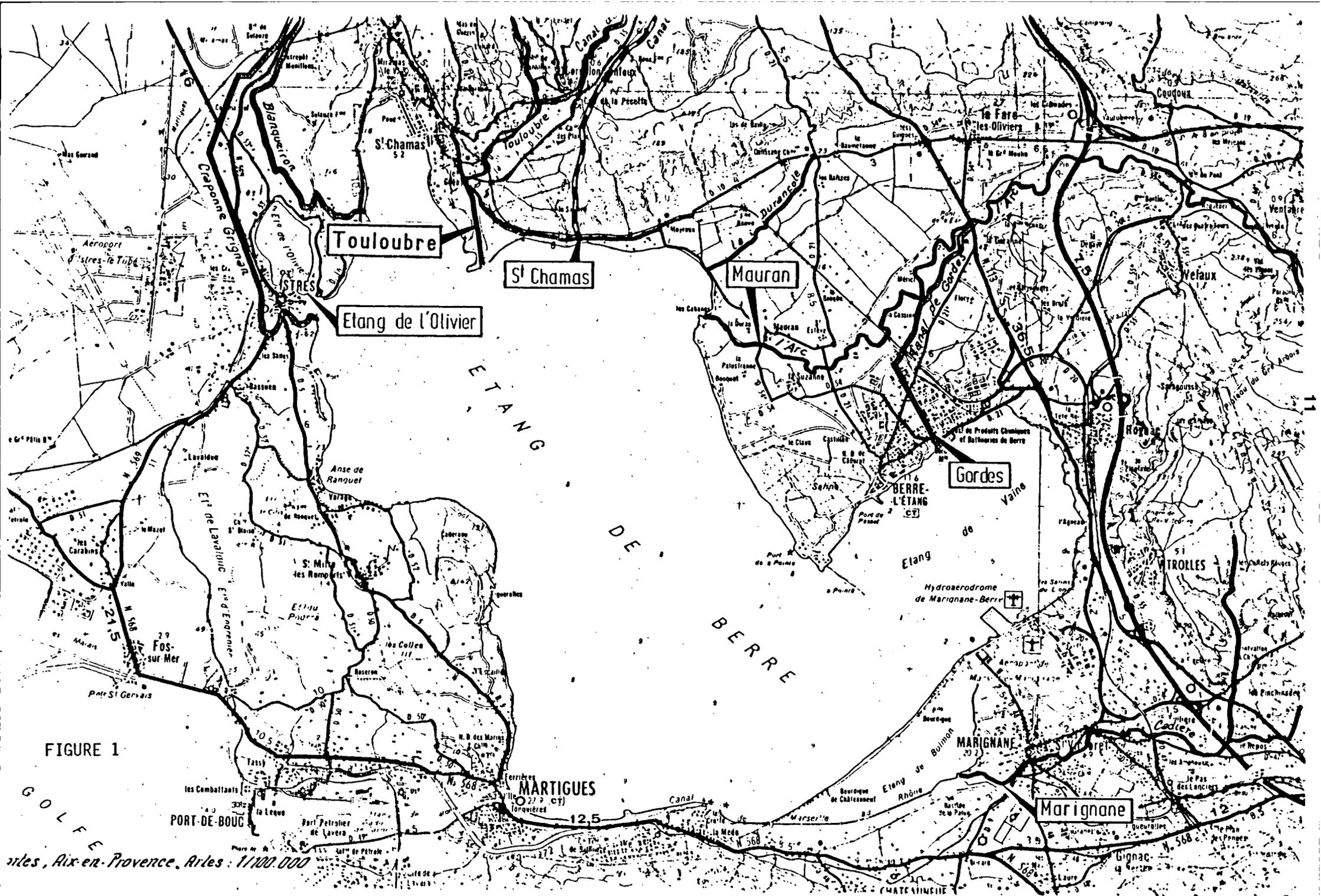


FIGURE 1

Cartes, Aix-en-Provence, Arles : 1/100 000

Enfin, la Durance par le canal EDF terminus d'un long canal de dérivation transite actuellement en moyenne 3 milliards et demi de m³.

Situation fréquentielle de l'année de mesure

Afin de mieux situer la période de mesure 1983-1984, deux tableaux de fréquence de dépassement ont été établis sur des stations de jaugeage, existantes depuis 20 ans en amont des 2 principales rivières : l'Arc et la Touloubre.

Cette fréquence de dépassement (o,n) pour la valeur de débit QM signifie que la valeur QM est atteinte ou dépasse n années sur 100 (exemple pour F = 0,30, la valeur QM est atteinte ou dépassée 30 années sur 100).

| | 1983 | | | | 1984 | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Juil | Aout |
| Arc | 0,91 | 0,57 | 0,86 | 0,43 | 0,67 | 0,80 | 0,67 | 0,64 | 0,50 | <u>0,14</u> | 0,80 | 0,67 |
| Touloubre | 0,73 | 0,81 | 0,88 | 0,69 | 0,94 | 0,94 | 0,83 | 0,81 | 0,75 | 0,44 | 0,59 | 0,24 |

Seul, le mois de juin pour l'Arc a eu une fréquence élevée 0,14, expliquée par une crue inhabituelle pour ce mois, de 13,5 m³/s, c'est dire que la période considérée est hydrologiquement très faible.

II.2 Méthodologie

Afin de mesurer le débit des rivières en continu, 6 stations de jaugeages ont été établies sur chaque cours d'eau de façon à être situées le plus près de l'étang de Berre, tout en comportant un contrôle aval afin d'éviter les influences des variations du plan d'eau de l'étang. Pour obtenir les débits, la chaîne de mesures suivante a été utilisée :

| | | | | |
|--------------|----------------------------|---|-------------------|--------------|
| Informations | Mesures des hauteurs d'eau | + | Jaugeages | Traitement |
| Résultats | Limnigrammes | | Courbes de tarage | Hydrogrammes |

Prélèvements ||| ||| | || ||| |||

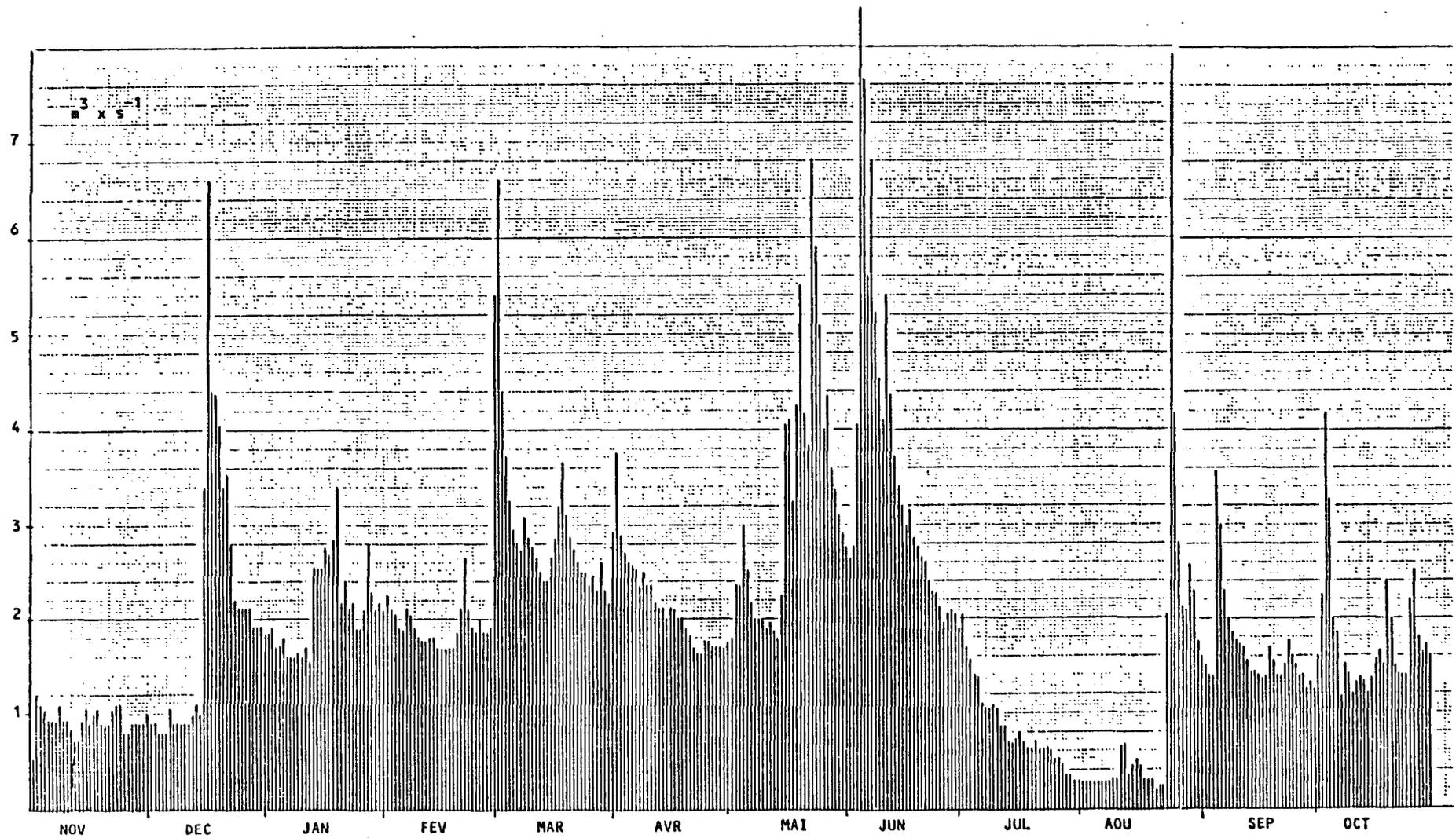


Figure 2 : Apports liquides de l'Arc au pont de Mauraan (1983-84).

Les mesures des hauteurs d'eau ont été faites par des limni-graphes à flotteurs de type DIT R 20, à table déroulante, 2 mm/heure et de 1/5 de réduction.

Les courbes de tarage ont été établies par des jaugeages effectués à différentes hauteurs. Leur établissement, malgré le choix qui semblait, lors des tournées de reconnaissances, assez judicieux, a posé différents problèmes notamment :

- pour la station de St Chamas sur la Touloubre : le contrôle constitué par un ancien pont s'est avéré peu efficace. La loi univoque F (H) n'a pu être obtenue facilement. Il a été nécessaire d'étudier corrélativement les variations du plan d'eau au niveau du marégraphe de St Chamas et d'établir une loi en fonction de la différence des 2 niveaux
- pour la station de l'Olivier, de même, la courbe a été établie à partir de la différence de niveau Δh de l'étang de Berre et de l'Olivier

II.3 Résultats hydrologiques (tableau I)

A partir de la chaîne définie ci-avant, les hydrogrammes des stations ont été réalisés et ont permis d'obtenir les tableaux de débits moyens mensuels.

| | 1983 | | | 1984 | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | OCT. | NOV. | DEC. | JANV. | FEV. | MARS | AVRIL | MAI | JUIN | JUIL | AOUT | SEPT. |
| Arc | 0.800 | 0.930 | 2.030 | 2.110 | 1.930 | 3.020 | 2.100 | 3.210 | 3.630 | 0.890 | 1.150 | 1.670 |
| Canal Gordes | 0.400 | 0.458 | 0.309 | 0.463 | 0.460 | 0.412 | 0.438 | 0.448 | 0.436 | 0.423 | 0.432 | 0.407 |
| Touloubre | 2.86 | 2.22 | 1.42 | 2.23 | 1.44 | 2.36 | 2.90 | 3.48 | 2.82 | 1.98 | 3.84 | 3.90 |
| Cadière | 0.550 | 0.722 | 0.695 | 0.675 | 1.150 | 0.956 | 1.130 | 1.030 | 0.750 | 0.845 | 0.732 | 0.786 |
| Etang Olivier | 0.265 | 0.536 | 0.416 | 0.276 | 0.186 | 0.654 | 0.567 | 0.579 | 0.666 | 0.154 | 0.258 | 0.347 |
| TOTAUX DES AP-PORTS NATURELS | 4.88 | 4.87 | 4.87 | 5.75 | 5.17 | 7.40 | 7.14 | 8.75 | 8.31 | 4.29 | 6.41 | 7.12 |
| Canal EDF | 79.34 | 144 | 149 | 139 | 158 | 118 | 95.1 | 124 | 224 | 82 | 75 | 80 |
| TOTAUX | 84 | 149 | 154 | 145 | 163 | 125 | 102 | 133 | 232 | 86 | 81 | 87 |

Les figures 2 à 6 présentent l'évolution annuelle du débit journalier pour chaque rivière.

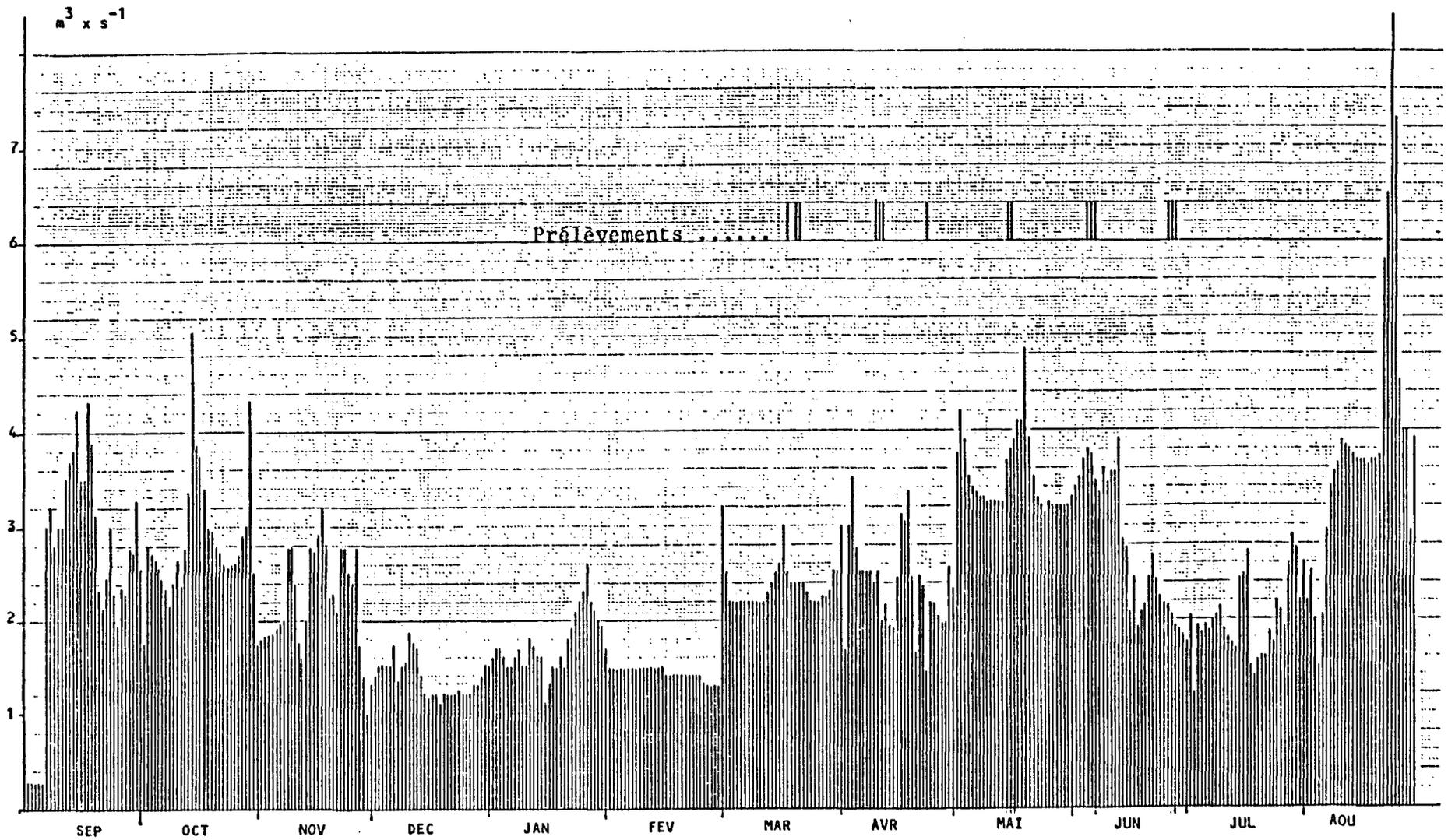


Figure 3 : Apports liquides de la TOULOUBRE (1983-84)

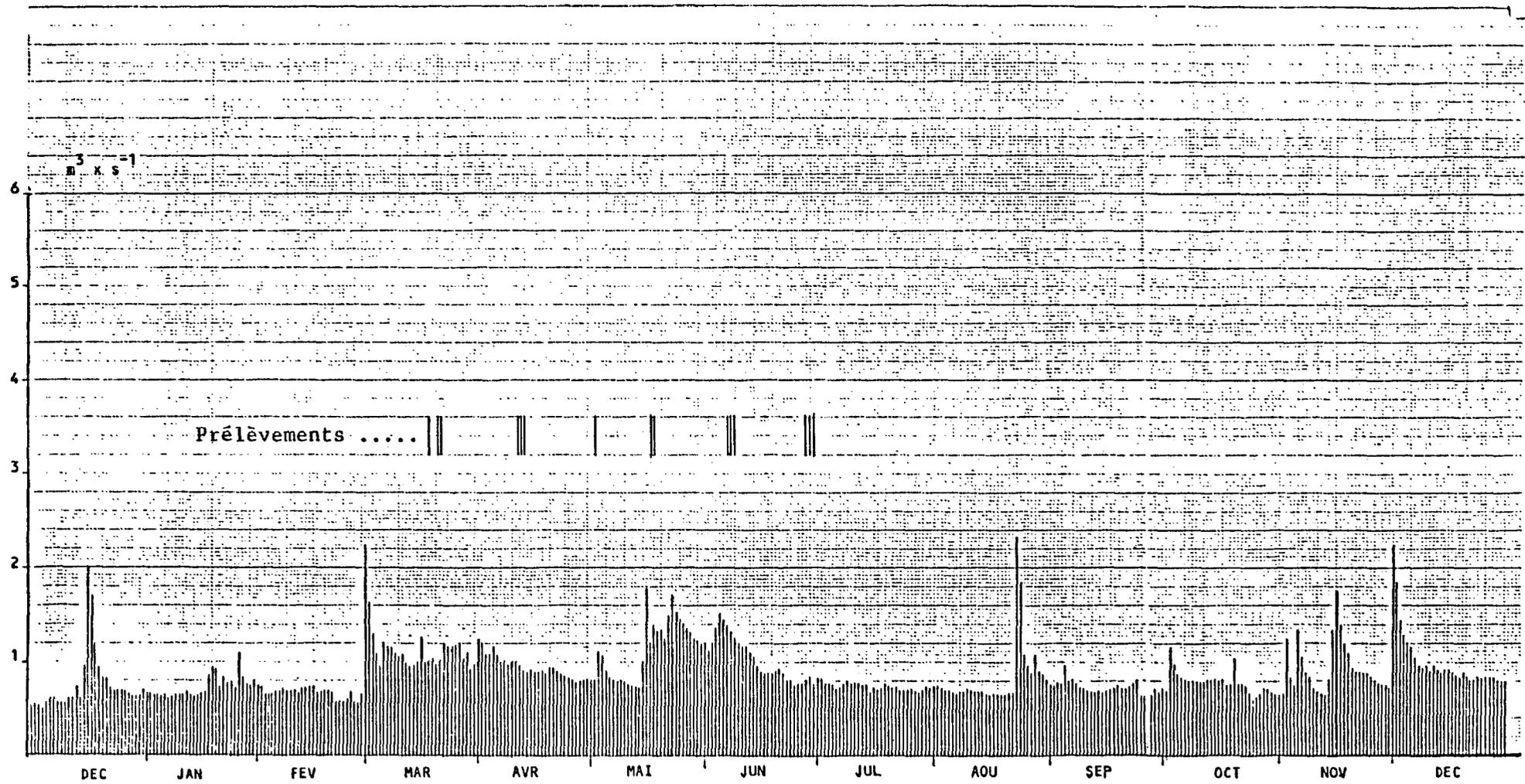


Figure 4 : Apports liquides journaliers de LA CADIERE à Marignane (1983-84).

U

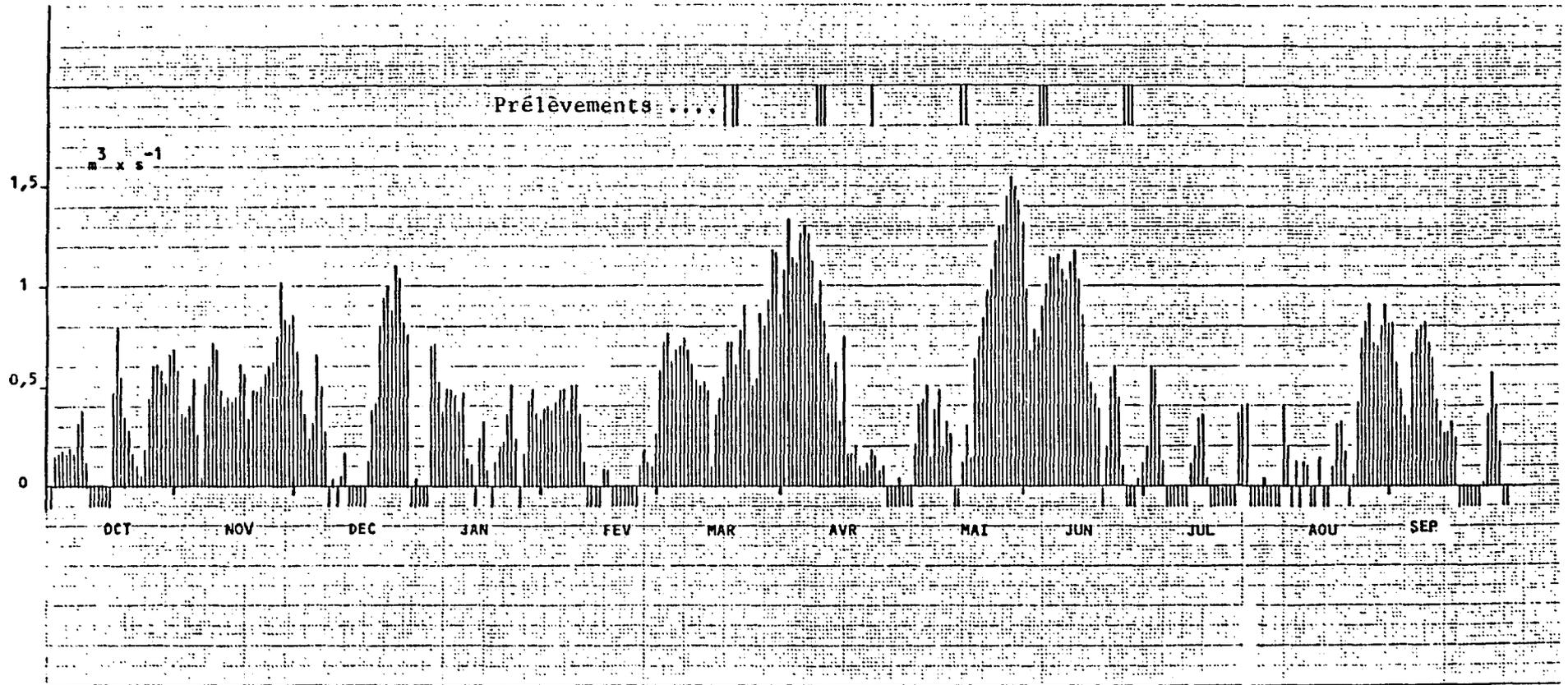


Figure 5 : CANAL DE L'OLIVIER : Apports liquides journaliers (1983-84)
 (Traits repères au dessous de l'axe des abscisses = inversion du courant vers
 l'étang de l'Olivier).

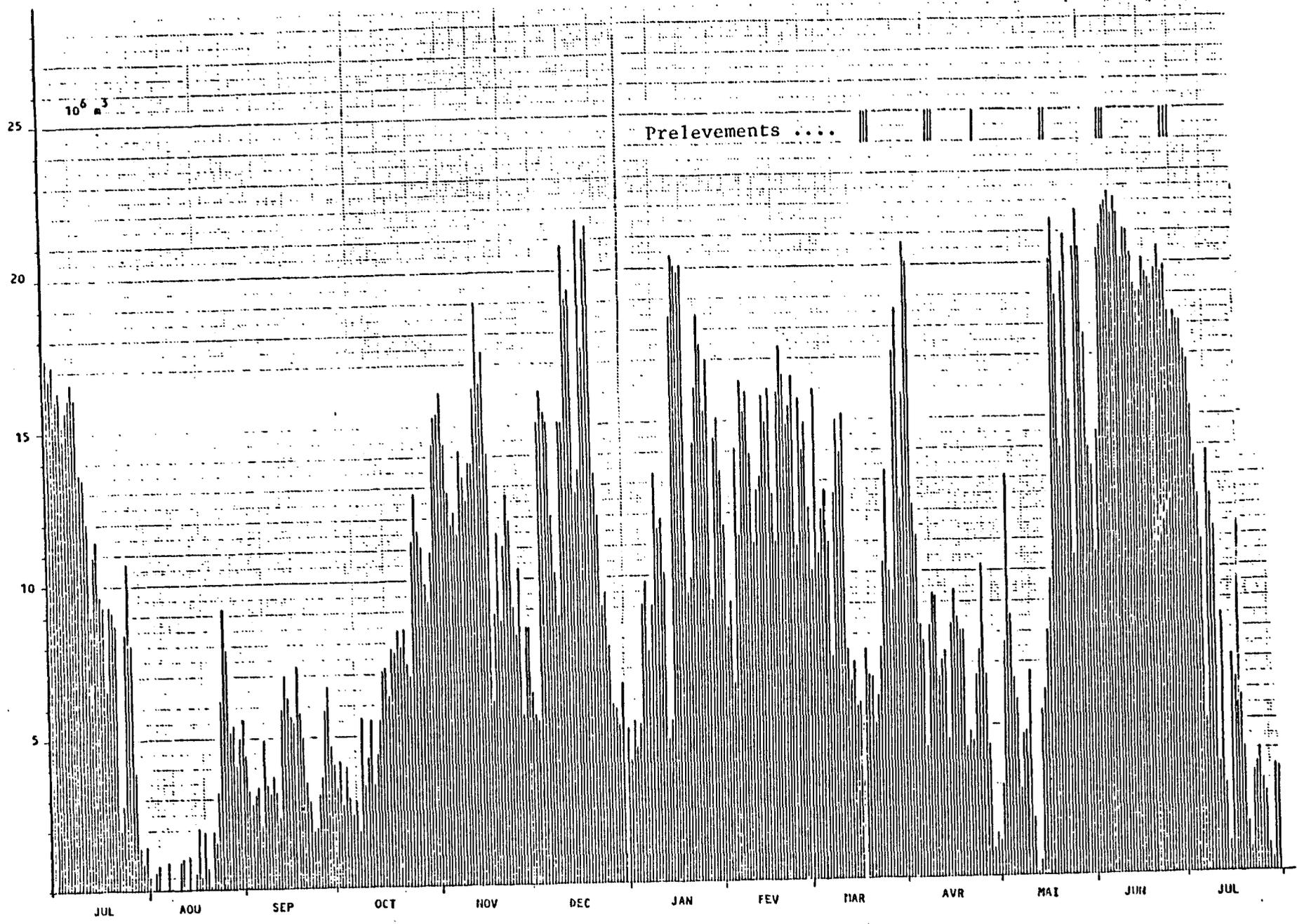


Figure 6 : Apports liquides journaliers du canal EDF (St Chamas). (1983-84).

Conclusion

Les apports du canal EDF ont donc représentés en moyenne pour cette année de mesure 122 m³/s alors que le total des débits de tous les cours d'eau des rivières n'a été que de 6,24 m³/s soit 5 % environ. Ce faible pourcentage est expliqué par l'absence des crues habituelles. En effet, la plus forte n'a été que de 13,5 m³ pour l'Arc, 1,4 m³/s pour la Cadière et 13 m³/s pour la Touloubre, le 10ème de ce qui est habituellement connu.

La fréquence de dépassement indiquée ci-avant est donc de nouveau vérifiée et en première approximation, il faudrait admettre que ces apports sont atteints ou dépassés 70 à 80 années sur 100 ($F = 0,7 - 0,8$).

CHAPITRE III

SEDIMENTOLOGIE

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

Le but de cette étude préliminaire, menée d'août 1983 à juillet 1984 en coordination avec le SRAE-Aix et la Société du Canal de Provence, est d'établir un bilan quantitatif et qualitatif des apports sédimentaires fluviaux à l'étang de Berre.

Après une brève description des techniques utilisées pour déterminer les distributions de la taille de matériel particulaire en suspension (MPS) et la nature des minéraux argileux en suspension, nous analyserons les résultats obtenus pour chacun des cinq affluents considérés, puis nous tenterons de préciser les flux solides ainsi libérés annuellement dans l'étang.

Les analyses physicochimiques (SRAE, SCP), granulométriques et minéralogiques (Laboratoire de Géologie marine, C.O.M.) ont dans tous les cas, été effectuées sur des échantillons communs.

Tableau II: ECHELLE DE MESURE UTILISEE (SHELDON, 1967)

Les classes de taille sont :

- définies par leurs bornes sup. et inf.
- nommées par leur identificateur
- caractérisées par leur diamètre moyen
- repérées par leur indice
- tracées selon le log. décimal du dm

db : diamètre aux bornes des canaux
 ID : identificateur de la classe de taille
 Ldb : Log(db)
 dm : diamètre moyen du canal
 Ldm : Log(dm)
 i(N) : indice du canal pour le tube de N um

| db | ID | Ldb | dm | Ldm | i(70) | i(200) |
|-------|----|------|-------|------|-------|--------|
| 1.00 | | 0.00 | | | | |
| 1.26 | A | 0.10 | 1.12 | 0.05 | (1) | |
| 1.58 | B | 0.20 | 1.41 | 0.15 | 2 | |
| 2.00 | C | 0.30 | 1.78 | 0.25 | 3 | |
| 2.52 | D | 0.40 | 2.24 | 0.35 | 4 | |
| 3.18 | E | 0.50 | 2.82 | 0.45 | 5 | |
| 4.00 | F | 0.60 | 3.57 | 0.55 | 6 | (1) |
| 5.04 | G | 0.70 | 4.49 | 0.65 | 7 | 2 |
| 6.34 | H | 0.80 | 5.66 | 0.75 | 8 | 3 |
| 8.00 | I | 0.90 | 7.12 | 0.85 | 9 | 4 |
| 10.10 | J | 1.00 | 8.98 | 0.95 | 10 | 5 |
| 12.7 | K | 1.10 | 11.30 | 1.05 | 11 | 6 |
| 16.00 | L | 1.20 | 14.30 | 1.15 | 12 | 7 |
| 20.20 | M | 1.30 | 18.00 | 1.25 | 13 | 8 |
| 25.4 | N | 1.40 | 22.60 | 1.35 | 14 | 9 |
| 32.0 | O | 1.50 | 28.5 | 1.45 | 15 | 10 |
| 40.3 | P | 1.60 | 35.9 | 1.55 | 16 | 11 |
| 50.8 | Q | 1.71 | 45.3 | 1.66 | | 12 |
| 64.0 | R | 1.81 | 57.0 | 1.76 | | 13 |
| 80.6 | S | 1.91 | 71.9 | 1.86 | | 14 |
| 102.0 | T | 2.01 | 90.5 | 1.96 | | 15 |

III.1 METHODOLOGIE ANALYTIQUE

Pour chaque station et pour chaque série d'échantillonnage nous avons prélevé :

- 2 piluliers de 150 cc d'eau turbide destinée au comptage des particules ;
- 1 bidon de 5 à 10 litres destiné à la détermination des minéraux argileux.

III.1.1 Granulométrie du matériel particulaire en suspension

La granulométrie du matériel particulaire en suspension (MPS) a été analysée à l'aide d'un Coulter Counter (CC) de type TAIL. Cet appareil compte et détermine le volume de particules en suspension dans un électrolyte soumis à un champ électrique par la mesure d'impulsions de tension, dont la hauteur est proportionnelle au volume de la particule qui les provoque.

Les mesures ont été effectuées à l'aide de deux sondes de diamètre 70 et 200 micromètres (μm) permettant de quantifier les particules d'une gamme de tailles comprise entre 1,26 μm et 50,8 μm .

Chaque tube (70, 200) permet un comptage sur 16 classes de taille ou canaux, numérotés de 1 (fin) à 16 (grossier). Les canaux homologues sont les canaux de différentes sondes mesurant la même classe de taille ; la transition entre les deux tubes de mesure pour obtenir un spectre particulaire unique se fera au niveau des canaux homologues (classe de taille G ou H) (Tableau V).

Les données recueillies en nombre de particules par unité de temps sont transformées en effectif particulaire par volume d'eau analysée, puis en volume de MPS exprimé en ppb ($1 \text{ ppb} : 1 \text{ mm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$). Le volume particulaire, ainsi calculé, correspond à une approximation, chaque particule étant mesurée en équivalent sphérique, quelle que soit sa forme.

Les détails concernant la configuration de l'appareil, et son fonctionnement, sont fournis par LOEILLET (Thèse, 1984).

III.1.2 Minéralogie de la fraction argileuse

La détermination de la nature des minéraux argileux et l'estimation de leurs proportions respectives sont effectuées selon les méthodes préconisées par MILLOT, PAQUET et LUCAS.

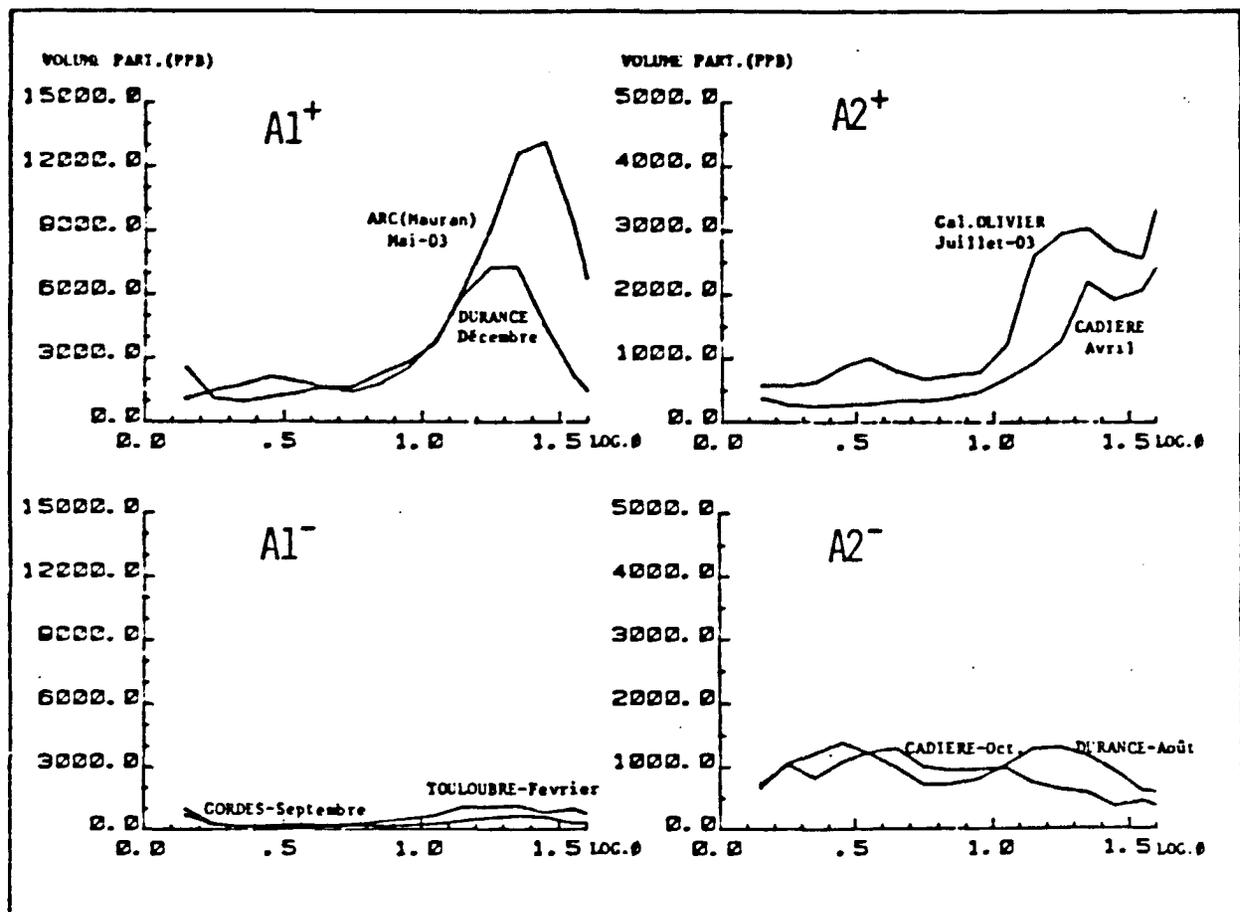
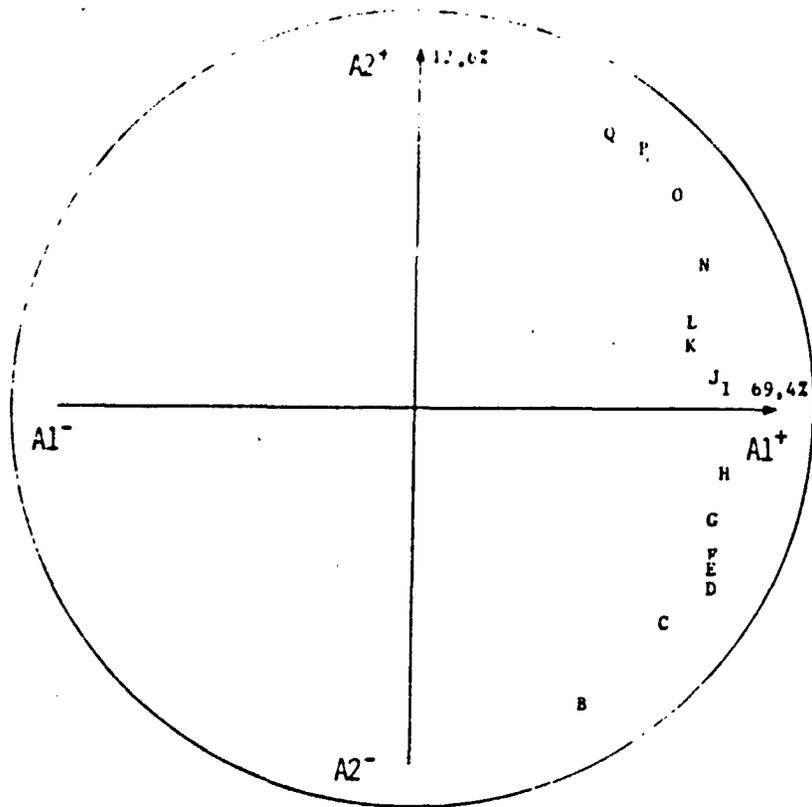


Fig. 7 : Détermination des quatre types spectraux à partir de l'ordination des variables (classes de taille) dans le premier plan factoriel.

La méthode analytique utilisée -diffractométrie de la phase minérale décalcifiée inférieure à 2 μm , à l'aide d'un diffractomètre CGR Thêta 60- nécessite une quantité importante de matériel en suspension. Or la concentration particulaire de nos échantillons étant souvent insuffisante ($< 1 \text{ g.l}^{-1}$), nous avons dû pallier à cet inconvénient :

- soit en analysant une fraction minérale plus grossière (0 à 8 μm),
- soit en effectuant les analyses directement sur le seston total recueilli sur des filtres en acétate de cellulose.

Des informations complémentaires sur les protocoles détaillés des analyses peuvent être obtenues dans un guide technique du laboratoire (CHAMLEY, 1967).

III.1.3. Traitement statistique des données

Les comptages particuliers au Coulter Counter donnent des informations sur l'abondance globale en suspensoïdes, calculée par le cumul des effectifs de chaque classe de taille, mais renseignent aussi sur la nature de la distribution du MPS.

Il nous est impossible de figurer et de commenter tous les spectres obtenus, aussi pour chaque cours d'eau avons-nous figuré cinq tracés caractéristiques d'épisodes pluvieux ou de période sèche (Fig. A.c).

Nous avons également eu recours à une analyse en composantes principales sur une matrice de corrélation calculée à partir du rang des effectifs particuliers ; cette méthode, préconisée par LOEILLET (1984), permet de caractériser des "spectres types".

Le tableau de données initiales comporte 16 classes de taille (de B à Q) décrites par 106 observations (prélèvements).

Dans le premier plan factoriel (Fig. 7) toutes les variables se positionnent à l'extrémité positive de l'axe 1, tandis que l'axe 2 oppose les plus grosses particules (canaux I à Q) du côté positif aux éléments fins du côté négatif. Cette ordination des variables permet de caractériser 4 types de spectres définis sommairement :

- A1+, beaucoup de particules et surtout des grosses
- A1-, pauvreté générale en particules
- A2+, abondance en grosses et déficit en fines
- A2-, abondance en particules fines.

Chaque station sera ainsi définie par son type spectral.

Le but final de cette étude granulométrique était d'évaluer les flux particulaires arrivant à l'étang de Berre annuellement.

Une estimation de ces flux a pu être faite à partir du volume particulaire total, toujours exprimé en ppb ($\text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$). La gamme de tailles prise en compte dans tous les calculs s'étend de $1,26 \mu\text{m}$ à $50,2 \mu\text{m}$. Les formules utilisées pour les calculs des flux journaliers (F.j) et mensuels (F.m) sont les suivantes :

$$F.j = V_p \times Q_p \times 86400$$

et

$$F.m = \frac{F.j \times Q_m}{Q_p} \times n$$

où : F.j = Flux journalier (m^3)

F.m = Flux mensuel (m^3)

Q_p = Débit liquide ponctuel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Q_m = Débit moyen mensuel ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

V_p = Volume particulaire total (ppb)

n = Nombre de jours du mois pris en compte.

Ces calculs se basent sur des prélèvements ponctuels mensuels, et l'approximation des volumes de MPS transportés mensuellement ne sera bonne que lorsque la liaison entre débit et volume particulaire est étroite. Afin de connaître l'intensité de la corrélation unissant ces deux paramètres nous effectuons un test de régression linéaire (SOKAL et RHOLF, 1969).

$$r = \frac{\text{covariance XY}}{\text{variance X}}$$

où : r = coefficient de corrélation

X = débit liquide instantané

Y = volume particulaire total.

Lorsque $r > r$ théorique pour un seuil de sécurité $\alpha = 0,1 \%$ et un nombre de degrés de liberté (D.L) donné, la liaison entre les variables X et Y est hautement significative et les estimations de flux solides constituent une bonne approximation de la réalité.

Les résultats d'ordre minéralogique n'ont fait l'objet d'aucun traitement particulier, car ils sont trop parcellaires et peu comparables du fait des différences de tailles de la fraction analysée.

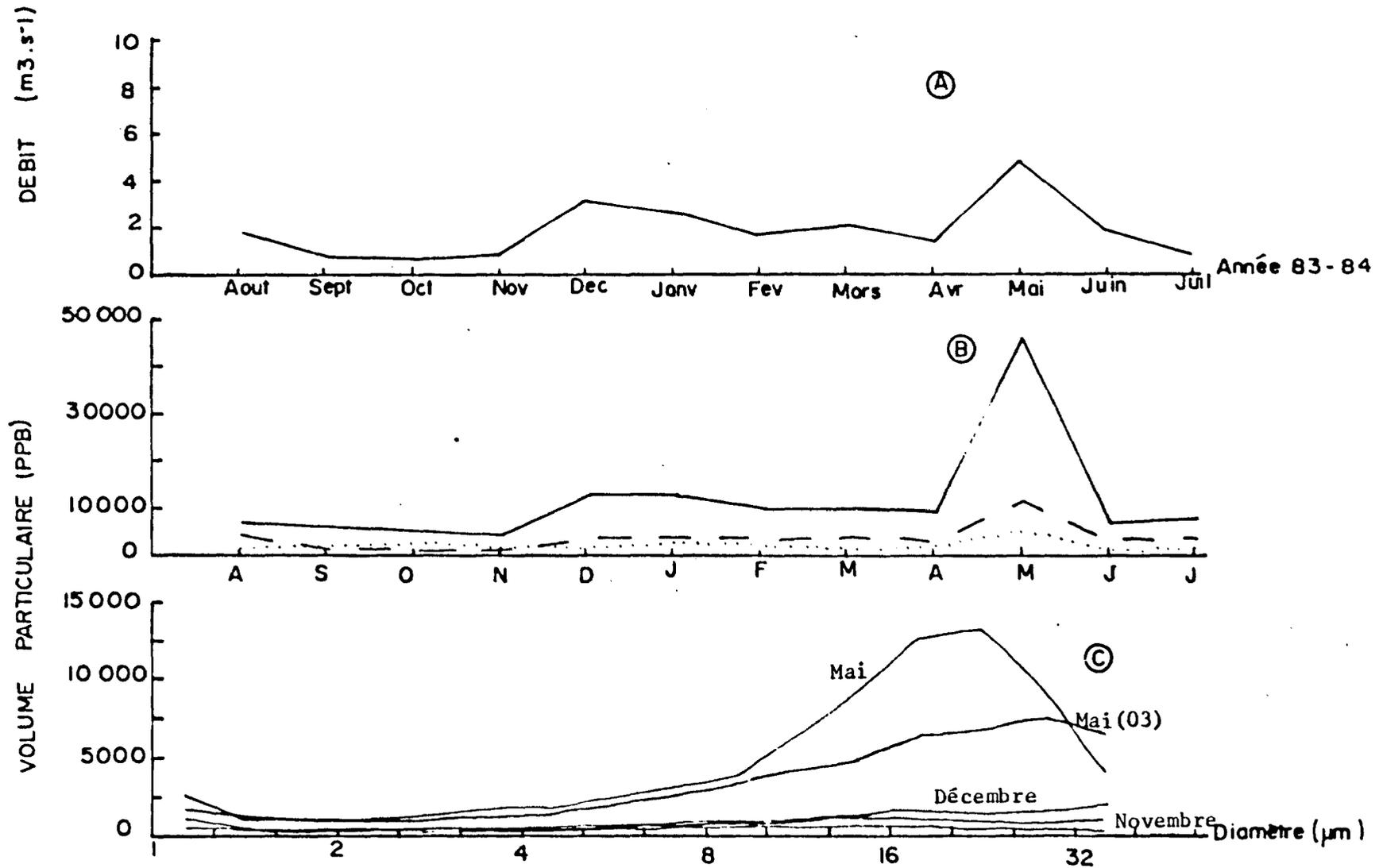


Fig. 8 : Evolution mensuelle des débits liquides et volumes particuliers de l'Arc au pont de Mauran.

Partie A : Evolution mensuelle des débits liquides (m³)

Partie B : Evolution mensuelle des volumes particuliers :

— 1,2 µm (particules < 50 µm)

- - - 11 µm (particules < 22 µm)

..... particules < 3,6 µm

Partie C : Tracés de quelques spectres de taille du HPS en volume

III.2 ANALYSE DES RESULTATS

III.2.1 L'Arc

L'étude sédimentologique des suspensions de l'Arc a été effectuée à partir des deux stations hydrologiques suivantes :

- l'Arc au pont de Mauran, situé à 2 km en amont de l'embouchure ;
- le canal de Gordes, qui représente environ la moitié des adductions agricoles et industrielles au cours d'eau principal.

III.2.1.1. Granulométrie du MPS

A. L'Arc au pont de Mauran

1. Structure et richesse du MPS

Les variations mensuelles du volume particulaire total, du volume des argiles (particules de diamètre inférieur à $3,6 \mu\text{m}$) et d'une gamme de particules comprises entre 11 et $22 \mu\text{m}$ sont représentées dans la figure 8 ; les résultats chiffrés sont donnés dans le tableau A.I. (annexe).

Trois constatations majeures s'en dégagent :

* On trouve une relative pauvreté en suspensoïdes en période estivale et automnale (volume particulaire total $V_p < 6000 \text{ ppb}$), qui se double d'une augmentation sensible de la charge particulaire entre les mois de décembre et avril ($8940 \text{ ppb} < V_p < 12433 \text{ ppb}$).

* Cette relative uniformité est interrompue par une très forte augmentation de la turbidité en rapport avec l'apparition d'une petite crue printanière.

Durant les 7 jours de cet épisode pluvieux, le volume du MPS présente des valeurs 4 à 12 fois supérieures aux valeurs moyennes trouvées dans l'Arc ($23482 \text{ ppb} < V_p < 73517 \text{ ppb}$).

* Les particules argileuses représentent entre 11 % (mois de mai) et 41 % (novembre) de volume total. Leur concentration reste toutefois assez constante tout au long de l'année, ne variant que de 10^3 à $3,5 \cdot 10^3 \text{ ppb}$.

Les fortes charges particulières observées en crue, sont donc probablement dues à une augmentation relative du nombre de particules de taille supérieure à $10 \mu\text{m}$: leur volume atteint alors 75 % à 80 % du volume particulaire total.

Dans la figure 8 c sont représentés quelques spectres de distribution de taille du MPS ; on constate que :

* En période sèche les tracés sont plats, avec un déficit général en particules pour toutes les classes de taille (spectres A1-).

* En hiver ou durant les "crues", ils sont unimodaux avec une zone d'abondance large pour des particules de taille supérieure à $10,10 \mu\text{m}$ (spectres A1+).

* Certains spectres sont tronqués vers le pôle grossier. Il faudrait disposer de sondes pouvant mesurer les particules de diamètre supérieur à $50 \mu\text{m}$, apparemment abondantes en période pluvieuse (mai, juin, août).

L'enrichissement des échantillons est induit par un apport massif en particules moyennes ou grosses. Or, la part de la matière minérale (M min) dans le seston total augmente dans les prélèvements de type A1+ et A2+ (données SRAE). Ce pôle grossier serait donc essentiellement constitué de particules minérales telles que des gros cristallites d'illite de kaolinite, de quartz ou de calcite, ainsi que d'agrégats de minéraux argileux flocculés ou soudés par de la matière organique (les agrégations de matériaux sont favorisées par les fortes concentrations particulières).

2. Calcul des flux solides

Le coefficient de corrélation débits liquides ponctuels/volume particulaire a pour valeur $r = 0,835$, et est ainsi hautement significatif (pour $\alpha = 0,1 \%$ et $DL = 16$). On peut donc affirmer que les résultats des calculs de flux (Tableau A.I) sont parfaitement représentatifs de la charge réelle du cours principal de l'Arc, et ce, en dépit du petit nombre de prélèvements.

Ainsi le volume des apports solides transitant par l'Arc au pont de Mauran d'août 1983 à juillet 1984 s'élève à 839 m^3 .

On notera que :

- Les volumes cumulés d'octobre à mars ne représentent que 33,4 % du volume total annuel, en raison de l'absence des crues automnales habituelles.
- Une seule petite crue printanière (mai) apporte en 7 jours 16,8 % du MPS total annuel pour un débit liquide de 2847.10^3 m^3 , soit 4,7 % des apports hydrauliques annuels.

Le nombre obtenu ($839 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$) peut paraître particulièrement faible. Trois faits expliquent en partie ce résultat surprenant:

- Cette valeur ne prend en compte que le volume des particules inférieures à $50 \mu\text{m}$.

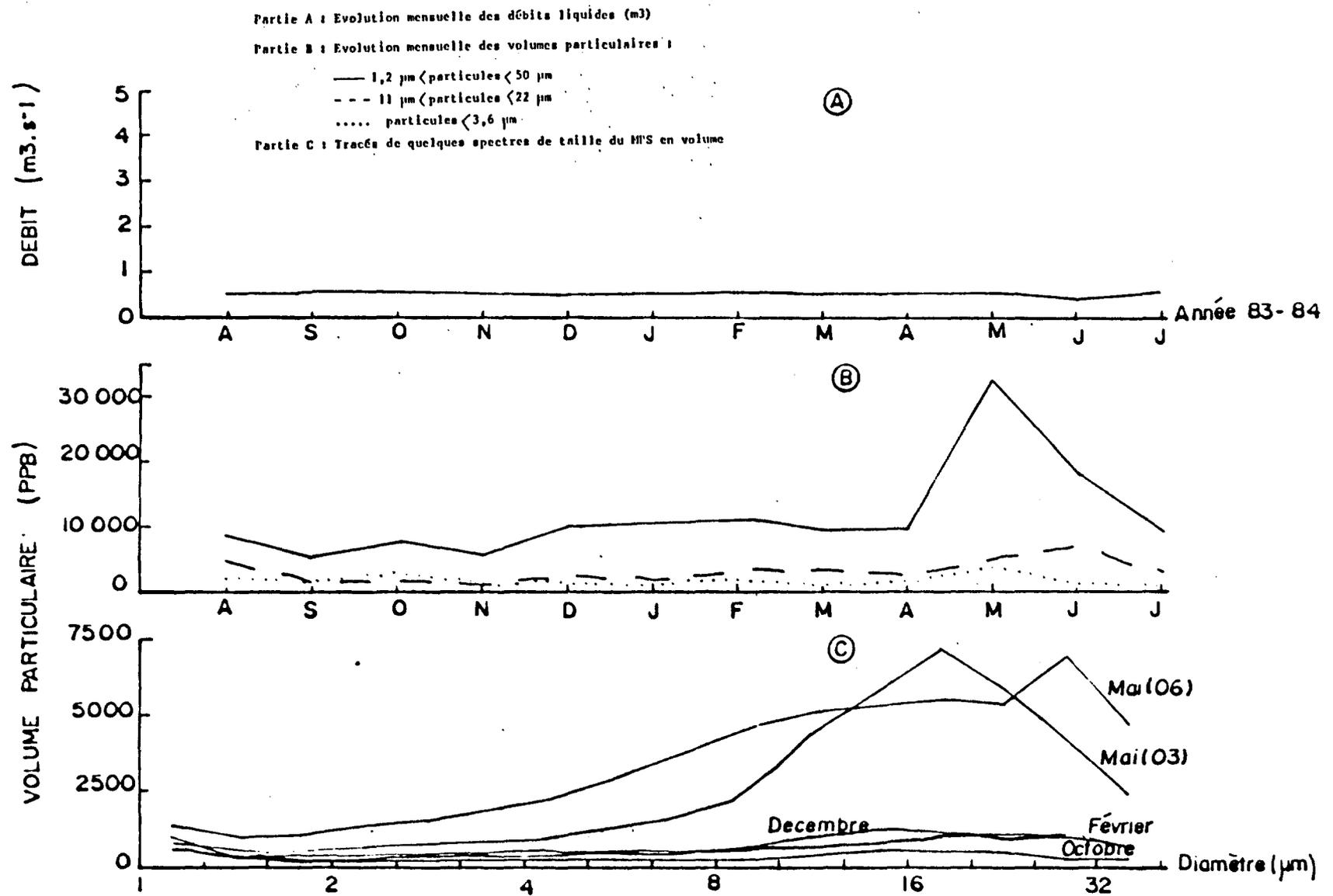


Fig. 9 : Evolution mensuelle des débits liquides et charges particulaires dans le canal de Gordes.

- L'étude a été réalisée au cours d'une année particulièrement "sèche", le débit liquide total enregistré ($Q = 60 \text{ Hm}^3$) ayant été près de trois fois moins élevé que les débits moyens annuels généralement admis ($160 \text{ Hm}^3 \cdot \text{an}^{-1}$).
- De plus la turbidité moyenne calculée sur les 12 mois d'étude s'élève à $15,1 \text{ mg.l}^{-1}$, alors que la concentration particulaire moyenne de janvier 1971 à décembre 1975 s'établissait à 51 mg.l^{-1} (Données SRAE).

B. L'Arc au canal de Gordes (fig. 9 et Tab. A.II en annexe)

Rappelons que la prise d'eau est située en amont du pont de Mauran et que le canal débouche dans l'étang de Vaïne.

1. Structure et richesse du MPS

La charge particulaire moyenne des eaux du canal de Gordes s'établit à $10000 \pm 1000 \text{ ppb}$.

Les écarts extrêmes par rapport à cette valeur peuvent varier du simple au décuple sans fluctuation corrélative du débit (fig. 9). Les prélèvements de septembre, octobre et novembre se caractérisent par des turbidités faibles ($V_p < 7655 \text{ ppb}$) alors que les épisodes pluvieux de mai et de juin induisent des charges particulières élevées ($V_p > 18400 \text{ ppb}$) (Tab. A.II en annexe).

La concentration sestonique est généralement plus élevée dans le canal de Gordes que dans l'Arc au pont de Mauran, sauf dans les prélèvements de septembre et mars où les turbidités observées sont comparables, et durant l'épisode pluvieux du mois de mai où le phénomène tend à s'inverser.

La fraction argileuse ($< 3,6 \mu\text{m}$) montre des comportements analogues aux deux stations, avec des volumes fluctuant entre 1000 et 3500 ppb.

Les remarques concernant la structure des spectres de taille du MPS sont identiques pour les deux stations de l'Arc, malgré la différence de composition du seston du canal proportionnellement plus riche en matière organique.

2. Calcul des flux solides

La liaison entre le débit liquide ponctuel et le volume particulaire est appréciée à l'aide du coefficient de corrélation r .

La valeur de r calculée ($r = 0,101$) n'est pas différente de 0 au seuil de 1 % avec 16 D.L. On ne peut conclure à une liaison significative des deux paramètres, et les estimations de flux particulières établies à partir des volumes moyens mensuels seront très aléatoires. La périodicité des prélèvements dans le canal de Gordes s'avère très insuffisante.

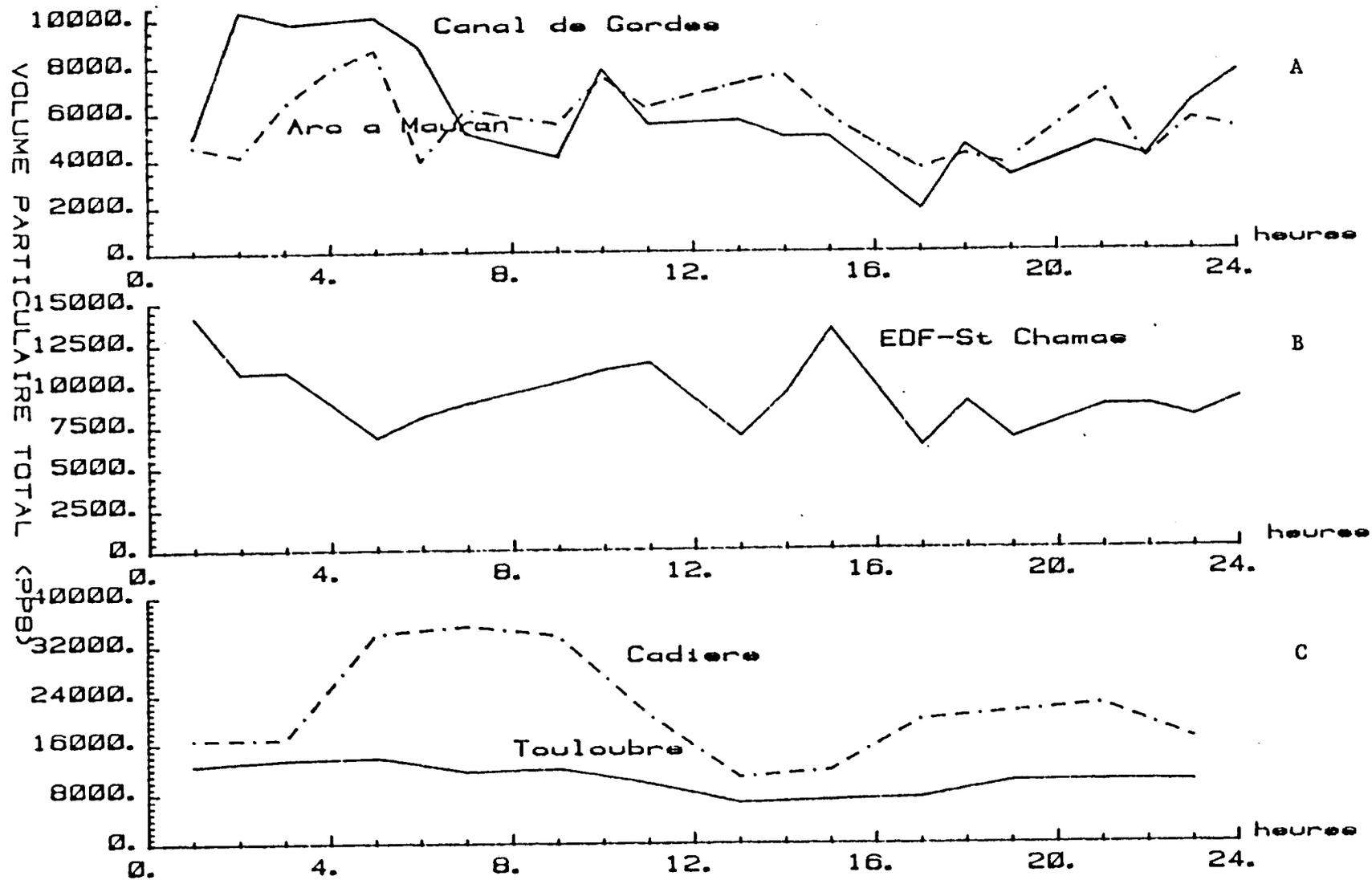


Fig. 10 : Cycles journaliers du materiel particulaire en suspension , étude des variations de volume (ppb).

Partie A : Evolution mensuelle des débits liquides (m³)

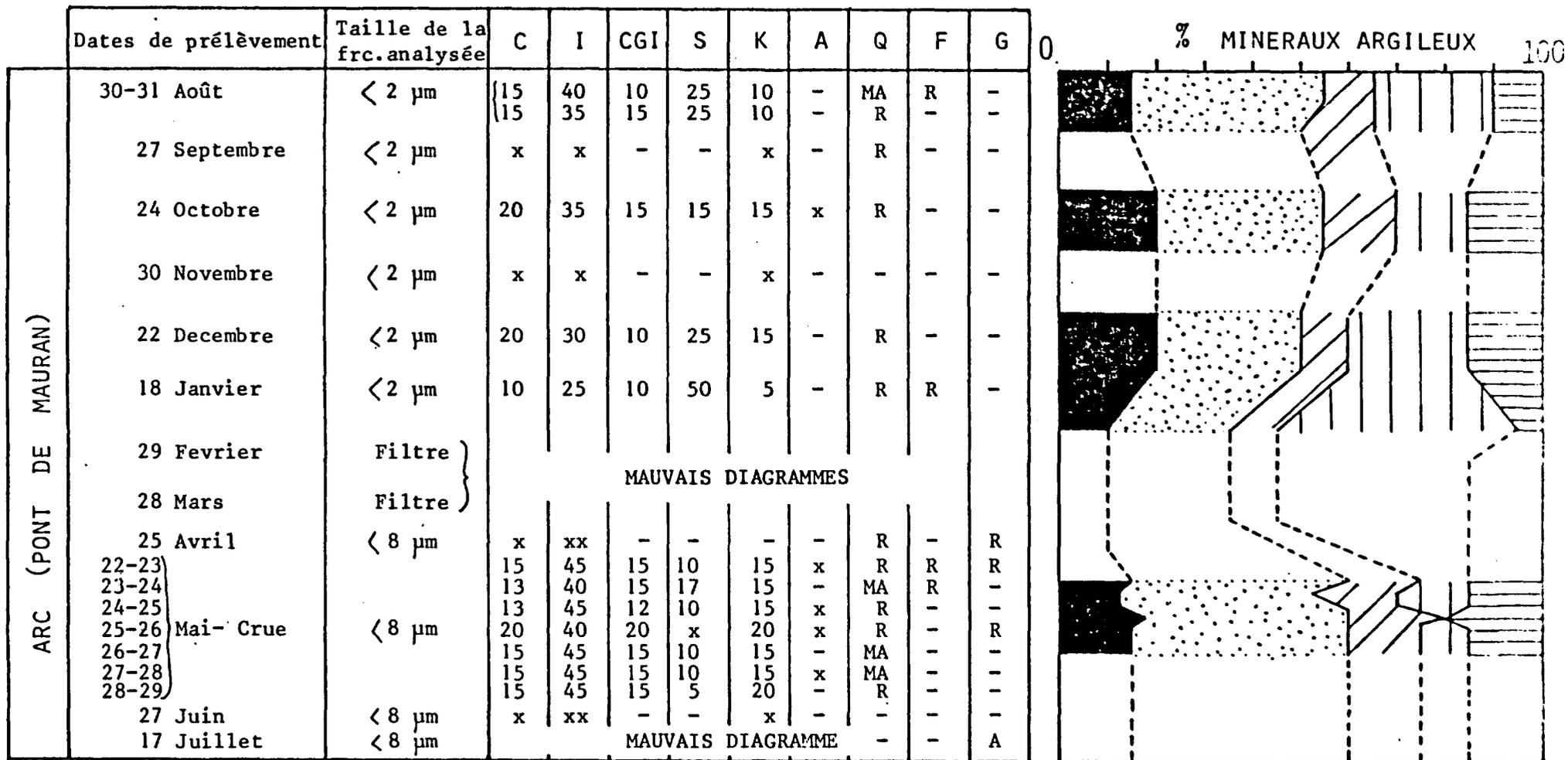
Partie B : Evolution mensuelle des volumes particulaires :

— 1,2 μ m (particules < 50 μ m)

- - - 11 μ m (particules < 22 μ m)

..... particules < 3,6 μ m

Partie C : Tracés de quelques spectres de taille du M^{PS} en volume



MINÉRAUX ARGILEUX :

- CHLORITE (C)
- ILLITE (I)
- INTERSTRATIFIÉS (CGI)
- SMECTITE (S)
- KAOLINITE (K)
- ATTAPULGITE (A)

MINÉRAUX ASSOCIÉS :

- Q = QUARTZ
- F = FELDSPATH
- G = GYPSE
- Absence de résultat semi-quantitatif
- Absent
- x Présent en faible quantité
- xx Présent en abondance
- A Abondant
- MA Moyennement abondant
- R Rare

Fig. 11 : Composition minéralogique du MPS de l'Arc (station du pont de Mauran).

Le volume solide total libéré dans l'étang de Berre par le canal de Gordes s'élève à $156,8 \text{ m}^3$, avec 37,8 % des apports totaux en hiver et 26,3 % de la charge annuelle durant le mois des plus fortes précipitations (mai).

Le cumul des volumes estimés dans l'Arc et sa dérivation représente environ 1000 m^3 de matière solide $< 50 \mu\text{m}$, soit 1500 tonnes (avec $d = 1,5$) pour l'année 1983-1984.

Cycle journalier du MPS

Nous avons examiné les variations mensuelles de la concentration particulaire des eaux de l'Arc. Cette étude a été complétée par un cycle de prélèvement continu de 24 heures, qui a débuté à 6 heures le 30 août 1983. Les comptages granulométriques ont été effectués toutes les heures ; les fluctuations du volume particulaire total sont figurées dans la figure 10 .a. On constate d'importantes variations de volume dans une fourchette allant du simple au double à Mauran et de 1 à 5 dans le canal de Gordes. La richesse du MPS est très variable, mais la nature de la distribution de taille des particules reste constante dans tous les échantillons.

Pour déceler une éventuelle influence de l'heure du prélèvement sur sa concentration, il faudrait répéter plusieurs fois ce type d'intervention, mais il semble que la meilleure solution consisterait à analyser des prélèvements moyens sur 24 heures.

II.1.2. Minéralogie des argiles

A. L'Arc au pont de Mauran

L'examen de la figure 11 fait apparaître une certaine monotonie du mélange argileux, dominé par l'association illite-smectite. La kaolinite et la chlorite, d'importance secondaire, constituent cependant 15 à 35 % de l'éventail minéralogique.

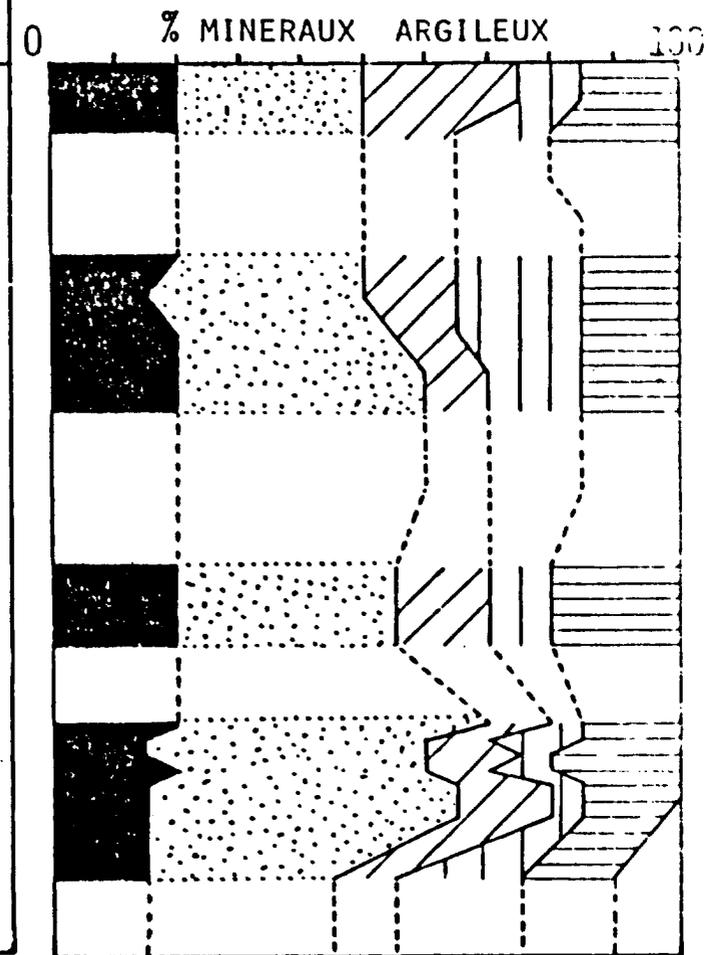
La taille de la fraction analysée modifie la proportion de chaque minéral en favorisant la part des grosses particules telles l'illite et la chlorite. De plus nous ne disposons que de peu de données quantitatives durant les mois d'hiver.

Cependant on constate une dominance de l'illite qui tend à s'estomper en faveur de la smectite durant les mois d'hiver (décembre, janvier).

Les précipitations du mois de mai n'apportent pas de modifications majeures de la répartition des argiles (crue de trop faible amplitude).

ROUX (1983) a analysé les limons en suspension d'une grosse crue de l'Arc ($Q = 65 \text{ à } 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ; la smectite très bien cristallisée compose alors 80 % du cortège minéral argileux.

| Date de prélèvement | | Taille de la frc. analysée | C | I | CGI | S | K | A | Q | F | G | |
|-----------------------|--------------|----------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|---|
| ARC (CANAL DE GORDES) | 30-31 Août | < 2 µm | (20 20) | 30 30 | 25 15 | 10 15 | 15 20 | - - | R R | R R | - - | |
| | 27 Septembre | < 2 µm | x | x | x | - | ? | - | R | - | - | |
| | 24 Octobre | < 2 µm | x | x | - | - | x | - | MA | - | - | |
| | 30 Novembre | < 2 µm | 15 | 35 | 15 | 20 | 15 | - | R | R | - | |
| | 17 Décembre | < 2 µm | 20 | 40 | 10 | 15 | 15 | - | R | R | - | |
| | 18 Janvier | < 2 µm | MAUVAIS DIAGRAMMES | | | | | | | | | |
| | 29 Février | Filtre | | | | | | | | | | |
| | 31 Mars | < 8 µm | 15 | 40 | 15 | 10 | 20 | - | R | R | MA | |
| | 25 Avril | - | ABSENCE DE DIAGRAMME | | | | | | | | | |
| | 22-23 | Mai - Crue | < 8 µm | 20 | 50 | 10 | 5 | 15 | - | R | R | - |
| | 23-24 | | 15 | 45 | 10 | 15 | 15 | - | R | R | - | |
| | 24-25 | | 15 | 45 | 15 | 5 | 20 | - | MA | R | - | |
| | 25-26 | | 20 | 40 | 10 | 10 | 20 | - | MA | MA | - | |
| | 26-27 | | 15 | 50 | 15 | 5 | 15 | - | R | R | - | |
| 27-28 | 15 | | 50 | 15 | 5 | 15 | - | R | R | - | | |
| 28-29 | 15 | 50 | 15 | 5 | 15 | - | R | R | - | | | |
| 27 Juin | < 8 µm | 15 | 30 | 10 | 20 | 15 | 10 | R | R | MA | | |
| 17 Juillet | < 8 µm | MAUVAIS DIAGRAMME | | | | | | | | | | |



MINÉRAUX ARGILEUX :

-  CHLORITE (C)
-  ILLITE (I)
-  INTERSTRATIFIÉS (CGI)
-  SMECTITE (S)
-  KAOLINITE (K)
-  ATTAPULGITE (A)

Fig. 12 : Composition minéralogique du MPS de L'Arc (canal de Gordes).

MINÉRAUX ASSOCIÉS :

- Q = QUARTZ
- F = FELDSPATH
- G = GYPSE
- Absence de résultat semi-quantitatif
- Absent
- X Présent en faible quantité
- XX Présent en abondance
- A Abondant
- MA Moyennement abondant
- R Rare

On remarque également la présence de traces d'attapulгите héritée des calcaires argileux éocènes et de certains niveaux marneux.

Le quartz est généralement rare sauf dans le MES des échantillons d'août et mai (pluies) où il est moyennement abondant.

Les feldspaths sont rares ou absents.

Ces résultats concernant la composition minéralogique du MPS de l'Arc sont en adéquation parfaite avec ceux obtenus par CHAMLEY *et al.* (1971) sur des sédiments de l'Arc entre Roquefavour et son embouchure : "Un peu de chlorite et de kaolinite s'ajoutent à des quantités égales et dominantes d'illite et de montmorillonite" (smectite).

Le seul fait remarquable est la présence du gypse dans certains échantillons (0-8 μm) ; celui-ci existe en cristaux dans les marnes du Begudien, ainsi que sous forme de roses des sables dans des marnes rubéfiées de la base de l'Eocène de tout le bassin versant de l'Arc.

Il est également abondant dans les niveaux de l'oligocène moyen et supérieur -où il fut exploité en carrières (gypse d'Aix).

B. Le canal de Gordes (fig. 12)

La nature et la proportion des minéraux argileux des prélèvements du canal de Gordes diffèrent par certains points de ceux de l'Arc au pont de Mauran :

- La smectite est rare, toujours inférieure à 20 %.
- L'illite reste dominante tout au long de l'année, complétée par une association paritaire chlorite-kaolinite.
- Les complexes gonflants interstratifiés de type smectite-illite sont généralement plus abondants dans la dérivation de l'Arc.
- Enfin, si le quartz présente une répartition comparable dans les deux "affluents", le feldspath est beaucoup plus abondant dans le canal de Gordes.

Dans les deux stations hydrologiques, la relative homogénéité des associations argileuses le long de l'année, semble être due à l'absence de crues habituelles qui provoquent une inversion des rapports de dominance en faveur de la smectite.

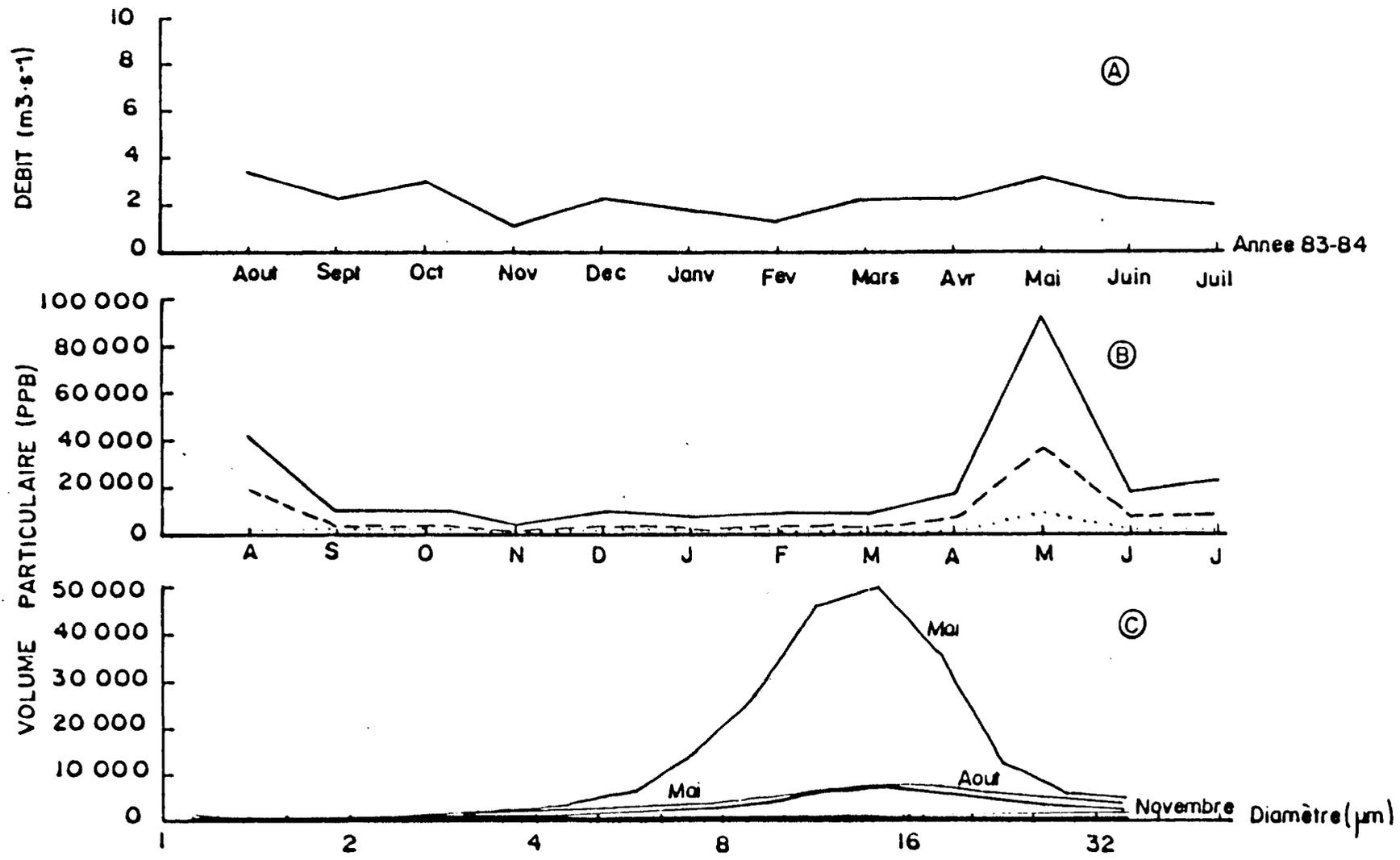


Fig. 13 : Evolution mensuelle des débits liquides et charges particulaires de la Touloubre.

Partie A : Evolution mensuelle des débits liquides (m³)

Partie B : Evolution mensuelle des volumes particulaires :

— 1,2 µm < particules < 50 µm

- - - 11 µm < particules < 22 µm

..... particules < 3,6 µm

Partie C : Tracés de quelques spectres de taille du MPS en volume

III.2.2. La Touloubre

III.2.2.1. Granulométrie du MPS

1. Structure et richesse du MPS

a) Evolution mensuelle

La figure 13 représente l'évolution annuelle de la structure et de la richesse du MPS à l'embouchure de la Touloubre. Les indications chiffrées sont groupées dans le tableau A.III. en annexe.

A une exception près (mois de novembre), les prélèvements se caractérisent par une turbidité élevée ($V_p > 7500$ ppb). Les variations de la charge particulaire subissent de notables fluctuations qui montrent :

- des concentrations sestoniques très élevées corrélatives aux précipitations fortes d'août et de mai ($V_p > 40000$ ppb) ;
- une turbidité importante des eaux entre le mois d'avril et le mois d'août, liée en grande partie aux apports de surplus des eaux d'irrigation d'origine durancienne ;
- une baisse sensible de la charge particulaire durant la période hivernale d'étiage ($V_p < 10000$ ppb).

En dehors des épisodes exceptionnels de crue, le volume des particules argileuses ($< 3,6 \mu m$) reste compris entre 1000 et 2500 ppb, faisant la preuve de la grande régularité et stabilité des apports en particules fines au cours de l'année.

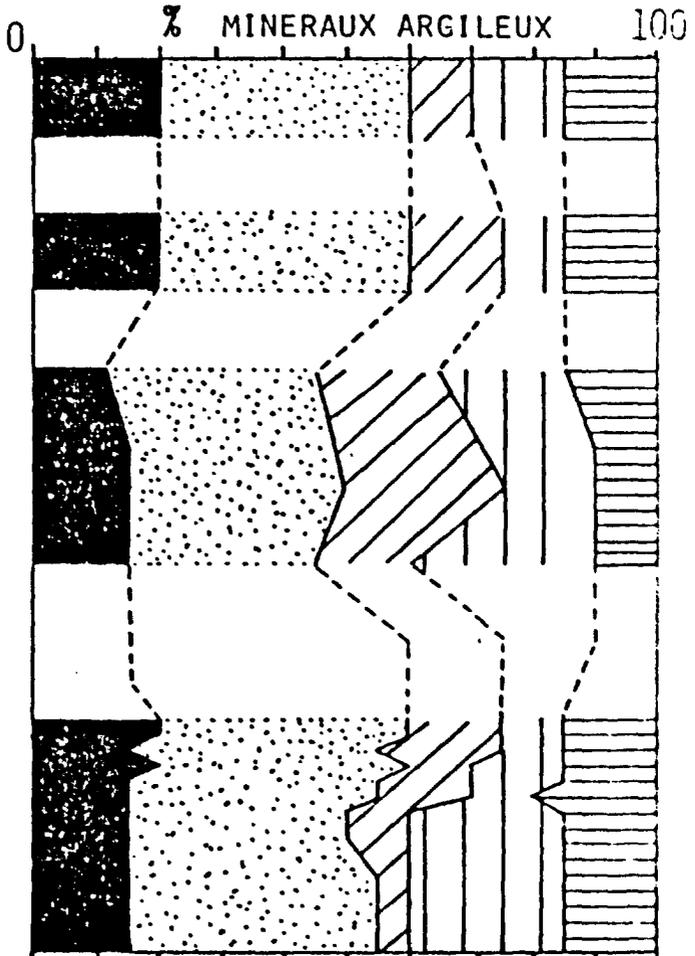
Dans la Touloubre, l'essentiel des apports solides est constitué de particules de taille moyenne allant de 6 à 25 μm . Ce phénomène est confirmé par la structure des spectres de taille du MPS (fig. 13 c) qui montrent un déficit en très fines et grosses particules.

Les types spectraux reflètent la nature de la distribution de taille des particules ; on distingue :

- des spectres de type A1+ en mai, juin, juillet et août ;
- des spectres de type A1- en étiage durant les mois d'hiver ;
- un spectre A2+, indiquant une proportion élevée de grosses particules minérales au mois d'avril ;
- un spectre A2-, au mois de septembre avec un effectif élevé de particules fines.

Les modalités complexes d'alimentation de la Touloubre, avec apport important des eaux d'arrosage estivales, expliquent les particularités de ce schéma de composition du MPS, riche en été et déficitaire en hiver.

| Dates de prélèvement | | Taille de la frc. analysée | C | I | CGI | S | K | A | Q | F | G | |
|----------------------|--------------|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|---|---|
| TOULOUBRE | 30 Août | < 2 µm | 20 | 40 | 10 | 15 | 15 | x | R | R | - | |
| | 27 Septembre | < 2 µm | x | x | - | - | x | - | R | - | - | |
| | 24 Octobre | < 2 µm | 20 | 40 | 15 | 10 | 15 | - | R | R | - | |
| | 30 Novembre | < 2 µm | x | x | - | - | x | x | R | - | - | |
| | 22 Décembre | < 2 µm | 10 | 35 | 20 | 20 | 15 | - | R | - | - | |
| | 18 Janvier | < 2 µm | 15 | 35 | 25 | 15 | 10 | - | R | - | - | |
| | 29 Février | Filtre | 15 | 30 | 15 | 30 | 10 | - | R | - | - | |
| | 28 Mars | < 8 µm | x | xx | - | ? | x | - | - | - | - | |
| | 25 Avril | < 8 µm | x | xx | x | - | x | - | - | - | - | |
| | 22-23 | } Mai | 20 | 40 | 15 | 10 | 15 | ? | MA | - | R | |
| | 23-24 | | 15 | 40 | 20 | 10 | 15 | - | A | - | R | |
| | 24-25 | | 20 | 40 | 15 | 10 | 15 | - | A | - | R | |
| | 25-26 | | < 8 µm | 20 | 40 | 15 | 10 | 15 | - | A | - | R |
| | 26-27 | | 15 | 40 | 20 | 10 | 15 | - | MA | - | A | |
| 27-28 | 15 | | 40 | 15 | 10 | 20 | - | MA | - | MA | | |
| 28-29 | 15 | | 35 | 10 | 25 | 15 | - | MA | R | - | | |
| 27 Juin | < 8 µm | 15 | 40 | 5 | 25 | 15 | - | MA | R | - | | |
| 17 Juillet | < 8 µm | 15 | 40 | 5 | 25 | 15 | - | MA | - | R | | |



MINERAUX ARGILEUX :

- CHLORITE (C)
- ILLITE (I)
- INTERSTRATIFIES (CGI)
- SMECTITE (S)
- KAOLINITE (K)
- ATTAPULGITE (A)

Fig. 14 : Composition minéralogique du MPS de la Touloubre.

MINERAUX ASSOCIES :

- Q = QUARTZ
- F = FELDSPATH
- G = GYPSE
- Absence de résultat semi-quantitatif
- Absent
- X Présent en faible quantité
- XX Présent en abondance
- A Abondant
- MA Moyennement abondant
- R Rare

b) Cycle journalier du MPS

Un cycle de prélèvements de 24 heures, effectué les 24-25 octobre 1983, permet de décrire les variations temporelles à petite échelle de la richesse et de la nature du MPS (fig. 10 .c). La turbidité mesurée varie entre 6460 ppb à 17 heures et 13680 ppb à 11 heures. Le MPS montre une relative stabilité qualitative et quantitative pendant des périodes de 5 à 8 heures avec l'évolution suivante :

- entre 7 h et 15 h : forte concentration en particules ($V_p > 11500$ ppb) ;
- à 17 h la charge sestonique diminue à 9500 ppb ;
- 18 h-24 h, la turbidité est minimale avec un V_p inférieur à 7400 ppb ;
- entre 1 h et 5 h, on enregistre une nouvelle augmentation de la charge particulaire stabilisée à 9500 ppb.

Pour confirmer cette évolution temporelle à l'échelle de la journée il faudrait procéder à de nombreuses études de ce type.

2. Calcul des flux solides

La corrélation entre la charge particulaire des prélèvements de la Touloubre et le débit liquide est significative avec $r = 0,566$ ($\alpha = 0,5\%$; $DL = 16$).

Cependant, il convient de rester prudent quant à l'exactitude des calculs de flux solides mensuels libérés (Tab. A.III en annexe).

Ces réserves émises, le volume de matériaux transportés en suspension dans la Touloubre d'août 1983 à juillet 1984 représente $1833,4 \text{ m}^3$, soit environ 2750 tonnes (pour $d = 1,5$).

Le cumul des charges particulières des six mois d'hiver ne représente que 15,2 % du volume total annuel. Cette période correspond à l'étiage maximal de la rivière, et l'année 1983-1984 a connu un hiver très sec avec des valeurs de débit liquide atteintes ou dépassées 85 années sur 100. De plus, on n'a pas observé les crues automnales habituelles à $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, et la seule petite crue du mois de mai ($Q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a fourni 43 % du flux solide total annuel.

On peut estimer que le volume des apports libérés dans l'étang au cours d'années hydrologiquement normales puisse tripler et atteindre 10000 tonnes de MPS.

III.2.2.2. Minéralogie des argiles

Le diagramme 14 fait apparaître les faibles fluctuations quantitatives du cortège minéralogique au cours de l'année 1983-1984.

Les limons en suspension dans la Touloubre se caractérisent par une association banale pour la Provence calcaire, avec une légère dominance de l'illite (30 à 40 % des minéraux argileux) associée à la chlorite (10-20 %), la smectite (10-30 %), la kaolinite (10-15 %) et aux interstratifiés illite-smectite (5-20 %).

Le quartz, rare dans la majorité des échantillons, devient abondant par régime pluvieux. Les feldspath sont absents ou peu abondants. Le gypse apparaît dans les échantillons de mai (crue).

Ce schéma de répartition des argiles au débouché de la Touloubre n'est pas totalement conforme aux résultats acquis dans les études précédentes (CHAMLEY *et al.*, 1969).

En effet la smectite est le minéral cardinal des formations géologiques antequaternaires de la partie du bassin versant drainée par le cours supérieur du fleuve. On devrait la trouver en abondance dans les eaux torrentielles lors de fortes pluies (août, mai). Or la contamination par la smectite apparaît plutôt en hiver et aux mois de juin et juillet.

En outre, l'illite, héritée de la Crau et des limons superficiels d'origine durancienne du bassin inférieur de la Touloubre, ne présente qu'une dominance faible (30-40 %) vis-à-vis des autres composants argileux. CHAMLEY *et al.* (1969) estimaient à 60 % la part de ce minéral dans les vases de l'embouchure de la rivière.

Le problème de la composition minéralogique exacte du MPS de la Touloubre peut être résolu en complétant les analyses déjà effectuées par une étude simultanée des argiles de la phase liquide et du sédiment pour différents régimes hydrologiques (étiage, crue ordinaire de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). L'inventaire des argiles en suspension devra être affiné par des observations au microscope électronique de la fraction fine inférieure à $8 \mu\text{m}$.

III.2.3. La Cadière

Les prélèvements ont été effectués à l'aval de Marignane, dans des eaux résultant du mélange des apports fluviatiles "naturels" de la Cadière et du Raumartin et d'apports déversés artificiellement par les canaux d'irrigation et un émissaire urbain.

III.2.3.1. Granulométrie du MPS

1. Structure et richesse du MPS

a) Evolution mensuelle

L'examen des courbes d'évolution mensuelle des volumes particuliers dans les prélèvements de la Cadière, permet la mise en évidence de plusieurs phénomènes majeurs (fig. A.15) :

* Les débits liquides de la Cadière se caractérisent par une absence de rythmicité saisonnière, de même les échantillons ponctuels ont une turbidité très variable selon la date de prélèvement ; les volumes particuliers maximaux se situent dans les prélèvements d'octobre, mars et juillet alors que les charges minimales sont trouvées aux mois de septembre, novembre et décembre (Tab. A.IV en annexe).

* Les particules argileuses ($< 3,6 \mu\text{m}$) totalisent un volume compris entre 1000 et 3000 ppb, les fortes charges particulières étant toujours induites par des particules de taille supérieure à $8 \mu\text{m}$.

* Les spectres de taille du MPS sont tronqués du côté du pôle grossier, indiquant l'existence de particules supérieures à $50 \mu\text{m}$ dans les eaux de la Cadière (fig. 15 c). Ce phénomène, particulièrement accentué aux mois de mars, avril et juillet, est confirmé par l'étude des types spectraux qui se répartissent de la manière suivante :

- spectres A1+ au mois de juillet,
- spectres A1- en septembre et de novembre à février,
- spectres A2+ aux mois de mars, avril, août et octobre.

b) Cycle journalier du MPS

Les variations de richesse et de nature des suspensions en aval de Marignane ont été examinées toutes les deux heures, pendant un cycle journalier de 24 heures (fig. 10.c).

On constate que la périodicité des "événements" est comparable à celle observée au débouché d'émissaires urbains, avec une augmentation de la turbidité directement liée aux déversements ménagers (pic d'abondance entre 10 heures et 15 heures avec un V_p de 33000 ppm, et concentration particulière minimale aux alentours de 10000 ppb entre 19 heures et 22 heures).

L'existence de cette rythmicité horaire devra être vérifiée par d'autres mesures réalisées par divers régimes hydrologiques.

2. Calcul des flux solides

L'évaluation du volume des suspensions annuellement déversées dans la Cadière est compliquée par l'absence de comptage particulaire au mois de mai. On peut pallier cette lacune en utilisant les données collectées par le SRAE le 16 mai 1984.

La corrélation entre le poids sestonique (mg.l^{-1}) et le volume particulaire (ppb) des échantillons recueillis dans la Cadière au cours de l'année 1983-1984 est significative au seuil de 5 % avec ($r = 0,556$ pour 15 DL).

L'équation de la droite de régression est de la forme :

$$y = 552,4 X + 6102$$

avec X = volume particulaire estimé

Y = poids de MEST mesuré

6102 = ordonnée à l'origine

552,4 = pente de la droite de régression.

Ainsi, pour un poids sestonique de 668 mg, mesuré le 16 mai 1984 lors d'une crue de la Cadière (donnée SRAE), on obtient un Y estimé de 375105,2 ppb, correspondant à un volume solide journalier de 129,6 m³.

Cette valeur paraît très surestimée, car elle est 150 fois plus élevée que les flux journaliers moyens du cours d'eau ($F_{jm} = 0,86 \text{ m}^3$), et plus de deux fois supérieure au flux maximum trouvé dans la Touloubre en crue ($F_{jmax} = 53,9 \text{ m}^3$ pour $Q = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). nous la diviserons arbitrairement par 5 pour obtenir un flux journalier égal à 25,9 m³ le 16 mai 1984, et un flux solide mensuel de 207 m³ pour le mois de mai 1984.

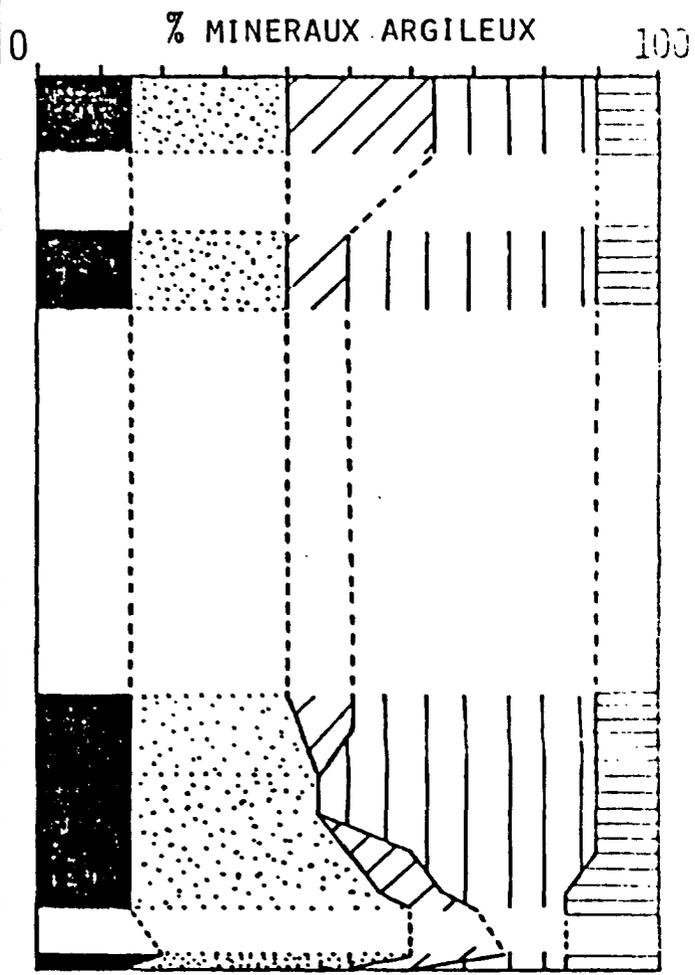
Si nous admettons cette valeur très aléatoire, le volume des apports solides transportés par la Cadière entre août 1983 et juillet 1984 s'établirait à 523,3 m³, soit 785 tonnes (pour $d = 1,5$).

Sur les bases d'un débit liquide annuel de 25 Hm^3 , et d'une turbidité moyenne des échantillons de $27,5 \text{ mg.l}^{-1}$, on obtient un tonnage annuel de MES s'élevant à 685 tonnes, donc très voisin de nos estimations.

Les flux de matériaux transportés entre le mois d'octobre et le mois de mars ne représentent que 30,7 % des apports totaux annuels. Ce faible pourcentage des apports "hivernaux" est dû à l'absence en 1983 des crues automnales habituelles.

L'état des connaissances sur la qualité et la quantité des éléments terrigènes et biogènes charriés par la Cadière et ses affluents reste insuffisant. Les premières estimations données dans ce travail devront nécessairement être complétées par de nouvelles recherches.

| | | Dates de prélèvement | Taille de la frc. analysée | C | I | CGI | S | K | A | Q | F | G | |
|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------------|--------------------|----|-----|----|----|---|----|----|---|---|
| CADIÈRE (AVAL DE MARIGNANE) | | 31 Août | < 2 µm | 15 | 25 | 20 | 30 | 10 | - | - | R | - | |
| | | 27 Septembre | < 2 µm | x | x | x | - | - | - | R | - | - | |
| | | 24 Octobre | < 2 µm | 15 | 25 | 5 | 40 | 10 | - | MA | MA | - | |
| | | 30 Novembre | 2µm, filtros | MAUVAIS DIAGRAMMES | | | | | | | | | |
| | | 22 Decembre | | | | | | | | | | | |
| | | 18 Janvier | | | | | | | | | | | |
| | | 29 Fevrier | | | | | | | | | | | |
| | | 28 Mars | < 8 µm | x | x | - | - | x | - | - | - | - | R |
| | | 25 Avril | < 8 µm | - | x | - | x | x | - | - | - | - | A |
| | | 16 Mai | < 8 µm | 15 | 25 | - | 50 | 10 | - | - | A | R | - |
| | | 27 Juin | < 8 µm | 15 | 35 | 5 | 30 | 15 | - | - | MA | R | - |
| | | 18-19 | Juillet | x | xx | - | - | - | - | - | - | R | R |
| | | 19-20 | | 15 | 40 | 15 | 15 | 15 | - | - | - | R | R |
| | | 20-21 | | 15 | 45 | 20 | 5 | 15 | x | - | - | R | R |
| | 22-23 | | | xx | x | - | x | - | - | - | R | R | |
| | 23-24 | 20 | | 45 | 15 | 5 | 15 | - | - | - | R | R | |
| | 24-25 | 15 | | 35 | 10 | 15 | 15 | - | - | - | R | R | |



MINÉRAUX ARGILEUX :

- CHLORITE (C)
- ILLITE (I)
- INTERSTRATIFIÉS (CGI)
- SMECTITE (S)
- KAOLINITE (K)
- ATTAPULGITE (A)

Fig. 16 : Composition minéralogique du MPS de la Cadière.

MINÉRAUX ASSOCIÉS :

- Q = QUARTZ
- F = FELDSPATH
- G = GYPSE
- - - Absence de résultat semi-quantitatif
- Absent
- X Présent en faible quantité
- XX Présent en abondance
- A Abondant
- HA Moyennement abondant
- R Rare

III.2.3.2. Minéralogie des argiles (fig. 16)

La mauvaise qualité des diagrammes obtenus par diffractométrie sur les lames d'agrégats orientés des MES de la Cadière s'explique par la faible concentration sestonique des prélèvements hivernaux (novembre à mars) et l'importante contamination des échantillons par la matière organique.

En raison des difficultés d'interprétation, les résultats exposés ne concernent que la période estivale durant laquelle transitent les deux tiers des apports solides annuels.

* En régime hydrologique normal, les constituants majeurs du MPS sont la smectite qui représente 30 à 40 % du mélange argileux et l'illite (25 à 35 % des argiles totales).

La chlorite et la kaolinite sont présentes, mais en faible proportion (10 à 15 %) tout au long de l'année.

Les interstratifiés (illite-smectite) qui existent à l'état de trace dans la majorité des prélèvements, augmentent en période chaude pour atteindre 10-20 % en juillet et août.

Au mois de juillet, la taille de la fraction analysée, 0-8 μm , influence la composition du cortège minéral avec augmentation de la proportion d'illite (35 à 45 %) au détriment de la smectite (5-15 %).

* En crue (mois de mai), les éléments en suspension dans la Cadière présentent une dominance de la smectite (50 %), associée à l'illite (25 %). Les proportions respectives de la kaolinite et de la chlorite ne varient pas.

Ces résultats sont très parcellaires et ne permettent pas de déceler des variations saisonnières de la composition minéralogique des suspensoïdes de la Cadière ; néanmoins on constate une influence évidente des épisodes pluvieux qui accentuent les apports de smectite.

Les minéraux associés aux argiles présentent les caractéristiques suivantes :

- rareté du quartz en étiage, augmentation dans les eaux de lessivage ;
- feldspaths rares ou absents ;
- présence du gypse (dans les échantillons 0-8 μm), plus particulièrement abondant en avril et juillet.

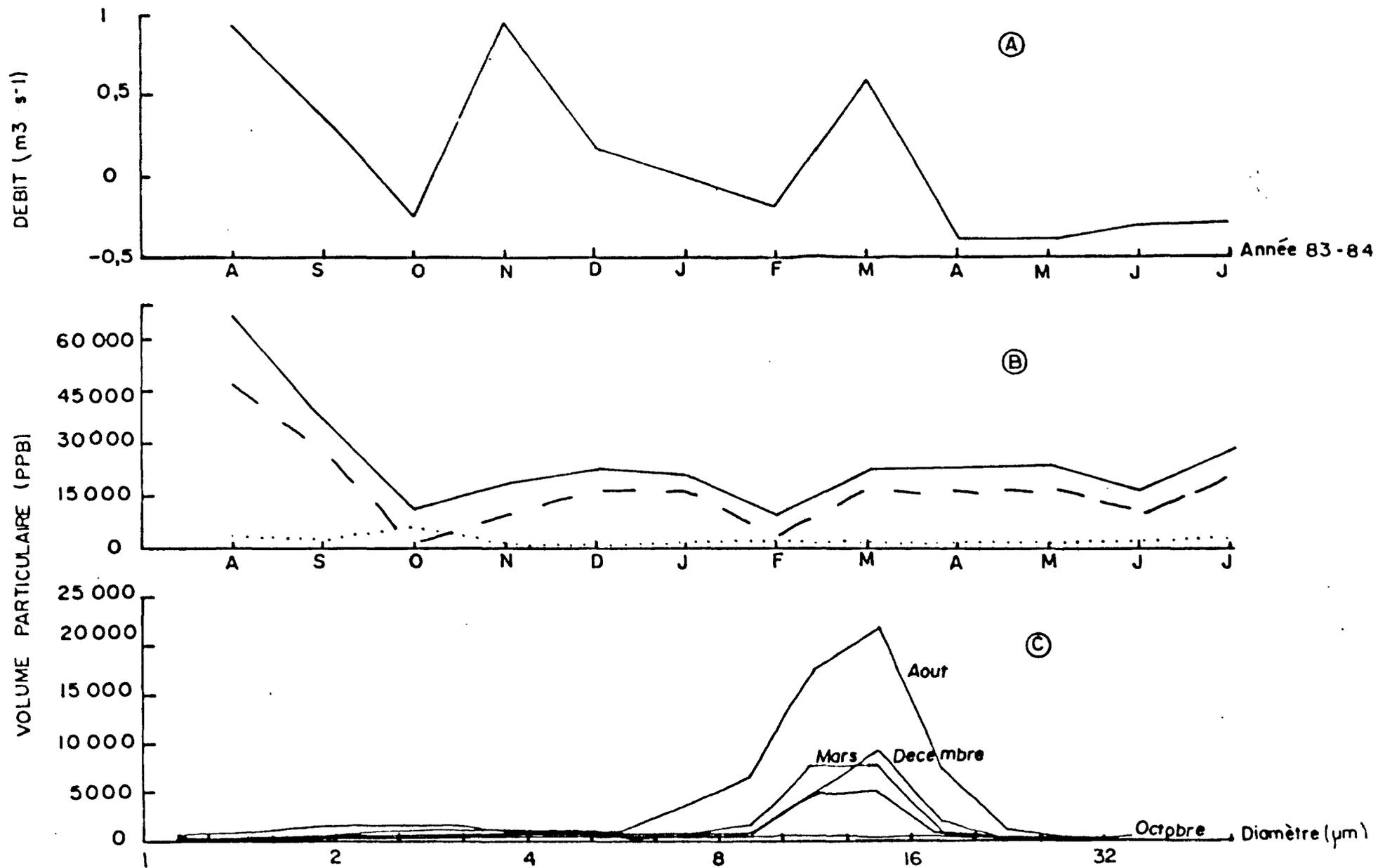


Fig. 17 : Evolution mensuelle des débits liquides et charges particulaires dans la galerie de l'Olivier.

Partie A : Evolution mensuelle des débits liquides (m³)

Partie B : Evolution mensuelle des volumes particulaires :

— 1,2 μm < particules < 50 μm

- - - 11 μm < particules < 22 μm

..... particules < 3,6 μm

Partie C : Tracés de quelques spectres de taille du MPS en volume

III.2.4. La galerie de communication étang de Berre-étang de l'Olivier

L'étang de l'Olivier est relié à l'étang de Berre par un canal long de 800 mètres. Les prélèvements ont été effectués tous les mois, non loin du débouché de la galerie dans l'étang de Berre.

III.2.4.1. Granulométrie du MPS

1. Structure et richesse du MPS

a) Richesse du MPS

Les variations annuelles des concentrations particulières (en volume) dans la galerie pluviale de l'Olivier sont représentées dans la figure 17.b. Les volumes chiffrés correspondants sont groupés dans le tableau A.V. en annexe.

L'observation des tracés permet la mise en lumière des phénomènes suivants :

* La majorité des prélèvements présente une très grande richesse en particules. Seuls les échantillons des mois d'octobre ($V_p = 11362$ ppb) et février ($V_p = 9412$ ppb) montrent des charges particulières moyennes.

* On discerne une influence saisonnière marquée sur la turbidité des eaux, avec des concentrations sestoniques très élevées en été ($V_p > 30000$ ppb) et une baisse sensible des effectifs particuliers durant les autres mois de l'année ($V_p < 24000$ ppb).

* Le volume des argiles en suspension (particules $< 3,6 \mu m$) est très variable d'un prélèvement à l'autre (Tab. (A.V.) ^(en annexe)), mais cette fraction sédimentaire représente moins de 10 % du volume particulaire total, sauf dans les prélèvements des mois d'octobre et février où elle augmente.

On constate que la diminution de la concentration en MES est corrélative à une inversion du sens du courant de circulation entre les deux étangs : les eaux de l'étang de l'Olivier sont donc systématiquement plus riches en seston que les eaux de l'étang de Berre.

b) Structure du MPS

Les tracés de cinq spectres de taille caractéristiques du MPS de la galerie de l'Olivier suggèrent les deux remarques principales suivantes (fig. 17. c) :

* Lorsque le flux liquide s'écoule vers l'étang de Berre, le MPS de l'ensemble des prélèvements analysés présente un pic d'abondance constant et marqué de particules comprises entre $12,7$ et $20,2 \mu m$.

Cette fraction granulométrique représente de 60 à 70 % du volume particulaire total quelle que soit la saison.

La couleur verdâtre des échantillons, ainsi que la composition essentiellement organique du MPS (données SRAE), permettent d'affirmer que ces particules sont pour l'essentiel des cellules phytoplanctoniques, et que les fortes turbidités enregistrées sont induites par des blooms algaux.

MARILLEY (1973) a dressé un inventaire du phytoplancton de l'étang de l'Olivier, et en a décrit les variations saisonnières. Les espèces principales appartenant à cette gamme de taille (12-20 μm) sont surtout différentes espèces de Cyanophyceae se succédant au cours des saisons, et des Chlorophyceae présentes plus particulièrement en hiver et au printemps.

* Lorsque le courant d'échange s'inverse dans la direction de l'étang de l'Olivier (phénomène représenté par des débits "négatifs"), la distribution granulométrique du MPS se diversifie :

- dans les prélèvements des mois d'avril et de juin, les spectres ont exactement la même structure que dans la situation hydrologique précédemment décrite, avec une zone d'abondance étroite et marquée en particules de 12,7 à 20,2 μm ;
- aux mois d'octobre et février, ce pic d'abondance s'estompe, et la proportion de cellules comprises dans cette gamme de taille devient inférieure à 20 % ;
- dans les échantillons prélevés au mois de juillet, on observe la superposition d'une population de cellules de grande taille ($> 30 \mu\text{m}$) dont une partie n'est pas prise en compte par la mesure au Coulter Counter (spectres de taille tronqués vers le pôle grossier).

Il est intéressant de constater que l'inversion du courant d'échange entre les deux étangs ne modifie pas forcément la nature granulométrique du MPS dans la galerie. Ce phénomène peut être expliqué soit par l'homogénéisation des populations phytoplanctoniques de part et d'autre du canal, soit par le fait que les contrecourants de vent (étang de Berre-étang de l'Olivier), rares et temporaires, n'affectent que la couche d'eau superficielle. Lorsque l'inversion se prolonge durant plusieurs jours (mois de juillet), la stratification des eaux disparaît dans le canal.

2. Calcul des flux solides

Le calcul des bilans solides mensuels est difficile à établir du fait de l'irrégularité des courants d'échange entre les deux étangs et de l'absence de prélèvements au mois de mai. Le flux solide déversé dans l'étang de Berre durant le mois de mai a été estimé à partir du débit moyen mensuel calculé par le SRAE ($Q_m = 0,579 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et de la charge particulaire moyenne annuelle

(Vp moyenne = 25962 ppb), ce malgré la mauvaise corrélation unissant les deux paramètres ($r = 0,322$ n'est pas significatif au seuil de 5 % pour 15 DL).

Dans ces conditions, on obtient un volume total de MPS égal à $40,3 \text{ m}^3$ pour le mois de mai 1984.

Dans le cas très particulier de la galerie de l'Olivier, il faudrait connaître d'une part le flux liquide entrant dans l'étang de Berre chaque mois et d'autre part le volume liquide sortant de l'étang de Berre. De même les mesures de volumes particuliers devraient être établies mensuellement pour les deux "régimes hydrauliques", le flux mensuel étant obtenu par la formule suivante :

$$F_m = F_B - F_O$$

où F_m = flux mensuel résultant

F_B = flux solide entrant dans l'étang de Berre

F_O = flux solide entrant dans l'étang de l'Olivier.

Ne disposant pas des données nécessaires pour effectuer ces calculs, nous avons dû estimer les flux à partir du débit moyen mensuel et du volume particulière total du prélèvement ponctuel réalisé chaque mois ; la précision du résultat est donc très aléatoire.

Ces réserves émises, le volume total des suspensions libérées dans l'étang de Berre entre août 1983 et juillet 1984 s'élève à 365 m^3 .

Les maxima mensuels se situent aux mois d'août et septembre en raison de la prolifération des cellules phytoplanctoniques et au mois de juin où le débit moyen mensuel est maximal ($Q_m = 0,666 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Les minima mensuels apparaissent en février, juillet et octobre, durant lesquels les débits moyens mensuels sont faibles ($Q_m < 0,265 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Cet apport solide est essentiellement constitué par des particules organiques, la fraction minérale étant difficile à décrire.

En effet, les diagrammes de diffraction obtenus ne sont pas interprétables, quelle que soit la gamme de taille des particules analysées ($0-2 \mu\text{m}$; $0-8 \mu\text{m}$; total sur filtres). Il est donc impossible d'apporter des informations sur la nature et la quantité des argiles qui transitent par la galerie de l'Olivier.

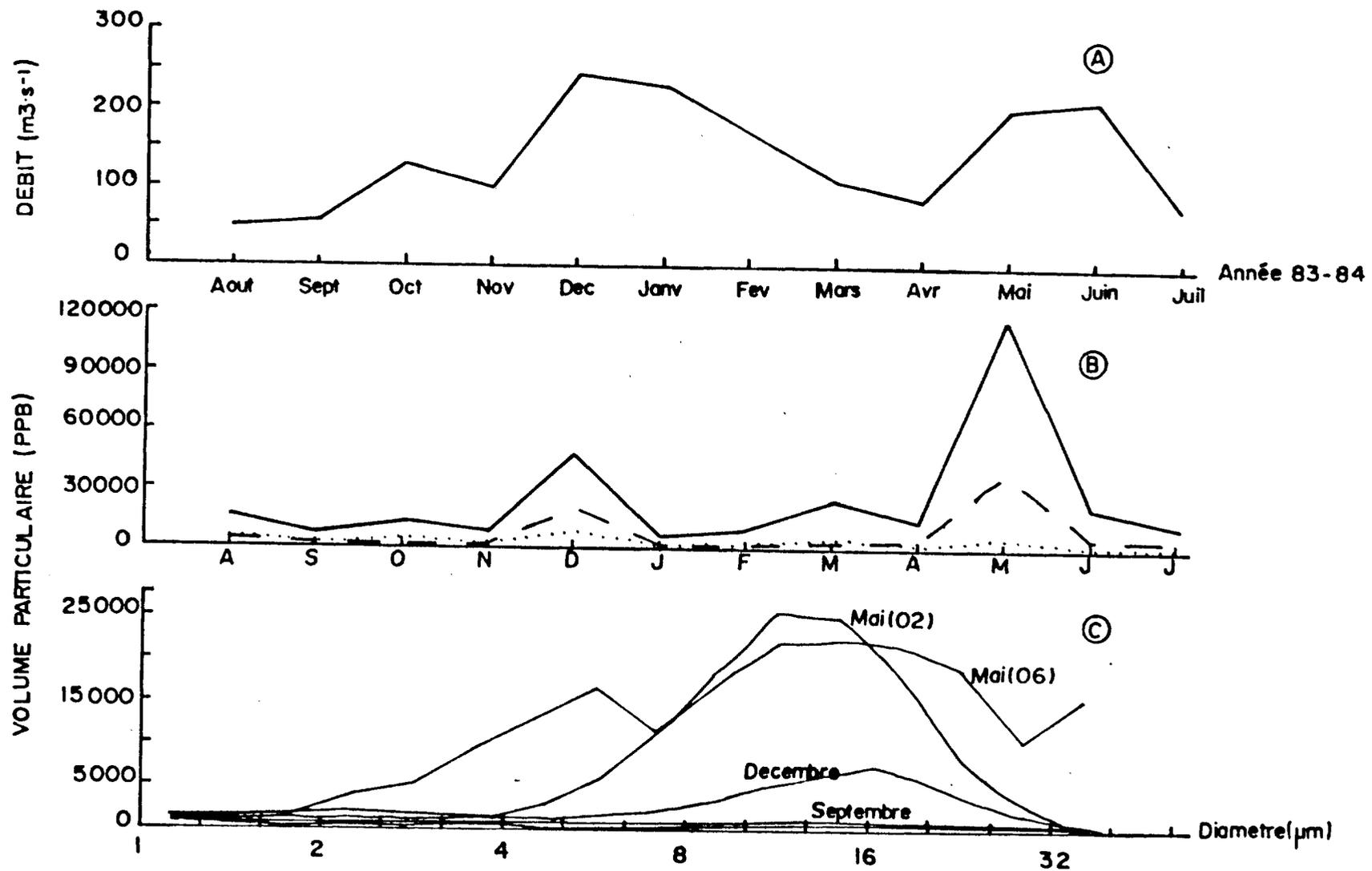


Fig. 18 : Evolution mensuelle des débits liquides et volumes particulaires dans le canal E.D.F. à St-Chamas.

Partie A : Evolution mensuelle des débits liquides (m³)

Partie B : Evolution mensuelle des volumes particulaires :

— 1,2 μm (particules <math>< 50 \mu m</math>

- - - 11 μm (particules <math>< 22 \mu m</math>

..... particules <math>< 3,6 \mu m</math>

Partie C : Tracés de quelques spectres de taille du MPS en volume

III.2 .5. Le canal E.D.F. à Saint-Chamas

III.2.5.1. Granulométrie du MPS

1. Structure et richesse du MPS

a) Evolution mensuelle

Les fluctuations mensuelles du volume des suspensions transitant par le canal usinier E.D.F. sont représentées dans la figure 18 .b. Les résultats chiffrés sont groupés dans le tableau A.VI.(annexe).

La charge particulaire des eaux du canal varie de 1 à 25 selon le prélèvement examiné, on observe :

- des turbidités faibles inférieures à 10000 ppb aux mois de septembre, octobre et février ;
- des teneurs en MES, comprises entre 10000 et 25000 ppb dans la plupart des échantillons. Ces valeurs semblent constituer un niveau de concentration moyen pour des eaux duranciennes, et les fluctuations enregistrées dans cette gamme sont difficiles à expliquer car elles ne sont pas directement liées aux débits liquides ponctuels ;
- des charges particulaires maximales supérieures à 50000 ppb induites par d'abondantes précipitations en décembre ($Q_p = 248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et une petite crue printanière en mai.

Le volume des particules argileuses ($< 3,6 \mu\text{m}$) en suspension évolue entre 1878 ppb au mois d'avril et 14675 ppb dans un prélèvement de l'épisode pluvieux de mai. La proportion de cette fraction minérale atteint fréquemment 20 à 30 % du volume particulaire total dans les prélèvements du canal usinier, mais durant les 7 jours d'échantillonnage du mois de mai, cette phase granulométrique ne représente plus que 3 à 9 % du volume de MPS total.

La nature de la distribution de taille des particules est donc très différente d'un régime hydrologique à l'autre :

- En période "d'étiage", les spectres granulométriques ont un tracé plat, indiquant un enrichissement comparable dans toutes les classes de taille, avec des différences mensuelles minimales. Les limons en suspension dans le canal E.D.F. sont très hétérométriques avec une taille moyenne (ρ 50 %) des particules située entre 6 et 8 μm selon le prélèvement (spectres de type A1- ou A2-).
- Quelques échantillons ne présentent pas cette composition granulométrique "classique". Il s'agit des prélèvements des mois de décembre, mai et juin caractérisés par des turbidités variables, mais pour lesquels les débits liquides observés sont très élevés ($Q > 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Les spectres possèdent un ou plusieurs pics d'abondance vers le pôle grossier (décembre, mai 03, mai 06) corrélatifs à

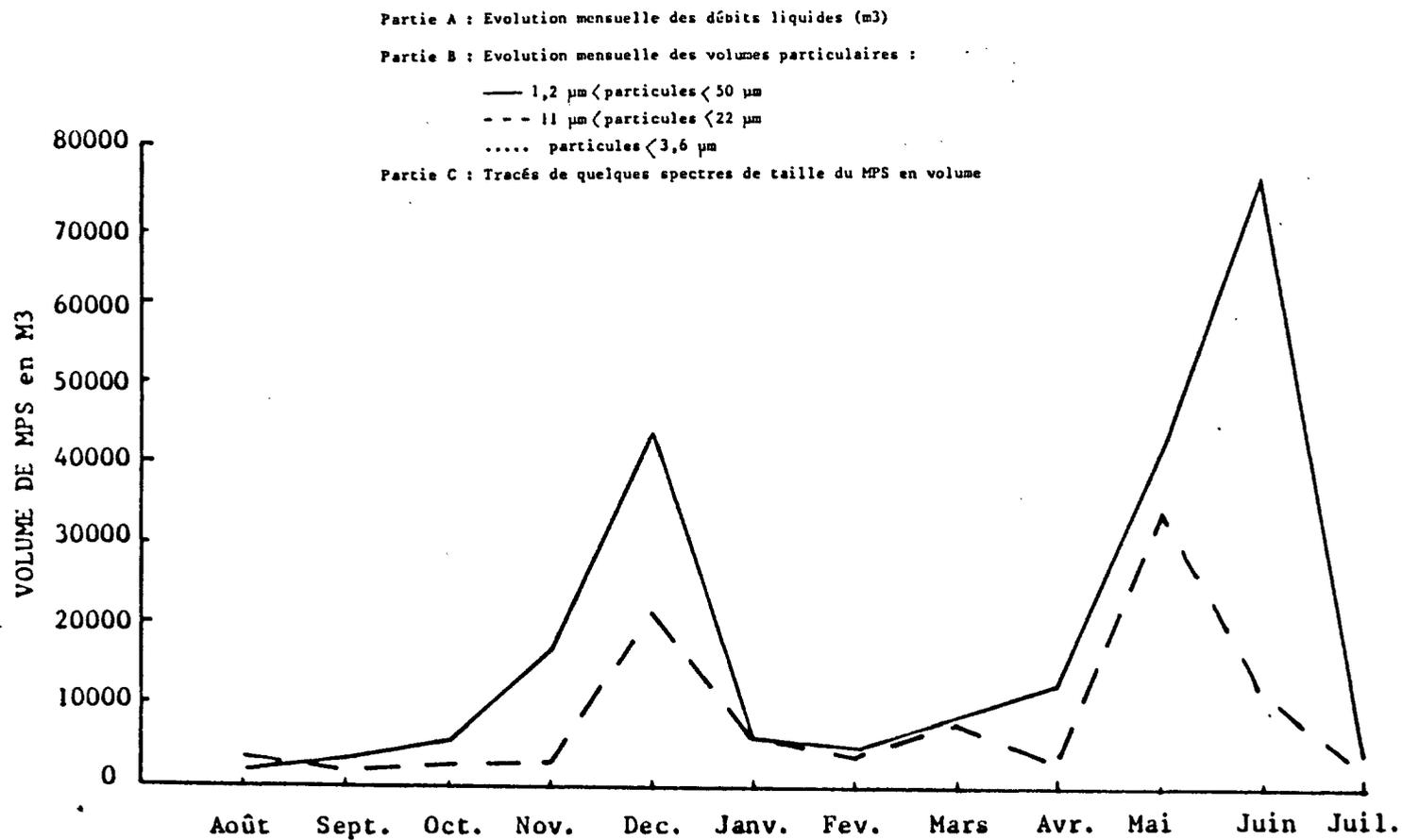


Fig. 19 : Comparaison des évaluations de flux solides mensuels dans le canal EDF.

————— Données Société du Canal de Provence;
 - - - - - Estimations par comptages particulaires au COULTER COUNTER.

une remise en suspension de particules supérieures à $8 \mu\text{m}$ par un effet de chasse hydraulique.

En décembre se superposent deux populations granulométriques avec un mode dû aux argiles ($< 5 \mu\text{m}$) et une abondance en particules $> 10 \mu\text{m}$.

Dans ces échantillons (décembre, mai, juin) la taille moyenne des suspensions augmente sensiblement pour se situer entre 18 et $25 \mu\text{m}$.

Les spectres (de type A2+ ou A1+) caractéristiques de ces prélèvements sont tronqués vers le pôle grossier indiquant la présence en quantité de particules supérieures à $50 \mu\text{m}$ dans les eaux du canal usinier.

En conclusion, on peut affirmer que 70 à 90 % du volume des apports solides exceptionnels dus aux crues ou aux fontes de neige sont constitués par des particules de diamètre supérieur à $10 \mu\text{m}$.

b) Cycle journalier du MPS (fig. 10 .b)

L'échantillonnage de 24 heures a débuté le 29 septembre 1983 à 10 heures, les mesures granulométriques sont faites toutes les heures.

La charge particulaire fluctue entre 7200 et 14380 ppb sans influence apparente de l'heure du prélèvement sur sa turbidité. En effet les maxima se situent à 11 heures et 1 heure, alors que les minima sont trouvés dans les échantillons de 15 heures, 23 heures et 3 heures. Il semble difficile de déceler une périodicité journalière de la turbidité des eaux du canal E.D.F.

La solution consisterait à effectuer les analyses sur des prélèvements continus de 24 heures.

2. Calcul des flux solides (Tab. A.VI en annexe).

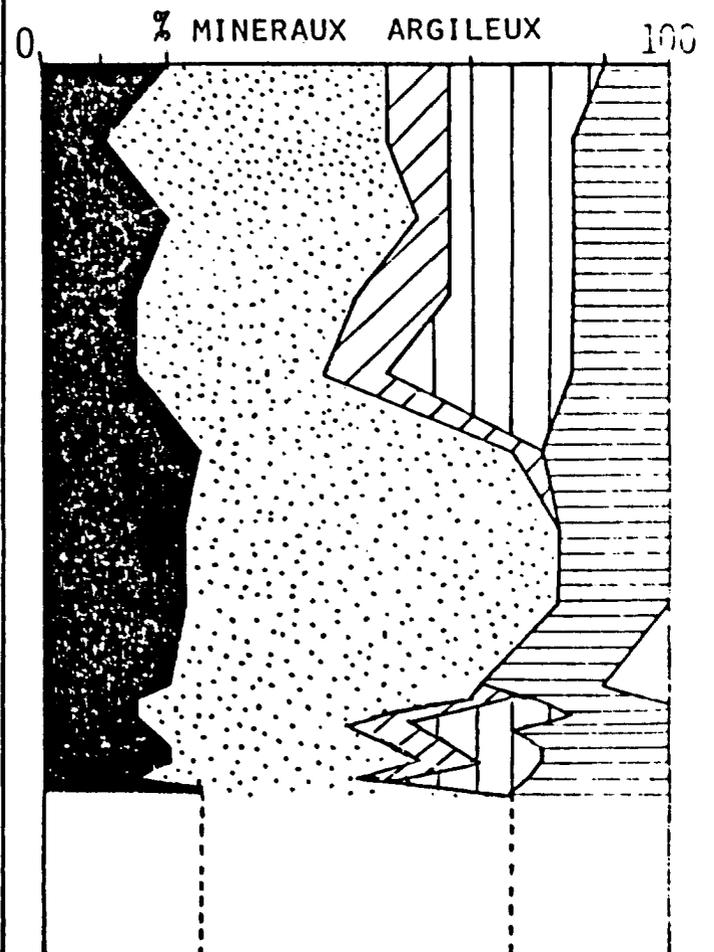
On met en évidence une corrélation médiocre des apports solides (mesurés en volume) avec l'hydraulicité enregistrée à Saint-Chamas ; $r = 0,583$ est significativement différent de 0 au seuil de 5 % avec 16 degrés de liberté. Cette indépendance relative entre les deux paramètres est normale car les apports liquides du canal usinier dépendent de facteurs multiples (demande en électricité, irrigation, alimentation urbaine...).

Les estimations des apports mensuels en MES, à partir d'une donnée ponctuelle, seront donc relativement imprécises.

Au total, le flux particulaire solide déversé dans l'étang de Berre entre août 1983 et juillet 1984 représente 101036 m^3 correspondant à un tonnage approximatif de 150000 tonnes, pour une densité moyenne de 1,5.

Les minimums mensuels, de l'ordre de 2 à 3 milliers de m^3 apparaissent en été et au début de l'automne, aux mois d'octobre et novembre.

| Dates de prélèvement | | Taille de la frc. analysée | C | I | CGI | S | K | A | Q | F | G | |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|---|----|
| DURANCE - CANAL USINIER EDF ST-CHAMAS | 31 Août | < 2 µm | 20 | 35 | 10 | 25 | 10 | - | MA | R | - | |
| | 27-28 Septembre | < 2 µm | 10 | 45 | 10 | 20 | 15 | x | MA | R | - | |
| | | | 15 | 40 | 10 | 25 | 15 | x | R | - | - | |
| | 24 Octobre | < 2 µm | 20 | 40 | 5 | 20 | 15 | x | MA | MA | - | |
| | 30 Novembre | < 2 µm | 15 | 35 | 15 | 20 | 15 | - | MA | - | - | |
| | 22 Décembre | < 2 µm | 15 | 30 | 10 | 30 | 15 | - | MA | R | - | |
| | 18 Janvier | < 2 µm | 25 | 50 | 5 | x | 20 | - | A | MA | - | |
| | 29 Février | Filtre | x | x | - | - | x | - | R | - | - | |
| | 28 Mars | < 8 µm | 23 | 60 | x | - | 17 | - | MA | - | R | |
| | 25 Avril | < 8 µm | 20 | 50 | - | - | 20 | 10 | R | - | - | |
| | 22-23 Mai | } Crue | < 8 µm | 15 | 55 | 10 | x | 20 | - | A | R | - |
| | 23-24 Mai | | | 15 | 50 | 10 | 10 | 15 | - | A | ? | - |
| | 24-25 Mai | | | 15 | 35 | 10 | 20 | 20 | - | A | R | - |
| | 25-26 Mai | | | 20 | 35 | 10 | 15 | 20 | x | A | R | MA |
| 26-27 Mai | 20 | | | 40 | 10 | 10 | 20 | x | A | R | - | |
| 27-28 Mai | 15 | | | 35 | 10 | 20 | 20 | - | A | A | R | |
| 28-29 Mai | 25 | | | 60 | - | - | 15 | - | A | MA | - | |
| 27 Juin | < 8 µm | x | xx | - | - | x | - | R | - | - | | |
| 17 Juillet | < 8 µm | x | xx | - | - | x | x | ? | - | - | | |



MINERAUX ARGILEUX :

-  CHLORITE (C)
-  ILLITE (I)
-  INTERSTRATIFIES (CGI)
-  SMECTITE (S)
-  KAOLINITE (K)
-  ATTAPULGITE (A)

Fig. 20 : Composition minéralogique du MPS du canal usinier EDF à St-Chamas.

MINERAUX ASSOCIES :

- Q = QUARTZ
- F = FELDSPATH
- G = GYPSE
- Absence de résultat semi-quantitatif
- Absent
- x Présent en faible quantité
- xx Présent en abondance
- A Abondant
- MA Moyennement abondant
- R Rare

Les maximums mensuels, 10 fois plus élevés, sont liés aux crues de la Durance qui induisent une forte turbidité des eaux du canal usinier. On les rencontre aux mois de décembre, mai et juin.

D'après des données fournies par la société du canal de Provence, le cumul des flux solides mensuels transitant par le canal E.D.F. s'élève à 223273 m³.

Cette valeur est 2,2 fois supérieure à notre estimation, et l'on constate que la discordance entre les flux mensuels obtenus par les deux parties est très accentuée aux mois de décembre, novembre, avril et juin (fig. 19).

Deux raisons peuvent expliquer cette divergence des résultats :

- Les flux solides journaliers observés dans le canal E.D.F. montrent des variations extrêmes de 1 à 4000 dans un même mois (mars). La sous-estimation sera donc très grande lorsque le prélèvement ponctuel sur lequel nous basons nos calculs présente une turbidité très inférieure à la turbidité journalière maximale du mois considéré. Par exemple, au mois de juin 1984, 28,5 % du flux solide mensuel est apporté en 2 jours (4 et 24 juin), et au mois d'avril les apports particuliers enregistrés en 2 jours représentent 65,6 % du volume total mensuel.
- De plus les mesures au Coulter Counter ne prennent pas en compte les particules de diamètre supérieur à 50 μm , pourtant abondantes en décembre et juin. En régime hydrologique d'étiage 10 à 20 % des suspensoïdes du canal usinier sont supérieures à 45 μm (in, ROUX, 1983).

L'intérêt des analyses granulométriques au Coulter Counter, pour des eaux du canal d'E.D.F., réside donc surtout dans une meilleure connaissance de la composition du spectre de taille des particules et de ses variations en fonction du régime hydraulique et de la saison.

III.2 .5.2. Minéralogie des argiles (fig. 20)

La composition du spectre des minéraux argileux des MES du canal usinier, n'est pas tout à fait conforme aux estimations généralement admises qui indiquent une dominance quasi constante de l'illite (7/10e à 8/10e) secondairement associée à la chlorite (2/10e à 3/10e) (in, ROUX, 1983).

En effet les associations argileuses décelées dans les suspensoïdes du canal sont hétérogènes, avec une dominance plus ou moins marquée de l'illite selon la date de prélèvement.

Le cortège argileux comporte une proportion relativement constante de chlorite (15-25 %) et de kaolinite (10-20 %), le long de l'année.

Par contre les pourcentages relatifs du couple smectite-illite montrent des fluctuations liées à la date d'échantillonnage ; on constate que :

- Dans les échantillons d'août à décembre, l'illite ne représente que 30 à 45 % des argiles totales, et elle est toujours associée à de la smectite assez abondante (20 à 30 %). Au mois de décembre (fortes précipitations) ces deux minéraux existent en quantités égales (30 %) dans le cortège minéral.

L'illite est héritée des marnes noires jurassiques du bassin versant moyen de la Durance, et à un degré moindre des roches endogènes du bassin supérieur alpin.

L'enrichissement en smectite est essentiellement dû au lessivage des poudingues de Valensole (6/10e de smectite) situés dans la partie inférieure du bassin moyen durancien (COLOMB et ROUX, 1979). Les faciès de limons rouges miocènes du bassin de Cucuron (Basse-Durance) sont caractérisés par des spectres à très fortes proportions de smectites (95 à 100 %) (CLAUZON et ROBERT, sous presse).

L'association de la smectite à l'illite apparaît donc comme un phénomène normal résultant du mélange de limons issus de la moyenne et de la basse Durance.

En période de crue (mai), on constate que les MES contiennent entre 0 et 20 % de smectite, avec une augmentation de la part de ce minéral corrélative à de forts débits liquides (Sm = 20 % pour mai 03 et mai 06).

- Entre janvier et avril, et aux mois de juin, juillet, la smectite est totalement absente du cortège minéral. L'illite représente alors entre 50 et 60 % de l'association argileuse. Les échantillons analysés proviennent sans doute d'eaux de fonte des neiges des bassins supérieur et moyen supérieur de la Durance (avril, juin, juillet).

C O N C L U S I O N

En conclusion nous reprendrons les principaux résultats d'ordre granulométrique et minéralogique obtenus pour chacun des affluents.

L'information sera rassemblée dans trois tableaux, permettant :

- d'une part d'établir un bilan quantitatif et qualitatif global des apports sédimentaires fluviatiles à l'étang de Berre ;
- d'autre part de comparer les caractéristiques générales du MPS des cinq rivières considérées.

A - VOLUME PARTICULAIRE ET COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DU MPS

Les résultats groupés dans le tableau III permettent de caractériser chaque station hydrologique par sa charge particulaire moyenne annuelle, et d'évaluer la part de la fraction minérale argileuse.

Tableau III

| Stations hydrologiques | ARC | | TOULOUBRE | CADIERE | Galerie OLIVIER | Canal E.D.F. |
|---|--------|--------|-----------|---------|--------------------|-----------------|
| | Mauran | Gordes | | | | |
| 1 μ m < particules < 50 μ m Vol.moyen annuel (ppb) | 11243 | 10777 | 20013 | 14386 | 25548 | 23911 |
| Particules < 3,6 μ m Vol.moyen annuel (ppb) | 1989 | 1996 | 2461 | 1758 | 2069 | 3734 |
| Pourcentage de volume particulaire total | 17,7 % | 18,5 % | 12,3 % | 12,2 % | 8,1 % | 15,6 % |

a) On constate que le volume particulaire moyen varie de 1 à 2,5 selon la station hydrologique considérée : la turbidité qui est maximale dans les eaux de la galerie de l'Olivier, reste très élevée dans le canal E.D.F. et la Touloubre. Par contre les eaux de l'Arc se caractérisent par un MPS relativement pauvre, quantitativement deux fois moins important que celui de la Touloubre. Les prélèvements de la Cadière présentent une concentration particulaire intermédiaire s'élevant à 14386 ppb.

b) De même, les proportions des diverses fractions granulométriques du MPS fluctuent sensiblement d'une rivière à l'autre. En effet la fraction minérale inférieure à $3,6 \mu\text{m}$ est 1,5 à 2 fois plus élevée dans les eaux du canal E.D.F. que dans les autres prélèvements.

Cette fraction granulométrique fine est généralement très mal représentée dans les échantillons de la galerie de l'Olivier (8,1 % du volume particulaire total). Dans les autres stations, les particules argileuses constituent en moyenne 12 à 18,5 % de la population particulaire en suspension.

Les variations quantitatives annuelles des différentes fractions granulométriques sont décrites pour chaque rivière au chapitre précédent, et nous nous bornerons à rappeler les deux principaux phénomènes mis en évidence.

- En période de "crue" ou de précipitations fortes, les particules de diamètre supérieur à $10 \mu\text{m}$ représentent plus de 70 % du volume particulaire total, quelle que soit la station hydrologique considérée.

- Par contre le volume des particules fines n'augmente que très peu durant les épisodes pluvieux.

Les forts débits liquides s'accompagnent de fortes charges particulaires induites par la mise en suspension de "grosses particules" supérieures à $10 \mu\text{m}$, l'effectif en "particules fines" ne varie au maximum que du simple au double dans ces eaux de lessivage.

B - COMPOSITION MINERALOGIQUE DU MPS

Dans le tableau IV, sont donnés les pourcentages moyens annuels des minéraux argileux trouvés en suspension dans les eaux des rejets à l'étang de Berre. Ces résultats concernent principalement la fraction inférieure à $2 \mu\text{m}$, ou, accessoirement, la fraction inférieure à $8 \mu\text{m}$.

Tableau IV

| Stations hydrologiques | ARC | TOULOUBRE | CADIERE | Canal E.D.F. |
|------------------------|------|-----------|---------|-----------------|
| Illite | 35 | 37,5 | 30 | 42,5 |
| Smectite | 25 | 20 | 35 | 15 |
| Chlorite | 15 | 15 | 15 | 20 |
| Kaolinite | 12,5 | 12,5 | 10 | 15 |
| Interstratifiés | 12,5 | 15 | 10 | 7,5 |

On constate que :

- Les cortèges argileux décelés se caractérisent par une dominance marquée de l'illite dans les MPS du canal E.D.F. ; cette dominance de l'illite s'atténue dans les prélèvements de l'Arc et de la Touloubre où elle est secondairement associée à la smectite ;
- La chlorite et la kaolinite ont des proportions analogues dans les mélanges argileux des quatre "cours d'eau" considérés ;
- La Cadière se distingue des autres rivières par une association argileuse à smectite légèrement dominante sur l'illite.

Au cours des épisodes pluvieux, la proportion de smectite tend à augmenter dans le matériel particulaire en suspension dans l'Arc, la Touloubre et la Cadière, alors que dans le MPS du canal E.D.F., c'est le pourcentage d'illite qui s'accroît sensiblement, corrélativement à une diminution notable de la smectite.

Le phénomène de dominance exclusive d'un minéral au détriment des autres en fonction des conditions hydrologiques devra être précisé par des analyses diffractométriques du MPS prélevé lors de crues importantes (absentes pendant l'année de mesure).

C - ESTIMATION DES FLUX ANNUELS GLOBAUX (Tab. V)

Tableau V

| Stations hydrologiques | ARC | | TOULOUBRE | CADIÈRE | OLIVIER | Canal E.D.F |
|--|--------|--------|-----------|---------|---------|-------------|
| | Gordes | Mauran | | | | |
| <u>1 µm < particules < 50µm :</u> | | | | | | |
| Flux annuel corrigé (m ³) | 172,7 | 1035,9 | 1670,7 | 804,8 | 355,6 | 120769,7 |
| Pourcentage des apports fluviatiles totaux | 0,98% | | 1,34% | 0,64% | 0,28% | 96,76% |
| <u>Particules < 3,6 µm :</u> | | | | | | |
| Flux annuel (m ³) | 29,2 | 146,4 | 194,9 | 85,6 | 25,8 | 16760,5 |
| Pourcentage des apports fluviatiles totaux | 1,02% | | 1,13% | 0,50% | 0,15% | 97,2% |

La correction porte sur le nombre de jours de crue dans l'année de mesure, soit 30 jours pour l'Arc, la Touloubre et le canal E.D.F et 15 jours pour la Cadière.

a) Selon les résultats de notre étude, le volume total des matériaux déversés dans l'étang de Berre entre les mois d'août 1983 et juillet 1984 s'élève à 124809,4 m³.

Les apports solides transitant par le canal E.D.F. représentent à eux seuls 120769,7 m³ pour l'année de mesure, soit plus de 96% du volume total, alors que les flux solides libérés par les autres cours d'eau s'élèvent à 4039,7 m³, soit seulement 3,24% des apports particulaire globaux.

Les particules fines inférieures à 3,6 µm totalisent 17242,4 m³ soit 13,81% du volume particulaire total libéré dans l'étang de Berre.

b) Le petit nombre de prélèvements utilisés pour l'évaluation des débits solides annuels, ainsi que l'absence de mesure des particules supérieures à 50 µm, conduisent à une sous-estimation de volumes particulaire en suspension.

Ainsi les apports solides E.D.F., mesurés par comptage particulaire au Coulter Counter ne correspondent qu'à la moitié des apports limoneux réels tels qu'ils ressortent des données E.D.F.

Si l'on étend cette constatation, cela conduit à admettre que les autres apports particulaire sont sous-estimés d'autant. Au total, plus de 8000 m³ de MES seraient déversés dans l'étang de Berre (E.D.F. excepté), mais les résultats des divers affluents restent difficiles à comparer du fait de différences de composition du MPS de chacun d'eux (MPS essentiellement minéral dans les eaux du canal E.D.F., et organique dans la galerie de l'Olivier).

c) Cependant, les proportions relatives des apports solides fluviatiles sont très comparables aux évaluations de débits liquides proposées par le SRAE : le canal E.D.F. totalise 95,14 % des apports liquides et 96,76 % du volume solide annuel total arrivant à l'étang de Berre.

CHAPITRE IV

QUALITE DES EAUX

La méthodologie d'échantillonnage a été présentée dans le chapitre II.

Ce chapitre fait le point sur les analyses et les résultats trouvés dans le domaine de la qualité des eaux.

IV.1 Méthodologie analytique

Qu'il s'agisse d'un prélèvement ponctuel ou moyen, les mesures ont été engagées le plus rapidement possible : le soir même pour certains paramètres (DBO5) ou dès le lendemain avec conservation en congélateur durant les trajets et en enceinte frigorifique au laboratoire.

Les méthodes analytiques utilisées sont pour la plupart normalisées et préconisées par la réglementation européenne en matière de contrôle de qualité d'eau.

Les paramètres mesurés ont été les suivants :

IV.1.1 Sur le site

- température de l'air et de l'eau (thermomètres à mercure)
- le pH par électrométrie selon la norme AFNOR T.90.008, avec :
 - . pour le S.R.A.E. pHmètres PONSELLE
 - . pour la S.C.P. pHmètres TACUSSEL
- la conductivité électrique à 20°C par électrométrie selon la norme T.90.031 (matériels PONSELLE et TACUSSEL)
- l'oxygène dissous immédiat par méthode chimique dite de WINCKLER c'est-à-dire par volumétrie (NF T.90.106)

IV.1.2 En laboratoire

| Paramètres et normes | S.R.A.E. | S.C.P. |
|---|--|--|
| Demande biochimique en oxygène DB05 NFT 90 103 * | Oxymétrie Matériel PONSELLE | Voie chimique Méthode de Winckler |
| MATIERES en suspension totales NF T 90 105 * | Filtration sur disques MILLIPORE | Filtration sur disques SARTORIUS |
| AZOTE AMMONIACAL ~ Méthode au bleu d'indophénol NF T 90 015 | Spectrophotométrie Philips SP 6 | Spectrophotométrie Perkin ~ Elmer E 55 |
| AZOTE NITREUX ~ Diazotation de la sulfanilamide NF T 90 013 | - d° - | - d° - |
| AZOTE NITRIQUE Spectrophotométrie | Méthode au salicylate de Sodium ~ NF T 90 012 Philips SP 6 | Réduction sur amalgame Cd/cu et dosage des nitrites par diazotation Perkin ~ Elmer E 55 |
| AZOTE KJELDAHL NF T 90 110 * | Dosage acidimétrique après minéralisation et distillation - Digesteur BUCHI 425 Unité de distillation BUCHI 320 | |
| ORTHOPHOSPHATES NF T 90 023 Formation d'un complexe phospho-molybdique | Spectrophotométrie PHILIPS SP 6 | Spectrophotométrie Perkin Elmer E 55 |
| PHOSPHORE TOTAL | Minéralisation préalable (BUCHI 425) puis dosage des orthophosphates comme précédemment | |
| SILICE NF T 90 007 Formation d'un complexe Silico molybdique | Spectrophotométrie PHILIPS SP 6 | Spectrophotométrie PERKIN - ELMER E 55 |

* Remarques

La DBO5 a été mesurée également avec ajout de Thio-urée. Le but de cette manipulation étant d'évaluer la part qui revient aux processus de nitrification. Le blocage attendu n'a pas paru toujours évident.

Les matières minérales ont été mesurées à partir des disques ayant retenu les matières en suspension totales. Le passage au four à moufle à 600° élimine les matières organiques volatiles et permet d'obtenir les différents résultats par pesées successives et opérations de soustraction.

L'azote Kjeldahl a été mesuré sur eau brute et eau décantée avec l'idée de distinguer la fraction éventuellement adsorbée sur le matériel particulaire. Comme pour la DBO5 avec Thio-urée, la fiabilité de ce type de mesure n'apparaît pas constante.

IV.2 Analyse critique des résultats

IV.2.1 L'Arc

IV.2.1.1 Données générales - En dehors de la Durance, l'Arc draine le bassin versant le plus vaste au regard de l'Etang de Berre (750 km² environ).

Prenant sa source à 437 m au Mont Olympe, son cours, de plus de 70 km, traverse deux barres calcaires qui séparent trois ensembles de plaines :

- la dépression de Trets-Rousset,
- la cuvette argileuse d'Aix-Les Milles,
- et la plaine alluviale terminale de La Fare-Berre.

Ce bassin compte 25 communes (23 dans les Bouches-du-Rhône, 2 dans le Var) qui regroupent environ 203 000 habitants.

IV.2.1.1.1 Rejets urbains - 22 communes sont équipées de stations d'épuration :

- . 12 à boues activées (Cet ensemble correspond à
- . 4 en aération prolongée) une capacité de 200 800
- . 6 lits bactériens (Eq/Hab.

Une dizaine de rejets sont très directement reliés à l'Arc, les autres sont plus lointains et arrivent par l'intermédiaire de petits ruisseaux affluents.

Les principales unités d'épuration concernent :

- . Aix-en-Provence : 125 000 EH (soit plus de la moitié de la population
- . Gardanne 13 000 EH) du bassin versant.

Compte-tenu du faible débit constaté sur le haut bassin de l'Arc (stations limnigraphiques de Pourrières et de Pont de Bayeux), on peut dire que les apports artificiels constituent une large part du débit global ; ce débit augmente d'ailleurs significativement à partir de l'agglomération aixoise.

| Paramètres | | Unités | Valeurs | | | Ecart type σ_n |
|--------------------------------|----------------------|------------|--|---------|--------------|--------------------------|
| | | | minimale(s) | Moyenne | maximale (s) | |
| Températures | Air | °C | 7°1 | | 29°8 | |
| | Eau | °C | 7°3 | 14°7 | 22°6 | 5°2 |
| pH | | pH | 7,5 | 7,8 | 8,3 | 0,2 |
| Conductivité à 20°C | | μS | (380) | 651 | 844 | 90 |
| Oxygène | dissous immédiat. | mg/l | (4,5) - 5,1 | 7,7 | 10,6 | 1,4 |
| | % de saturation | O_2 % | (46) - 60 | 78 | 104 | 12 |
| DBO ⁵ | Eau brute | mg/l | 1,3 | 3,9 | 6,5 - (16) | 2,8 |
| | Eau brute + Thiourée | O_2 | 0,8 | 2,5 | 3,6 - (12) | 1,8 |
| Sels ammoniacaux en NH_4^+ | | mg/l | traces | 0,6 | 1,3 - (4,2) | 0,57 |
| Nitrites en NO_2^- | | mg/l | 0,04 | 0,5 | 1,1 | 0,31 |
| Nitrates en NO_3^- | | mg/l | (12) - 14 | 23 | 31 | 6 |
| Azote Kjeldahl | Eau brute | mg/l | 1 | 2,5 | 4 - (5) | 0,94 |
| | Eau décantée | N | 0,5 | 1,9 | 3,3 - (4,3) | 0,78 |
| Oxydabilité à froid en 4 h. | | mg/ O_2 | 1 | 2 | 4,5 - (6,5) | 0,8 |
| Orthophosphates en PO_4^{3-} | | mg/l | 1,9 | 4,5 | 7,8 | 1,7 |
| Phosphore total en P | | mg/l | 0,68 | 1,7 | 2,5 | 0,5 |
| Matières en suspension | Totales NEST | mg/l | 1 | 13,4 | 14,7 - (258) | 17,6 |
| | Organiques MESO | mg/l | 0,4 | 4,6 | 6,5 - (74) | 6 |
| | Minérales MMin | mg/l | 0,6 | 8,7 | 11 - (184) | 12,1 |
| Silice en SiO_3^{2-} | | mg/l | 4,4 | 15,3 | 24 | 7,2 |
| Observations | | | Les valeurs signalées () correspondent à des épisodes de crues ou de lessivage. | | | |

Valeurs moyennes - minimales et maximales
des paramètres physico-chimiques.

TABLEAU VI

67

IV.2.1.1.2 Rejets industriels - Plusieurs noyaux sont à considérer :

- La zone de Rousset avec : les porcheries SOCAER (120 000 Eq/Hab.) souvent responsables de pollutions accidentelles, l'usine de pesticides PEPRO (Endosulfan - HCH), et les sociétés ORGA-META (calcium - nickel), FOURNIER DELILLE (détergents - produits ammoniaqués), CHARFA COFIRA (pigments) ou encore une usine de composants électroniques (EUROTECHNIQUE) (pollution métallique possible).
- L'agglomération de Gardanne et la zone du ruisseau de Luynes qui abritent :
 - . la centrale thermique : pollution minérale et thermique,
 - . Aluminium Pechiney : Al - soude,
 - . la société LEVRAUT : retraitement de plastiques,
 - . la société MARMOSA : poudre de carrelages.

Quelques rejets sont à considérer au niveau de la Zone Industrielle des Milles mais ils passent par des stations d'épuration.

On signalera enfin, les exploitations de graviers Malfatto à hauteur de Coudoux.

Sur le cours inférieur de l'Arc, il faut mentionner qu'un certain déficit de débit peut exister à cause de l'existence de prises (canaux de La Fore, 350 l/sec, et de la Bosque : 150 l/sec) et de l'importante dérivation dite du "Canal de Gordes", qui dirige en permanence 500 l/sec vers la Raffinerie Shell de Berre.

Une certaine réalimentation à partir de la nappe est cependant admise vers l'embouchure.

Les deux principaux bras de l'Arc : cours normal et canal de Gordes, ont été distingués lors de cette étude.

IV.2.1.2 Arc à Mauran - D'après les relevés antérieurs (inventaire national, études S.R.A.E. et des Facultés) on s'accorde généralement à dire que le maximum de pollution se situe à Saint-Pons. A partir de Roquefavour, l'auto-épuration commence à jouer jusqu'à l'embouchure.

IV.2.1.2.1 Concentrations tableaux B.I, B.II (annexes)
tableau VI, fig. 21, 22

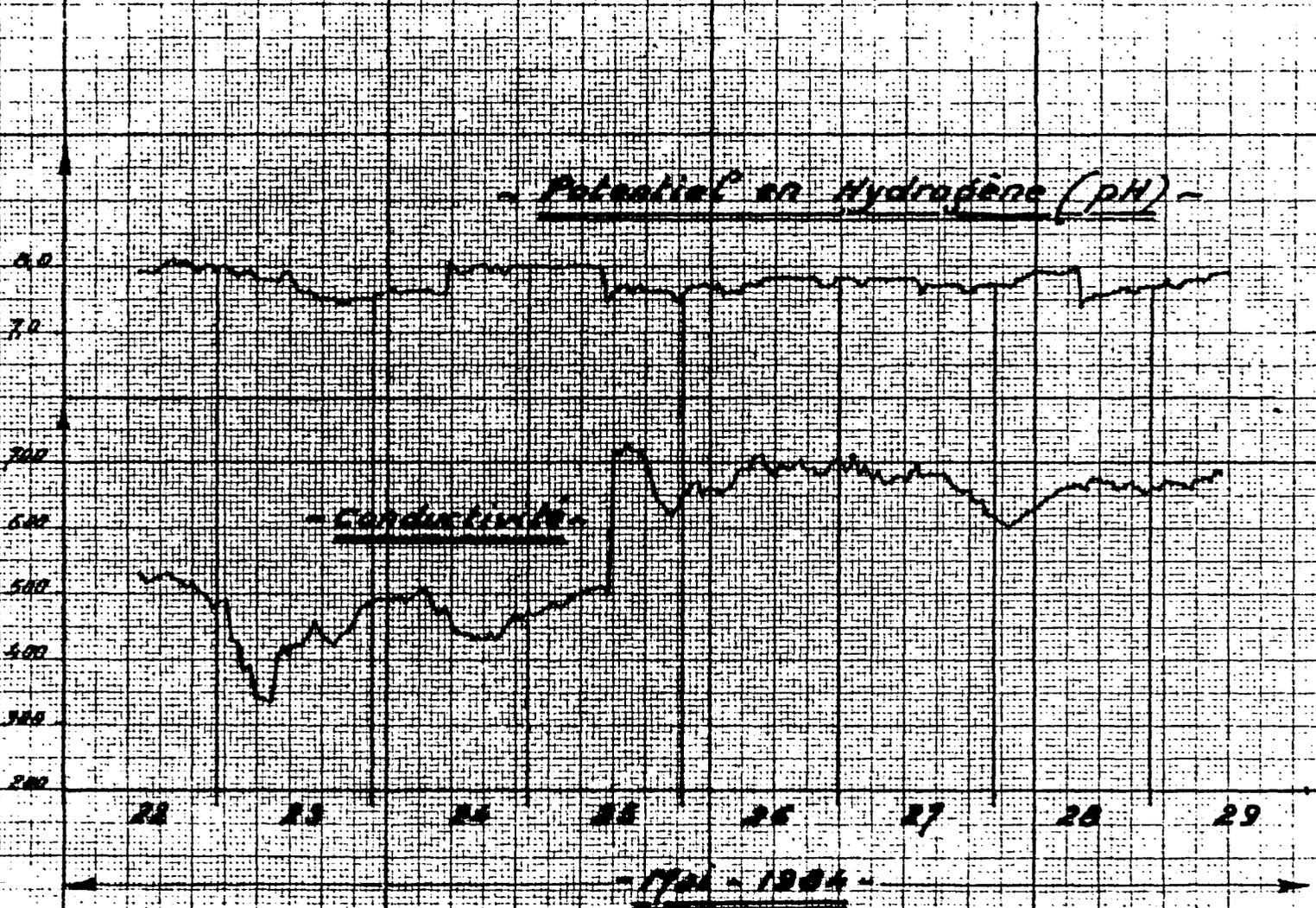
L'analyse des valeurs montre que :

- le pH est assez peu variable mais moins basique que prévu à cause de la proportion relative des rejets qui tempèrent le pouvoir tampon des eaux,

ARC - Pont de Mauran -

Variations Horaires du pH et de la Conductivité du 22 au 29 Mai 1984

Conductivité en $\mu S/cm$
pH

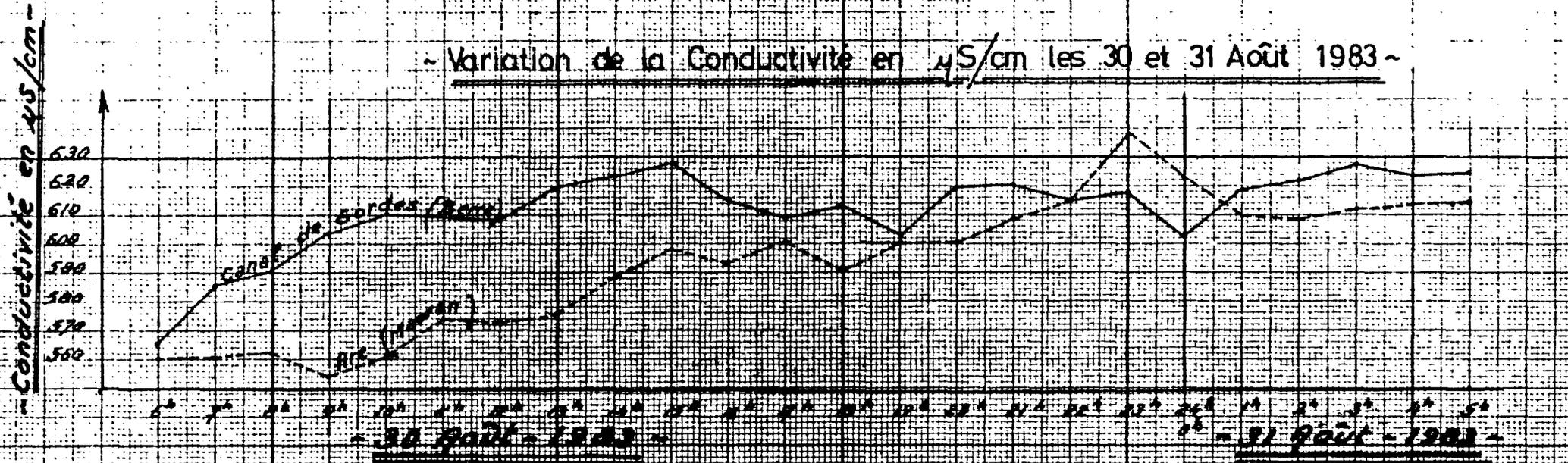


69

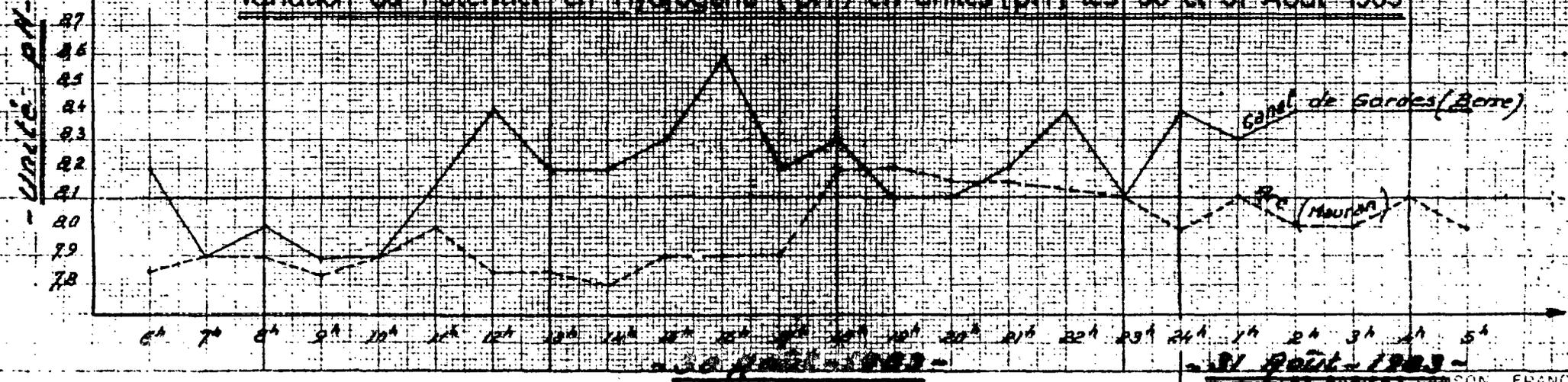
- CANAL DE GORDES - Amont Usine Shell de Berre - l'Etang -

- ARC - Pont de Mauran -

- Variation de la Conductivité en $\mu S/cm$ les 30 et 31 Août 1983 -



- Variation du Potentiel en Hydrogène (pH) en unités [pH] les 30 et 31 Août 1983 -



70

- la conductivité peut varier dans d'assez fortes proportions et s'abaisse notablement en cas de lessivage. L'onde de pollution urbaine paraît se ressentir vers minuit à Mauran (30 - 31/8/83) mais de façon amortie,
- le pourcentage en oxygène peut chuter de 40 % dans les conditions normales et encore plus en crue. Cette action à distance est révélatrice d'une intense activité biochimique. Des sursaturations estivales dues aux algues sont à noter. Dans l'ensemble le déficit en O₂ est important.
- la DBO₅ est variable et signale une eau douteuse. La remise en suspension des vases peut tripler la DBO₅ de crue,
- le cas des MES est intéressant à examiner car si les valeurs fluctuent entre 1 et 15 mg/l dans les conditions normales, les concentrations sont multipliées par 15 ou 20 en cas de crue avec une nette prédominance pour les matières minérales (MO/Mmin = 1/2).

En étiage, les eaux sont généralement claires, peu chargées car les décantations et la filtration par les algues jouent,

- les transformations azotées sont relativement actives car, si l'ammoniaque traduit une pollution résiduelle inégale d'un mois à l'autre, les teneurs en nitrates sont révélatrices d'un effet minéralisateur efficace (effet de parcours ou de distance). La comparaison en % N total ~ N Kjeldahl montre que les processus sont actifs bien que les teneurs en nitrites traduisent la persistance d'un déséquilibre notable.
- les apports phosphorés sont loin d'être négligeables mais la minéralisation est comparativement plus efficace que celle de l'azote, quelquefois (90 à 100 %).

Globalement, on retiendra une auto-épuration incomplète mais assez active et un effet de crue qui joue surtout par l'élévation :

- MES, (
- de la DBO₅,)
- de l'azote organique, (remise en suspension des vases.
- de l'ammoniaque,)
- de l'oxydabilité, (

et par : la baisse du % en oxygène,
 . la baisse de la conductivité,
 . la baisse ou la dilution des nitrates.

Le lessivage n'entraîne pas d'augmentation très significative des teneurs en silice dissoute.

IV.2.1.2.2 Notions de flux - Figures 23, 24, 25, 26 - Tableau VII

. Le tarage des flux (en g:sec) en fonction du débit montre :

- qu'il existe une relation étroite entre les flux de MES et de matières minérales,
- que les MES et la DB05 ne suivent pas une loi linéaire,
- que l'évolution des flux d'azote et de phosphore total sont proportionnels au débit et obéissent à une fonction du type $y = ax$. Ces graphiques devraient permettre de reconstituer les flux théoriques à partir de la seule connaissance des débits. Un dépouillement fin des débits et une modélisation sont ainsi possibles.

. La comparaison avec les autres petites rivières montre la part prépondérante que l'Arc Mauran prend au niveau des apports :

- . en N total,
- . en Nitrates et nitrites,
- . et à un degré moindre en P total.

L'Arc Mauran participe également de façon non négligeable au déficit en Ox de l'Etang mais cette action doit rester localisée aux abords de l'embouchure (à vérifier).

Les flux de DB05, de MES et d'ammoniaque ont une importance relative bien moins évidente.

Pour ce qui est des MES, on dira cependant que l'année d'étude n'a pas été marquée par des crues importantes ou violentes, ce qui minimise peut être une vision plus habituelle du phénomène.

. Cas des crues - Outre l'indidence déjà examinée sur les concentrations, on peut faire une estimation des tonnages déversés durant ces épisodes. En tenant compte du fait qu'il y a eu environ 30 jours de crue annuels, on obtient approximativement les données suivantes :

- . MES 60 % des apports en un mois (dont 66 % de M.min, environ 1100 t) pour 1700 t/an)
- . DB05 30 % (120 t pour 408 T/an)
- . Azote total 15 % (82 t pour 545 T/an)
- . Phosphore total ... 12 % (14 t pour 120 T/an)
- . Silice 22 % (275 t pour 1250 T/an).

FIGURE 23

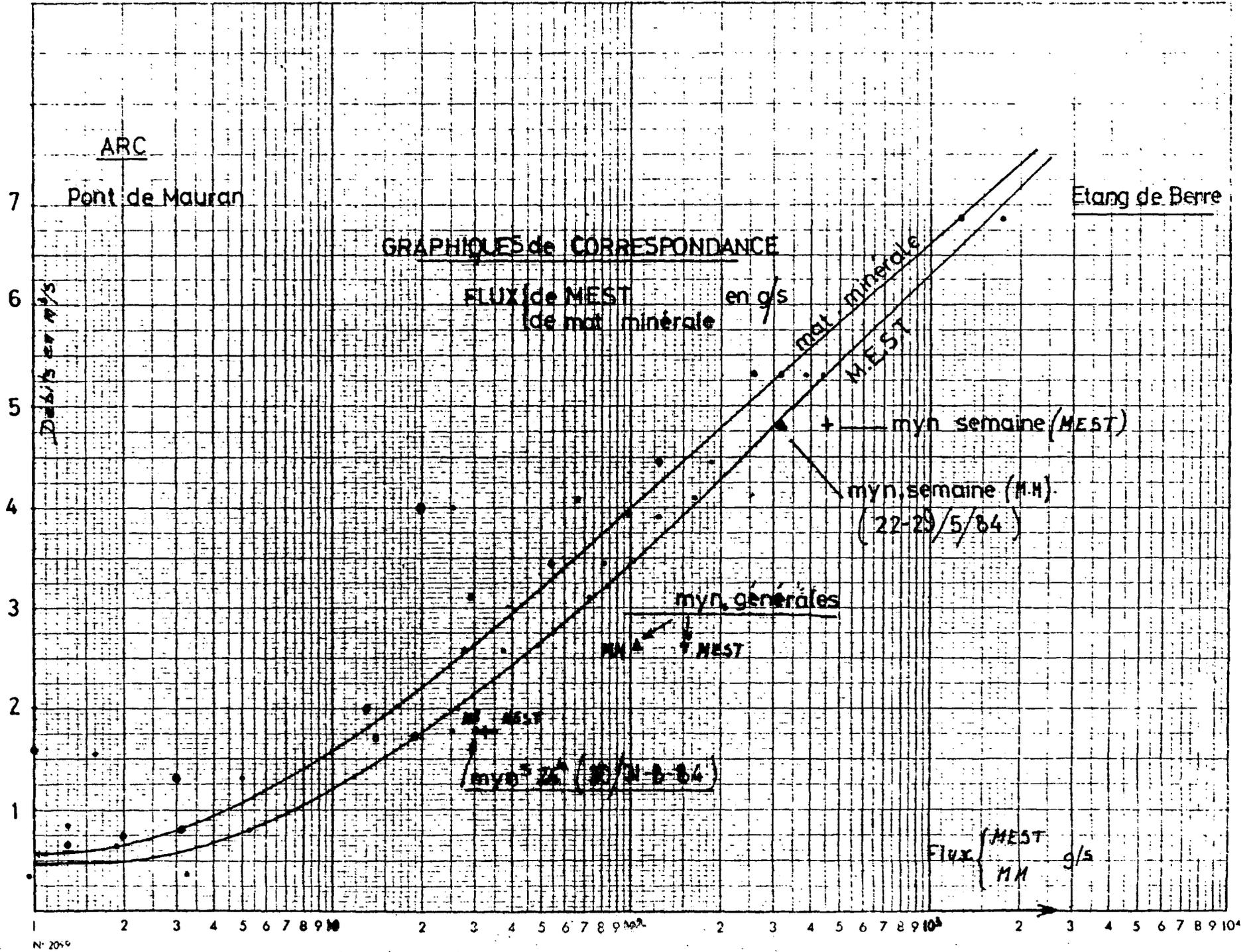


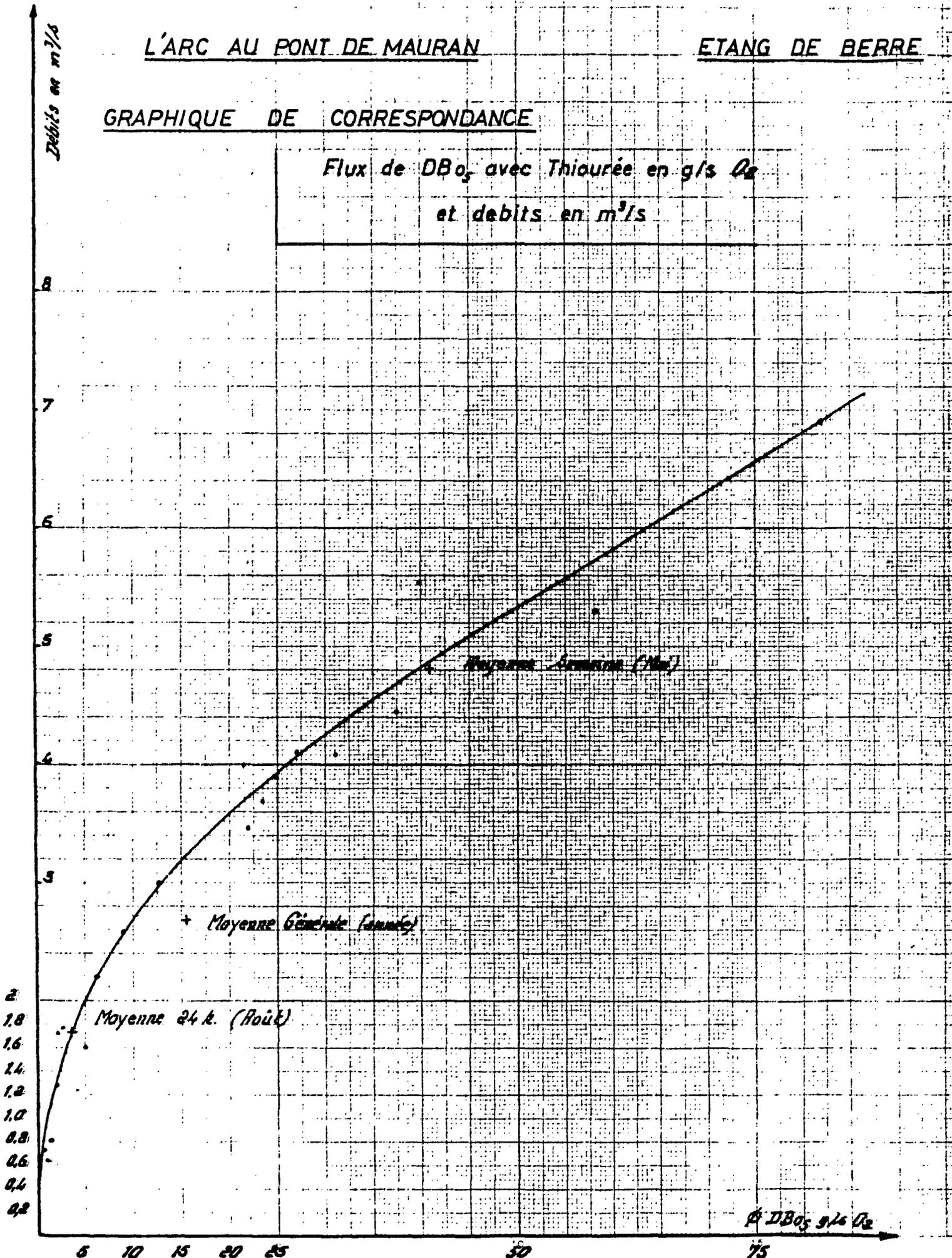
FIGURE 24

L'ARC AU PONT DE MAURAN

ETANG DE BERRE

GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE

Flux de DBO_5 avec Thiourée en g/s Q_2
et debits en m^3/s



ARC
Pont de Mauran

Etang de Berre

GRAPHIQUE de CORRESPONDANCE

FLUX d'AZOTE total en g/s N
et
DEBITS en m³/s

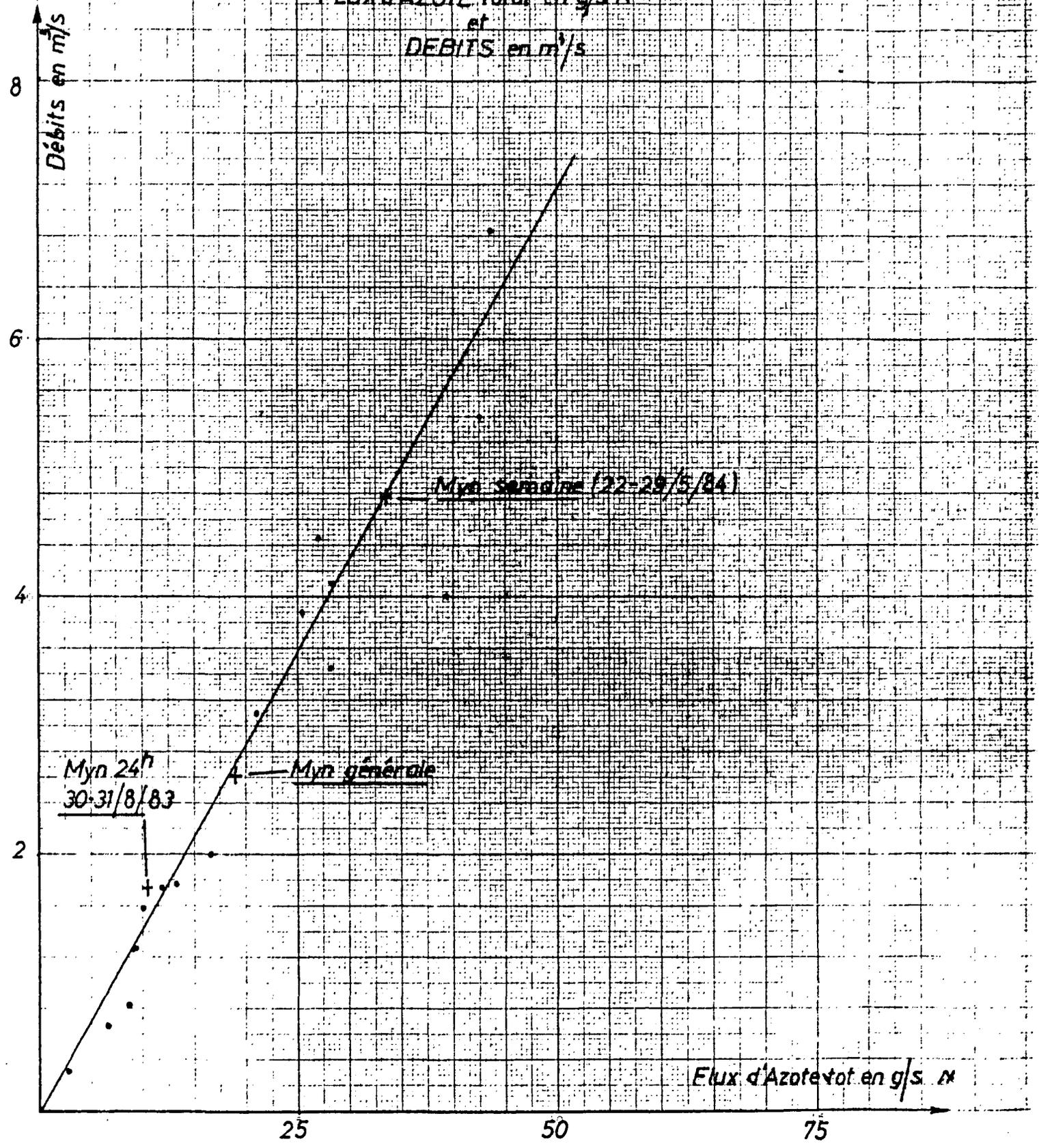


FIGURE 25

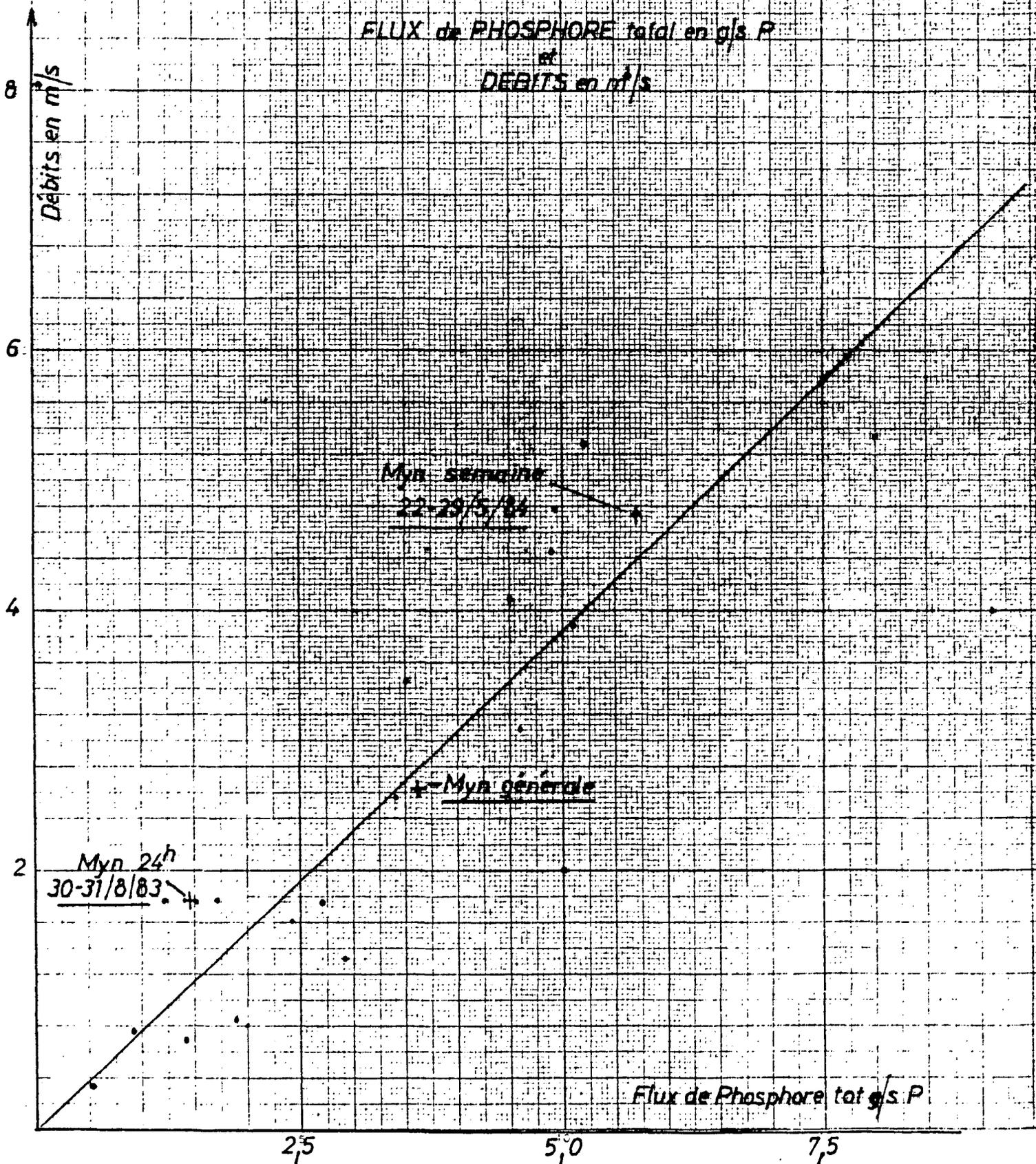
ARC

Etang de Berre

Pont de Mauraan

GRAPHIQUE de CORRESPONDANCE

FLUX de PHOSPHORE total en g/s P
et
DEBITS en m³/s



EVALUATION DES FLUX.
L'ARC au pont de Mauran

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Sels amoniaux | Nitrites | Nitrates | Azote Kjeldahl | | Azote | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ | |
|--|------------------------|------------|-----------|------------------|---------------|---------------|----------|----------|----------------|--------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--|--|
| | Totales | Organiques | Minérales | Eau brute | Avec Thiourée | | | | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ |
| Episode hebdomadaire avec crues en Kgs/sem. | 272765 | 73383 | 189149 | 31891 | 24606 | 3 | 2,4 | 50,4 | 8303 | 6594 | 20390 | 2570 | 711 | 11405 | 3464 | 7449 | 68757 |
| Extrapolation 1 mois de crues Tonnes/mois | 1091 | 294 | 757 | 128 | 98 | 12,1 | 9,6 | 202 | 33,2 | 26,4 | 81,6 | 10,3 | 2,8 | 45,6 | 13,9 | 29,8 | 275 |
| Flux annuel Tonnes/an (Q _{inst.} x $\bar{\phi}$ inst) | 1713 | 532 | 1140 | 417 | 273 | 87 | 37 | 1366 | 205 | 165 | 524 | 71 | 11 | 318 | 113 | 268 | 1236 |
| Flux annuel corrigé (Q _{moy.} x $\bar{\phi}$ inst) | 1718 | 523 | 1153 | 396 | 266 | 75 | 41 | 1547 | 202 | 169 | 564 | 130 | 13 | 349 | 124 | 301 | 1262 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

44

IV.2.1.3 Arc Canal de Gordes

Les prélèvements ont été faits au niveau de la route La Fare-Berre (D 21 A), c'est-à-dire avant que le canal ne s'engage dans l'enceinte de la Raffinerie Shell. Les bilans correspondent à l'eau brute dérivée de l'Arc avant utilisation industrielle. On rappellera que la prise du Canal de Gordes s'effectue au petit barrage de La Fare (RN 113), c'est-à-dire à l'amont du rejet de la station d'épuration de la Fare les Oliviers.

IV.2.1.3.1 Concentrations - Tableau B.III, B.IV (annexe) Tableau VIII, figures 27, 28

Si l'image générale reste globalement la même qu'à Mauran, puisqu'il s'agit de l'eau de l'Arc, on observe cependant quelques différences qui s'expliquent par des particularités de parcours différentes.

- la température de l'eau reste plus fraîche car le canal est plus ombragé avec une tranche circulante plus épaisse et plus rapide,
- le pH est toujours légèrement basique mais moins régulier qu'à Mauran,
- les écarts de conductivité sont moins accusés avec, en particulier, une valeur minimale moins basse qu'à Mauran ; l'effet de lessivage paraît donc se faire moins ressentir,
- le pourcentage d'oxygène suit, par contre, un comportement tout à fait analogue avec souvent des pics de déficits voisins de 40 à 50 %,
- la DBO5 révèle des valeurs maximales un peu plus fortes en situation normale, ce qui paraît indiquer des processus de dégradation plus actifs, ou moins avancés qu'à Mauran. Par contre en période de crue, l'influence de la remise en suspension est moins forte.
- le comportement des MES confirme tout à fait ce que laisse entrevoir la DBO5, à savoir des valeurs maximales nettement moindres qu'à Mauran en crue (1/2) mais légèrement plus élevées en situation d'écoulement normal.
- les éléments azotés suivent une tendance analogue mais on observe un degré de transformation un peu moins avancé. Globalement la minéralisation est un peu plus faible, ce qui se confirme par l'enregistrement de teneurs minimales en azote organique plus élevées qu'à Mauran.
- les produits phosphorés sont mieux représentés qu'à Mauran ce qui peut s'expliquer par une assimilation moindre ou une dilution moins importante.

De ces légères différences, on peut tirer les enseignements suivants qui restent à vérifier :

| Paramètres | | Unités | Valeurs | | | Ecart type σ_n |
|---------------------------------|----------------------|------------|--|---------|--------------|--------------------------|
| | | | minimale (s) | Moyenne | maximale (s) | |
| Températures | Air | °C | 7°6 | | 25°9 | |
| | Eau | °C | 6°6 | 13°8 | 20°4 | 4°6 |
| pH | | pH | 7,6 | 7,8 | 8,2 | 0,2 |
| Conductivité à 20°C | | μS | (472)-490 | 642 | 836 | 93 |
| Oxygène | dissous immédiat. | mg/l | (5,2) - 5,5 | 8,6 | 10,4 | 1,4 |
| | % de saturation | O_2 % | 51 | 85 | 105 | 16 |
| DBO ⁵ | Eau brute | mg/l | 1,2 | 5,9 | 10 - (13) | 3,5 |
| | Eau brute + Thiourée | O_2 | 1,1 | 3,4 | 9,7 | 2,3 |
| Sels ammoniacaux en NH_4^+ | | mg/l | 0,01 | 1,3 | 3,6 | 1,1 |
| Nitrites en NO_2^- | | mg/l | 0,13 | 0,58 | 1,4 | 0,32 |
| Nitrates en NO_3^- | | mg/l | 7,5 | 18 | 26 | 5,6 |
| Azote Kjeldahl | Eau brute | mg/l | 1,5 | 3,1 | 4,5 - (4,8) | 0,98 |
| | Eau décantée | N | 1,3 | 2,4 | 3,6 - (4,0) | 0,76 |
| Oxydabilité à froid en 4 h. | | mg/l O_2 | 1,5 | 2,7 | 6,6 | 1,4 |
| Orthophosphates en PO_4^{---} | | mg/l | (2) - 2,3 | 5,1 | 10,2 | 2,4 |
| Phosphore total en P | | mg/l | (0,91) - 1,3 | 2 | 3,9 | 0,75 |
| Matières en suspension | Totales MEST | mg/l | 1,8 | 10 | 30 - (109) | 8,6 |
| | Organiques MESO | mg/l | 0,4 | 4,4 | 11,8 - (42) | 3,8 |
| | Minérales MMin | mg/l | 0,7 | 5,6 | 18,2 - (67) | 4,9 |
| Silice en SiO_3^{--} | | mg/l | 7,5 | 16,8 | 26 | 6,8 |
| Observations | | | Les valeurs signalées () correspondent à des périodes de crues ou de lessivage. | | | |

Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres physico-chimiques.

TABEAU VIII

64

FIGURE 27

~ ETANG DE BERRE ~

~ BOUCHES DU RHONE ~

~ CANAL DE GORDES - Amont Usine Shell de Berre - l'Etang ~

~ Variations Horaires du pH et de la Conductivité du 22 au 29 Mai 1984 ~

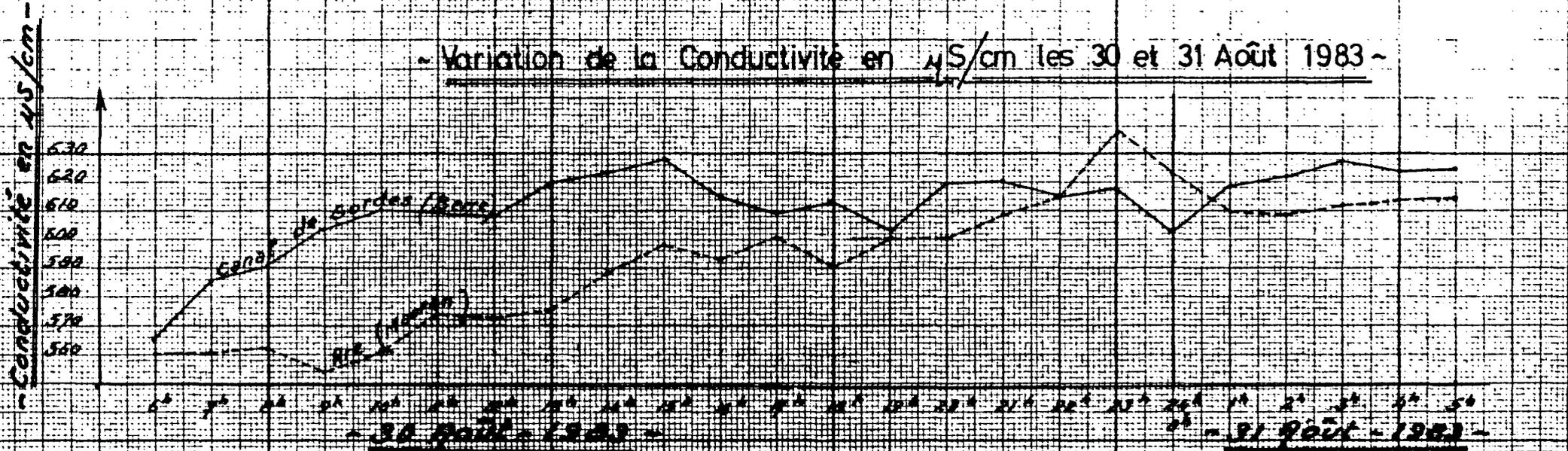


~ Mai - 1984 ~

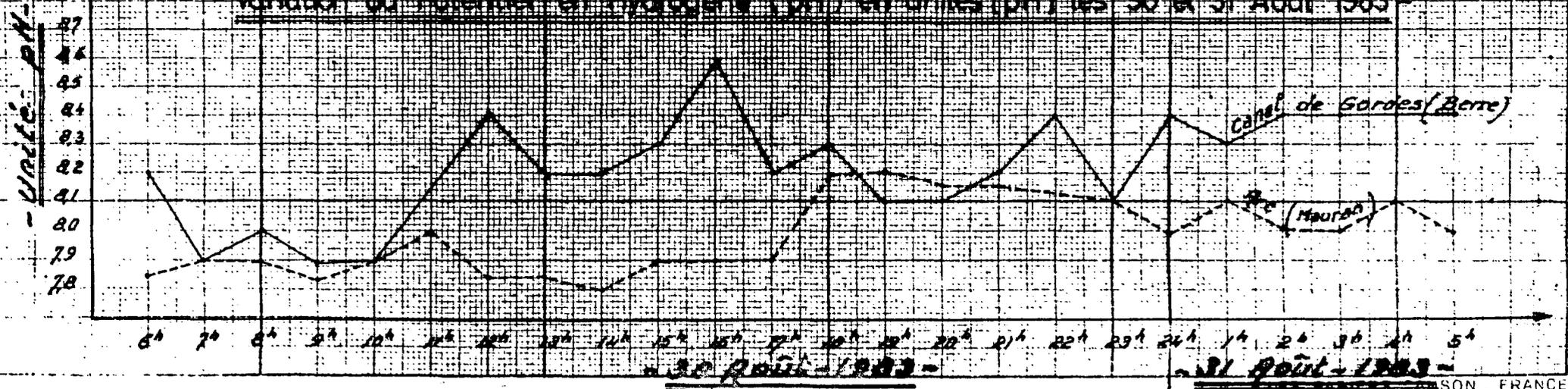
- CANAL DE GORGES - Amont Usine Shell de Berre - l'Etang -

- ARC - Pont de Maura -

- Variation de la Conductivité en $\mu S/cm$ les 30 et 31 Août 1983 -



- Variation du Potentiel en Hydrogène (pH) en unités (pH) les 30 et 31 Août 1983 -



V8

- en situation normale ou d'étiage, la pollution organique venant de l'amont, qu'elle soit dissoute ou sous forme de matières colloïdales difficilement décantables, a tendance à filer préférentiellement vers le Canal de Gordes.

Le barrage de La Fare fait en effet obstacle d'où ce détournement et une décantation plus importante des matières les plus lourdes en cas de crue par effet de ralentissement.

- à Mauran les amplitudes et les transformations sont meilleures car l'auto-épuration est plus active en rivière que dans le Canal de Gordes. L'effet de parcours est net entre La Fare et Mauran ; l'écoulement lent, la flore et les réalimentations par la nappe favorisent des processus de minéralisation plus actifs qu'en milieu artificiel à vitesse d'écoulement plus rapide.
- En cas de crue, le Canal de Gordes entonne moins de matières en suspension, ce qui est peut être dû à des particularités de prise et à la présence du barrage de La Fare qui ralentit la vitesse en ce point.

A Mauran, les effets de crue sont mieux ressentis car, à ce moment là, le débit devient tel que l'entraînement se fait plutôt vers le lit naturel où les arrachements de matériaux continuent en outre à se faire. Dans le canal les érosions sont nulles et la turbulence très faible.

IV.2.1.3.2 Notions de flux (tableau IX)

- Le tarage des flux en fonction du débit n'a ici aucune signification puisque ce débit est artificiellement maintenu aux alentours de 500 l/sec.
- La comparaison en pourcentage avec les autres rivières montre à l'évidence que le Canal de Gordes représente la plus faible part d'apports, ce qui se conçoit en partie, en raison de son faible débit. Une certaine ressemblance existe entre les graphiques de l'Arc Mauran et ceux de Gordes mais on observe cependant au niveau du Canal de Gordes :
 - une proportion relative d'azote organique plus grande,
 - une DBO5 moins fluctuante,
 - des apports de silice plus réguliers,
 - une évolution moins chaotique des MES.
- Cas des crues - En reprenant l'hypothèse d'un mois de crue dans l'année, on voit que le Canal de Gordes est deux fois moins sensible à ce phénomène que le cours naturel lui-même, puisque l'on a en moyenne :

EVALUATION DES FLUX.

ARC : Canal de Gordes - A l'amont de Shell

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Sels ammo- nia- caux | Ni- tri- tes | Ni- tra- tes | Azote Kjeldahl | | Azote | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ | |
|--|------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--|--|
| | Totales | Orga- niques | Miné- rales | Eau brute | Avec Thio- urée | | | | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ |
| Episode hebdoma- daire avec crues en Kgs/sem. | 11241 | 4895 | 6255 | 3041 | 1642 | 581 | 294 | 4683 | 959 | 791 | 2108 | 453 | 111 | 1054 | 360 | 907 | 7629 |
| Extrapolation 1 mois de crues Tonnes/mois | 45 | 20 | 25 | 12 | 7 | 2,3 | 1,2 | 19 | 3,8 | 3,2 | 8,5 | 1,8 | 0,5 | 4,2 | 1,5 | 3,6 | 30,5 |
| Flux annuel Tonnes/an (Q _{inst.} x ϕ inst) | 159 | 71 | 89 | 93 | 55 | 22 | 9 | 293 | 51 | 37 | 120 | 17 | 3 | 67 | 30 | 84 | 349 |
| Flux annuel corrigé (Q _{moy.} x ϕ inst) | 138 | 61 | 78 | 79 | 44 | 18 | 8 | 242 | 42 | 32 | 100 | 14 | 2,5 | 56 | 22 | 69 | 225 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- . MES 30 % des apports en un mois au lieu de 60 %
à Mauran (45 T pour 150 T/an),
- . DBO5 15 % au lieu de 30 % (12 T pour 81 T/an),
- . Azote total 8 % au lieu de 15 % (8,5 T pour 110 T/an),
- . Phosphore total 6 % au lieu de 12 % (1,5 T pour 24 T/an),
- . Silice 12 % au lieu de 22 % (31 T pour 287 T/an).

IV.2.1.3.3 Remarque - Lorsque l'on parle d'apports à l'Etang de Berre, il faut évidemment corriger ce propos car les bilans précédents correspondant à ce qui est réellement dérivé de l'Arc mais pas à ce qui rejoint vraiment l'Etang de Vaine.

La société SHELL utilise, en effet, le Canal de Gordes et des eaux en provenance de la station de pompage S.C.P. de Saint-Chamas pour ses fabrications.

A l'exutoire, la qualité du Canal de Gordes est nettement transformée (voir analyse du 26 juillet 1983) et revêt les critères d'une eau mélangée à des eaux usées.

Immédiatement à côté de ce qui reste du Canal de Gordes, existe également le rejet en provenance de la station d'épuration de la Raffinerie. Ce rejet comprend évidemment une partie des eaux de l'Arc mélangées à d'autres.

Devant la complexité du schéma des eaux à l'intérieur de la Raffinerie, il faudrait donc effectuer des bilans de sortie pour mieux faire la part des apports naturels et industriels.

IV.2.2 . LA TOULOUBRE A SAINT CHAMAS

IV.2.2.1 Situation

IV.2.2.1.1 Cadre général

Ce cours d'eau, au parcours original, possède une hydrologie particulière. Prenant sa source près de Venelles, la Touloubre n'est qu'un petit ruisseau tant qu'elle parcourt le plateau molassique. Elle reçoit cependant ses premiers rejets (Venelles - Puyricard - Saint-Cannat) et possède des zones de pertes. Le cours d'eau ne prend vraiment de l'importance qu'à partir de La Barben à cause d'importantes exurgences karstiques qui sortent du rebord calcaire du plateau.

Le débit grossit assez vite avec la traversée de Salon (rejets) et les nombreuses colatures qui proviennent des irrigations issues des canaux agricoles dérivés de la Durance.

A partir de Grans, le parcours s'encaisse en gorges en effectuant un curieux coude.

Le débit correspondant au drainage du bassin versant réel (400 km²) est très fortement perturbé par cette distribution des apports extérieurs. Il existe une station de jaugeage à La Barben qui peut renseigner sur cette alimentation originelle.

IV.2.2.1.2' Rejets urbains

Une dizaine de communes sont réparties sur la zone, regroupant environ 60 000 habitants. Plus de la moitié de cette population est concentrée sur Salon.

9 stations d'épuration intéressent plus ou moins directement la Touloubre : 6 aérations prolongées, 2 lits bactériens, 1 boue activée, car certaines déversent dans de petits affluents (ruisseaux de Concernade et du Budéou) ou dans des ravines.

L'ensemble de ces équipements doit permettre de traiter 75 000 Equivalents-habitants (50 000 EH pour Salon).

IV.2.2.1.3 Rejets industriels

Les rejets industriels proprement dits sont inexistant, on doit seulement signaler des industries agro-alimentaires :

- ~ Conserveries à Lambesc (Beaudoux)
- ~ ABC ~ SICA à Pélissanne
- ~ Abattoirs municipaux de Salon.

La base aérienne de Salon dispose de sa propre station (3500 EH).

Il faut signaler que la Z.I. de Puyricard ~ La Calade, qui est en fait raccordée sur la station d'Aix-en-Provence, intéresse donc le bassin de l'Arc.

IV.2.2.2 Examen des teneurs - Tableau P.V, B.VI, B.VII (annexe) Tableau X, figure 29

Une manière d'envisager le problème est de comparer les concentrations mesurées à celles observées sur l'Arc à Mauran.

Parmi les points de ressemblance on peut mentionner :

- une DB05 assez comparable à celle de l'Arc en situation habituelle,
- des teneurs en azote organique et en silice peu différentes aussi.

| Paramètres | | Unités | Valeurs | | | Ecart type σ_n |
|---------------------------------|----------------------|------------|--|---------|--------------|--------------------------|
| | | | minimale(s) | Moyenne | maximale (s) | |
| Températures | Air | °C | 5°7 | | 22°6 | |
| | Eau | °C | 6°5 | 13° | 18°1 | 3°9 |
| pH | | pH | 7,2 | 7,7 | 8,2 | 0,2 |
| Conductivité à 20°C | | μS | (300) - 422 | 515 | 668 | 64 |
| Oxygène | dissous immédiat. | mg/l | 6,9 | 9 | 10 - (12,8) | 0,9 |
| | % de saturation | O_2 % | 60 | 88 | 100 - (129) | 11 |
| DBO ⁵ | Eau brute | mg/l | 1,4 | 3,7 | 6,9 - (24) | 1,9 |
| | Eau brute + Thiourée | O_2 | 0,9 | 2,3 | 3,4 - (14) | 0,9 |
| Sels ammoniacaux en NH_4^+ | | mg/l | 0,02 | 0,47 | 1,6 | 0,4 |
| Nitrites en NO_2^- | | mg/l | 0,08 | 0,26 | 0,57 | 0,13 |
| Nitrates en NO_3^- | | mg/l | (4) - 4,3 | 8,3 | 13 | 2,6 |
| Azote Kjeldahl | Eau brute | mg/l | 1 | 2 | 3,3 - (4,8) | 0,7 |
| | Eau décantée | N | 0,75 | 1,7 | 3 | 0,9 |
| Oxydabilité à froid en 4 h. | | mg/l O_2 | 0,6 | 1,5 | 2,4 - (9,2) | 0,6 |
| Orthophosphates en PO_4^{---} | | mg/l | 0,7 | 1,8 | 5,1 | 1,1 |
| Phosphore total en P | | mg/l | 0,3 | 0,9 | 2,1 | 0,44 |
| Matières en suspension | Totales MEST | mg/l | 3,8 | 22 | 53,7 - (309) | 25 |
| | Organiques MESO | mg/l | 0,4 | 5,8 | 9,9 - (98) | 5,7 |
| | Minérales MMin | mg/l | 2,4 | 16,4 | 48,2 - (211) | 20,2 |
| Silice en SiO_3^{--} | | mg/l | 4,5 | 14,2 | 20 - (21) | 5,9 |
| Observations | | | Les valeurs signalées () correspondent à des épisodes de crues ou de lessivage. | | | |

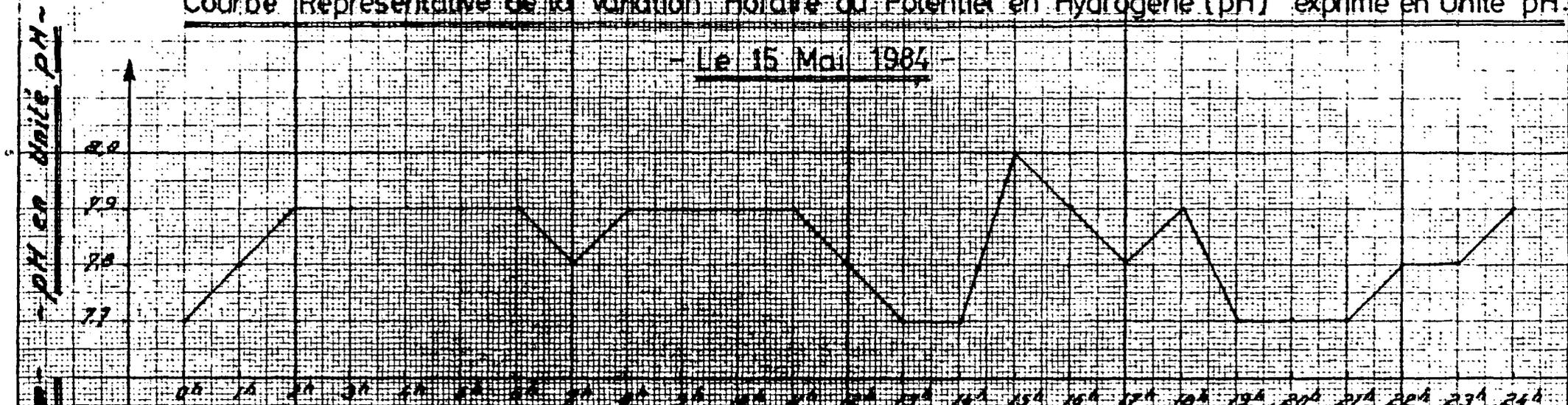
Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres physico-chimiques

TABEAU X

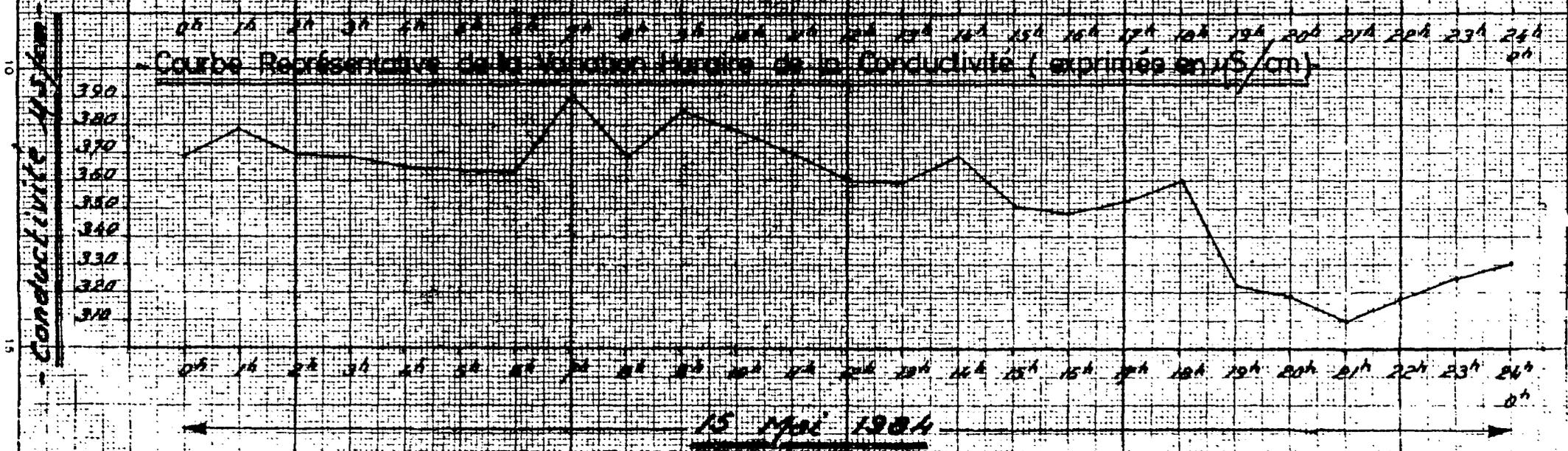
- TOULOUSE - Aval St. Chamas -

Courbe Représentative de la Variation Horaire du Potentiel en Hydrogène (pH) "exprimé en Unité pH."

- Le 15 Mai 1984 -



Courbe Représentative de la Variation Horaire de la Conductivité (exprimée en $\mu S/cm$)



- 15 Mai 1984 -

860

Parmi les particularités plus spécifiques à la Touloubre, on voit que :

- l'eau y est toujours plus fraîche, et rarement claire,
- que le pH et la conductivité sont largement influencés par les apports duranciens, notamment les valeurs minimales.

La fourchette des valeurs de la conductivité est plus resserrée que pour l'Arc (maxi moins élevés),

- la saturation moyenne en oxygène est généralement satisfaisante et voisine de 100.

Des déficits ou des sursaturations, qui restent rares peuvent cependant être notés. Ils peuvent signaler une influence irrégulière et larvée de la pollution urbaine ou de l'eutrophisation.

- Bien qu'il y en ait moins que dans l'Arc, la présence continue d'ammoniaque montre bien que les rejets ne sont pas totalement absorbés. Le cycle azoté est presque toujours déséquilibré et les teneurs en nitrates sont aussi plus faibles que sur l'Arc; s'agit-il de transformations moins bonnes ou d'une plus grande dilution; La question reste à trancher?
- les composés du phosphore sont, plus généralement, bien moins concentrés que dans l'Arc,
- les MES sont intéressants à considérer car les valeurs extrêmes sont toujours supérieures à celles de l'Arc ainsi que les moyennes.

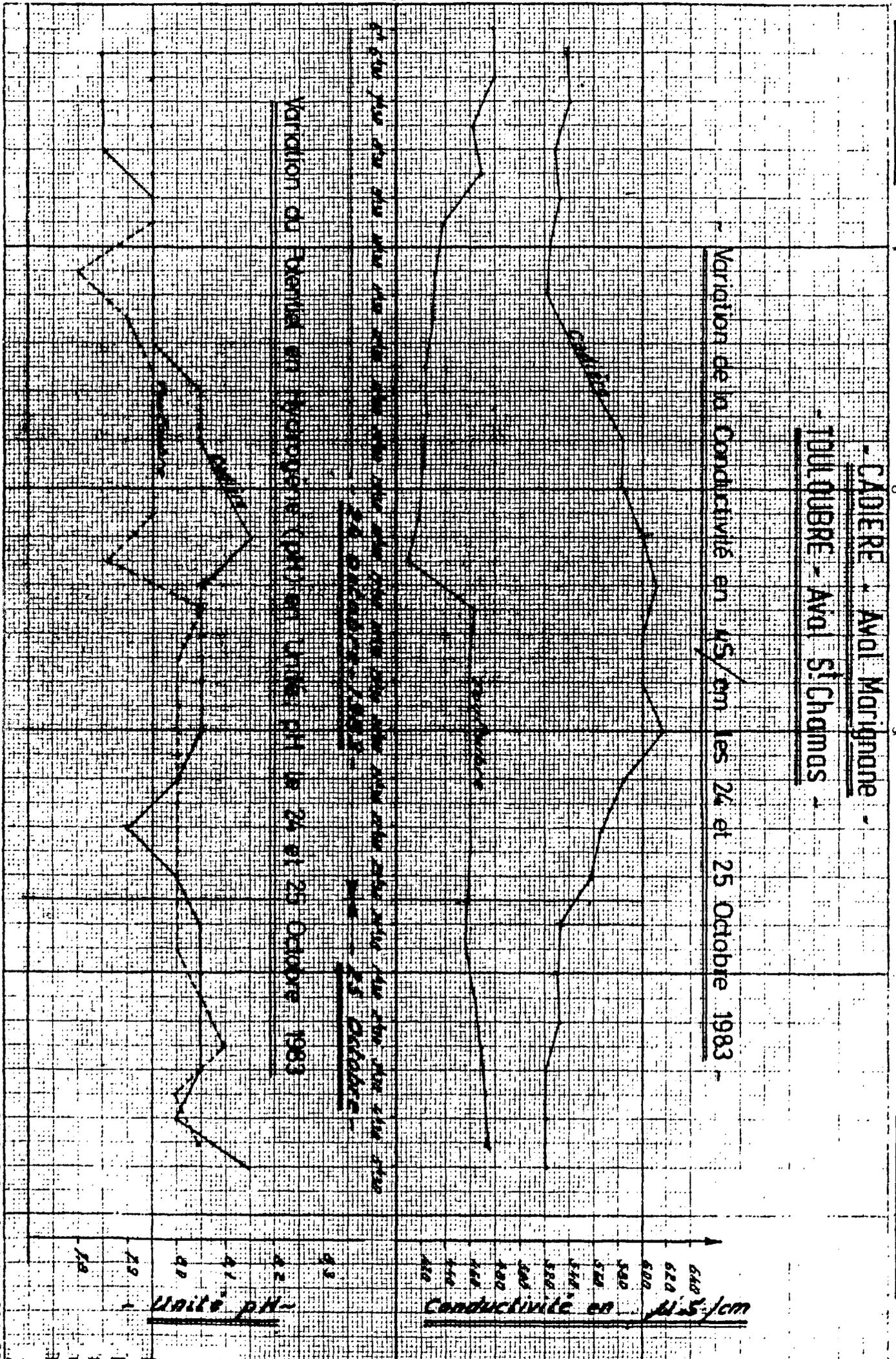
Le phénomène "crue" est plus important que sur l'Arc, tout au moins pour l'année d'étude considérée et, ce, malgré le ralentissement imposé par la proximité de l'Etang au point de prélèvement.

- les bilans de 24 h semblent montrer que les "bouffées" de pollution urbaine arrivent plutôt en début de matinée mais de façon peu nette et en tous cas très amortie.

Lors d'épisodes pluvieux, le transfert est accéléré et ces ondes se perçoivent plus nettement vers minuit.

IV.2.2.3 Notions de flux - Figure 30, tableau XI

Le tarage des flux en fonction des débits n'a pu être valablement envisagé dans le cas de la Touloubre car les enregistrements limnigraphiques sont fortement influencés par la proximité de l'Etang, les déversements de canaux, et aussi le vent.



EVALUATION DES FLUX.
LA TOULOUBRE à St Chamas

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Sels ammo- nia- caux | Ni- tri- tes | Ni- tra- tes | Azote Kjeldahl | | Azote | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ | |
|---|------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--|--|
| | Totales | Orga- niques | Miné- rales | Eau brute | Avec Thio- urée | | | | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ |
| Episode hebdoma- daire avec crues en Kgs/sem. | 182254 | 44456 | 147226 | 11462 | 7319 | 835 | 668 | 13134 | 3338 | 2685 | 6497 | 652 | 204 | 2590 | 1204 | 1992 | 36365 |
| Extrapolation 1 mois de crues Tonnes/mois | 729 | 178 | 589 | 46 | 29 | 3,34 | 2,67 | 52,5 | 13 | 11 | 26 | 2,6 | 0,8 | 12 | 5 | 8 | 157 |
| Flux annuel Tonnes/an (Qinst. x ϕ inst) | 1901 | 455 | 1486 | 246 | 155 | 31 | 19 | 506 | 129 | 108 | 240 | 24 | 6 | 114 | 56 | 26 | 973 |
| Flux annuel corrigé (Qmoy. x ϕ inst) | 2026 | 493 | 1572 | 285 | 167 | 37 | 21 | 594 | 151 | 132 | 275 | 28 | 7 | 135 | 66 | 149 | 1116 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

En %, la comparaison relative avec les autres rivières et notamment avec l'Arc, confirme ce que laisse entrevoir l'analyse des teneurs.

- La Touloubre amène globalement beaucoup plus de MES que l'Arc avec une préférence pour les matières minérales.
- La proportion d'ammoniaque, contrairement à ce qu'on pourrait penser, est loin d'être négligeable. Le cycle azoté est un peu moins perturbé que sur l'Arc et l'apport en nitrates est également plus faible.
- La contribution en phosphore existe mais de façon moins accentuée que sur l'Arc.
- La DBO5, assez irrégulièrement répartie, reste souvent et curieusement élevée, signalant l'importance des rejets s'effectuant vers Salon.

Ceci explique que les déficits d'oxygène, eux aussi irréguliers, existent en proportion moindre mais notable.

Cas des crues - Le phénomène n'est pas facile à évaluer en raison de la difficulté à cerner la question "débit". Néanmoins, en faisant la même hypothèse que pour l'Arc, soit un mois de crue dans l'année, on arrive aux évaluations suivantes :

- matières en suspension : 37 % des apports en un mois, soit 729 T pour 1965 T/an,
- DBO5 17 % (46 T pour 265 T/an),
- azote total 10 % (26 T pour 257 T/an),
- phosphore total 8 % (5 T pour 61 T/an),
- silice 15 % (157 T pour 1045 T/an).

La contribution des crues sur la répartition annuelle des flux est moins accentuée au niveau de la Touloubre qu'elle n'apparaît sur l'Arc, même si pondéralement la Touloubre véhicule un peu plus de MES.

IV.2.3. LA CADIÈRE A L'AVAL DE MARIGNANE

IV.2.3.1 Données générales

IV.2.3.1.1 Situation - Ce petit ruisseau, de loin le plus court de la zone, draine un bassin versant relativement peu étendu. Grossi par son affluent le Raumartin, le réseau hydraulique revêt grossièrement l'allure de deux vallées en Y se terminant sur la plaine de Marignane et l'Étang de Bolmon.

Cette situation géographique explique que le débit moyen, en grande partie constitué d'eaux usées, dépasse rarement le 1/2 m³/sec.

Les étiages peuvent être très sévères et les crues sont rapides et brutales avec curage important des vallons.

Bien que réduit, ce bassin versant se caractérise encore par :

- * une forte densité de population, malgré le petit nombre de communes : Marignane, Saint-Victoret, Les Pennes-Mirabeau, Gignac.

On compte environ 65 000 habitants, les 2/3 étant regroupés sur Marignane (42 000 hab.),

- un habitat dispersé important,
- des créations rapides et récentes de lotissements,
- une intrication des activités agricoles (maraîchage) et industrielles (Z.I. de Vitrolles).

IV.2.3.1.2 Rejets urbains - On compte quatre stations d'épuration à boues activées réparties sur le bassin, dont une sur le Raumartin.

- Vitrolles(La Glacière) 80 000 Eq/Hab (75 l/s) (ville + Z.I.)
- Les Pennes Mirabeau 10 000 EH
- Marignane - Saint-Pierre .. 30 000 EH qui travaillent à saturation,
- Marignane - La Palun 5 000 EH (→ Canal du Rôve).

Ces deux stations regroupent les effluents de Saint-Victoret et de Gignac-la-Nerthe.

L'ensemble est prévu pour 125 000 hab. soit deux fois plus que la population actuelle.

IV.2.3.1.3 Rejets industriels - Cette question est plus difficile à cerner sans une enquête approfondie qui reste à faire.

On sait déjà que les effluents particuliers de la S.N.I.A.S. (Sté Nationale Industrielle et Aérospatiale) sont rejetés directement à l'Etang après détoxication.

L'aéroport de Marignane, la société CARREFOUR (supermarché) et la société Provençale de Boissons gazeuses (COCA-COLA) devraient être reliées sur les stations existantes.

On note un élevage de porcs à La Bugade (Quartie des Plans de Pennes).

La situation de l'épuration au niveau de la zone industrielle de Vitrolles est confuse. Les effluents sont normalement dirigés sur la station de la

Glacière, il subsiste cependant un important drainage pluvial qui se présente sous la forme d'un canal bétonné se rejetant à l'amont immédiat du pont S.N.C.F. au lieu-dit "Pont de la Cadière" (quartier de la Glacière avant Saint-Victoret).

La zone industrielle de Vitrolles ne regroupe pas que des entrepôts et des entreprises non polluantes. Des ateliers de constructions électriques sont à signaler (transformateurs), il y a là une origine possible pour les PC.B (polychlorobiphényles).

IV.2.3.2 Concentrations - Tableaux B.VIII, B.IX (annexe) Tableau XII, figure 31

Comme on le voit, le débit est presque toujours inférieur au m³/sec ou même au 1/2 m³/sec. En cas de pluie ou d'orage, ce débit est rapidement multiplié par 8 ou 10.

En période normale on observe généralement que le flot nocturne est clair; les premières ondes de pollution résiduelles, dues aux stations d'épuration, se manifestent vers 10 h. Les limnigrammes sont caractéristiques avec des bosses en milieu de journée.

L'heure de prélèvement revêt donc une grande importance pour expliquer la disparité des mesures.

Les fluctuations journalières sont, ici, beaucoup plus accusées que sur les grands bassins (Arc ou Touloubre).

De l'examen des teneurs, il ressort que :

IV.2.3.2.1 Hors pluie - Les écarts très importants sont relevés d'un mois à l'autre en ce qui concerne :

- . le % de saturation (voir prélèvement du 26/7/83),
- . la DBO5 qui dépasse 10 mg/l (voir bilans de 24 h) et (sur 7 jours en milieu de journée),
- . les nitrates (29/2/84),
- . l'ammoniaque qui frôle les 4,2 mg/l en valeurs maximales (18/1/84),
- . l'azote organique qui est très élevé vers 12 h en correspondance avec les sels ammoniacaux,
- . les MES qui peuvent varier dans la journée ; la proportion étant d'environ: 1/3 de matières organiques pour 2/3 de matières minérales.

Ces disparités mensuelles sont lissées lorsque l'on effectue des séries hebdomadaires avec échantillonnage moyen de 24 h, ce qui démontre bien l'importance de l'heure de prélèvement.

- . Le pH n'est pas anormal et plutôt régulier (rarement inférieur à 7,7.

| Paramètres | | Unités | Valeurs | | | Ecart type σ_n |
|---|----------------------|--------------------|--|---------|--------------|--------------------------|
| | | | minimale(s) | Moyenne | maximale (s) | |
| Températures | Air | °C | 7°4 | | > 37° | |
| | Eau | °C | 9°3 | 14°6 | 22° | 4°3 |
| pH | | pH | 7,3 | 7,0 | 8,0 | 0,2 |
| Conductivité à 20°C | | μS | (260)-520 | 573 | 650 | 98 |
| Oxygène | dissous immédiat. | mg/l | 5,0 | 8,3 | 9,9 | 1,5 |
| | % de saturation | % | 58 | 83 | 94 | 9,7 |
| DBO ⁵ | Eau brute | mg/l | 2,2 | 12,2 | 26 - (49) | 12,2 |
| | Eau brute + Thiourée | O ₂ | 1,6 | 6 | 14 - (17) | 4,1 |
| Sels ammoniacaux en NH ₄ ⁺ | | mg/l | 0,88 | 2,1 | 4,1 | 0,84 |
| Nitrites en NO ₂ ⁻ | | mg/l | 0,06 | 0,77 | 3,3 | 0,66 |
| Nitrates en NO ₃ ⁻ | | mg/l | 4,4 | 11,4 | 19 | 3,25 |
| N Kjeldahl | Eau brute | mg/l | 2,1 | 3,9 | 6,8 | 1,4 |
| | Eau décantée | N | 1,1 | 2,7 | 4,4 | 0,46 |
| Oxydabilité à froid en 4 h. | | mg/10 ₂ | 1,9 | 4,1 | 4,6 - (20) | 4,6 |
| Orthophosphates en PO ₄ ⁻⁻⁻ | | mg/l | 1,9 | 3,4 | 8,0 | 1,2 |
| Phosphore total en P | | mg/l | 0,78 | 1,46 | 5,3 | 0,48 |
| Matières en suspension | Totales MEST | mg/l | 2,1 | 63,9 | 47,8 - (668) | 175 |
| | Organiques MESO | mg/l | 0,4 | 21,6 | 18,6 - (212) | 55 |
| | Minérales MMin | mg/l | 1,7 | 42,3 | 31,1 - (456) | 120 |
| Silice en SiO ₃ ⁻⁻⁻ | | mg/l | 9,2 | 17,2 | 23 | 4,5 |
| Observations | | | Les valeurs signalées () correspondent à des épisodes de crues ou de lessivage. | | | |

TABLEAU XII

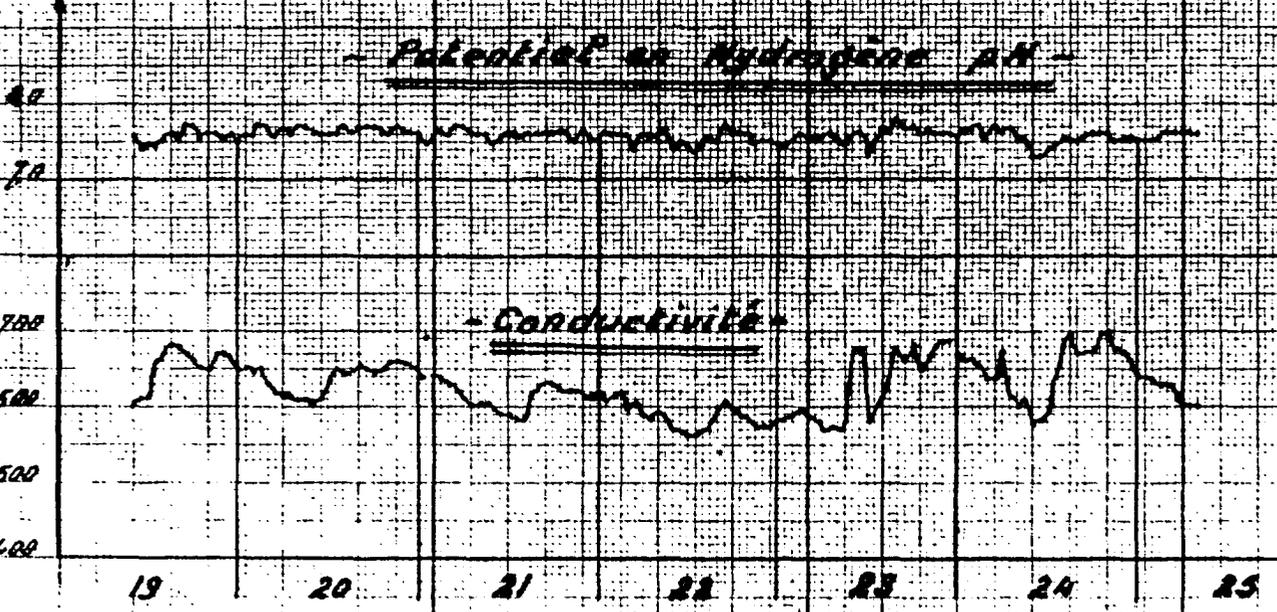
93

Valeurs moyennes, minimales et maximales
des paramètres physico-chimiques

- LA CADIERE - au Niveau du CES Mangrone

- Variations horaires du pH et de la Conductivité du 19 au 25 Juillet 1984 -

Conductivité en $\mu S/cm$ Unité pH



- Juillet - 1984 -

- La conductivité a tendance à être très fluctuante et presque toujours supérieure à 600 μ S sur la série de 7 jours.

L'analyse des résultats en concentration s'explique donc par une faible dilution des rejets bruts ou épurés, par l'existence d'un cycle régulier des phénomènes journaliers et par la petite taille du bassin versant qui abrite une activité dense.

IV.2.3.2.2 Episodes pluvieux - Des échantillons fins n'ont pas pu être réalisés sur ce point, qui demande une vigilance très locale.

Les crues sont, en effet, courtes et brutales et elles exigent une disponibilité et une intervention rapides.

Un important pic a, cependant, pu être saisi le 16 mai 1984. Il montre que :

- la remise en suspension des dépôts est assez considérable, avec une couleur qui passe du noir (vases organiques) au rougeâtre (influence géologique) à mesure que le lessivage se prolonge,
- la DBO5 devient supérieure à celle d'un rejet traité (50 mg/l le 16/5),
- l'oxydabilité traduit bien la reprise du transfert des matières oxydables,
- en raison de la dilution qui intervient à ce moment là, les teneurs en NH_4^+ et en PO_4 sont moins fortes qu'en temps normal.

Il semblerait que l'on doive différencier, ici, plus qu'ailleurs les caractéristiques particulières de la pluviométrie : un orage local, brutal et limité risque d'entraîner des phénomènes de transfert complètement différents de ceux occasionnés par une période de pluies plus normales et plus généralisées.

De tout cela, il ressort que l'on observe essentiellement comme périodes critiques :

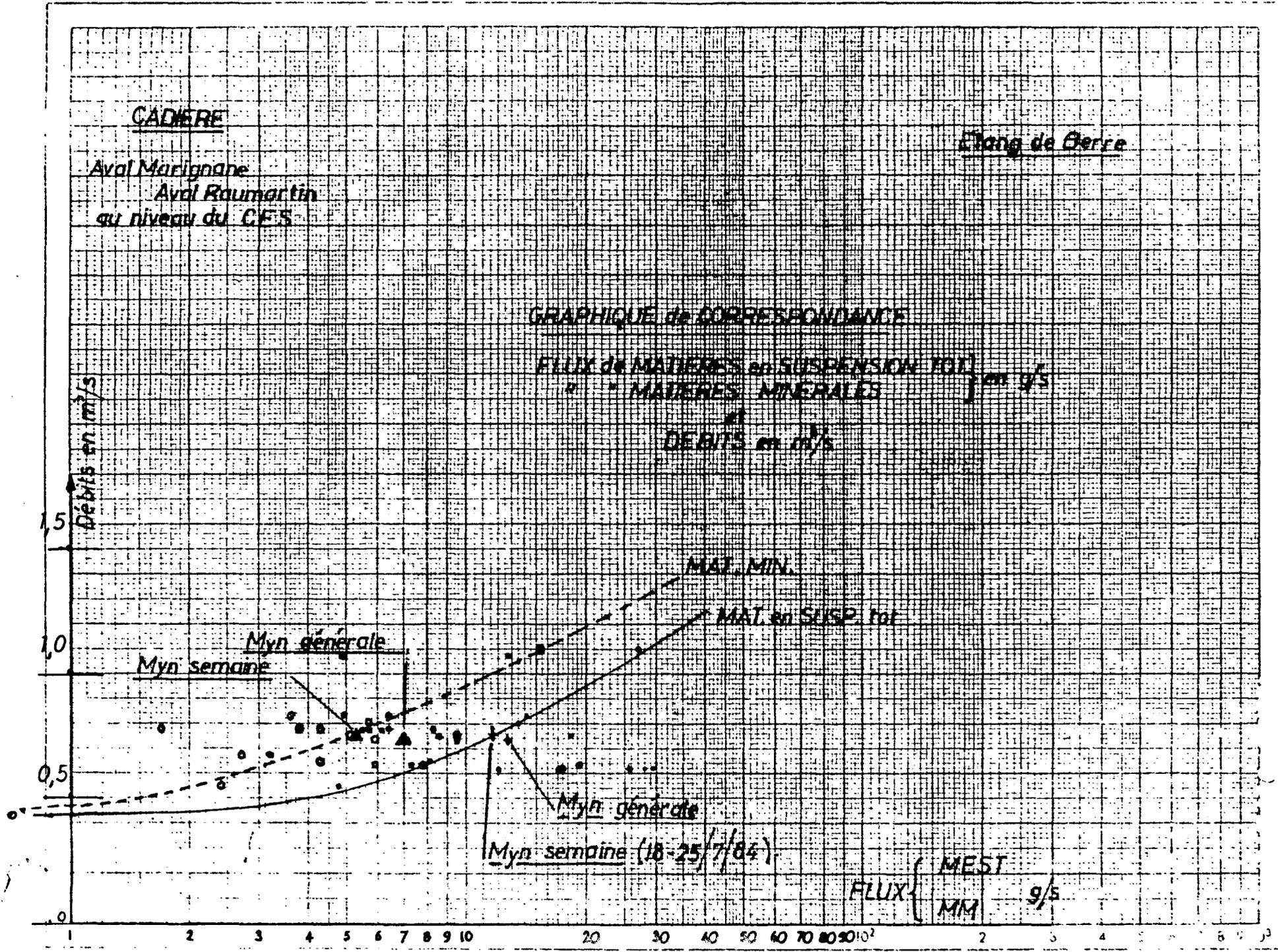
- les mois chauds : juin et juillet,
- et les épisodes orageux de fin de printemps ou de fin d'été.

De toutes manières, les teneurs signalent une pollution encore intense et concentrée mais en diminution et plus irrégulière que dix années auparavant.

IV.2.3.3 Notions de flux Figures 32, 33, 34, 35, 36 - Tableau XIII

IV.2.3.3.1 Le tarage des flux en fonction des débits permet de dégager des observations intéressantes :

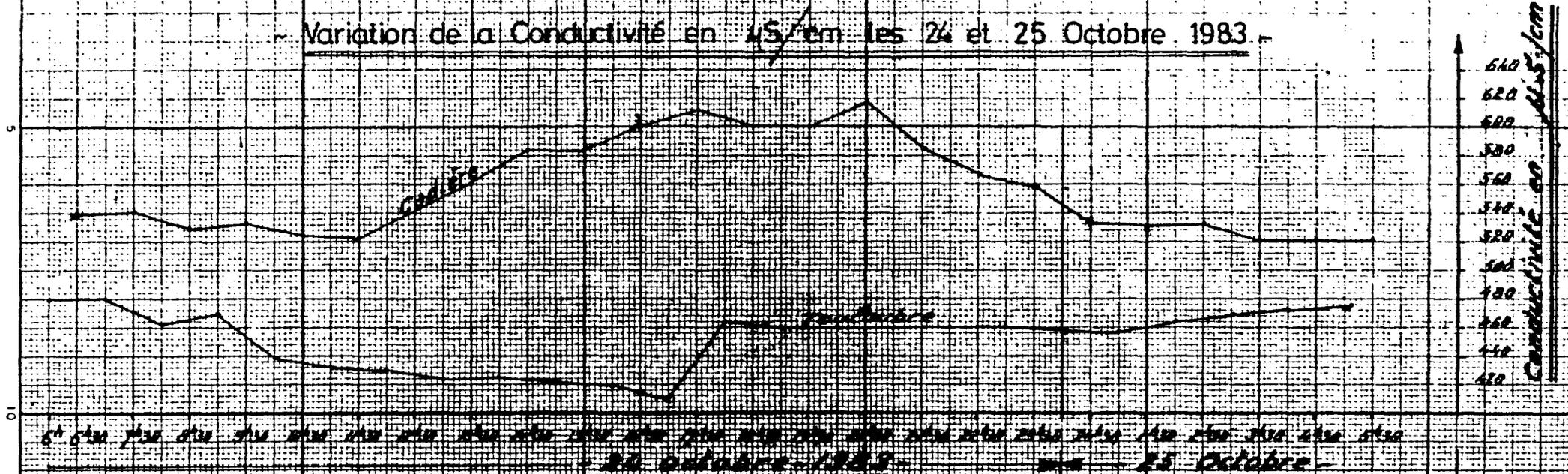
FIGURE 32



96.

- CADIÈRE - Aval Marignane -
- TOULOUBRE - Aval St. Chamas -

Variation de la Conductivité en $\mu S/cm$ les 24 et 25 Octobre 1983



Variation du Potentiel en Hydrogene (pH) en Unités pH le 24 et 25 Octobre 1983

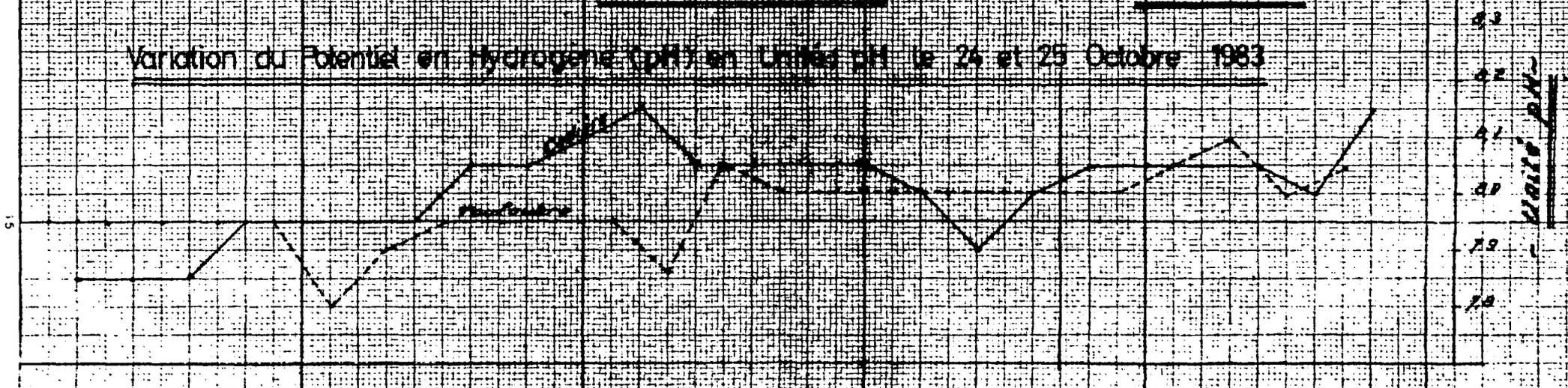


FIGURE 34

CADIÈRE

Etang de Berre

Aval Marignane - Aval Raumontin
- du niveau du CES

GRAPHIQUE de CORRESPONDANCE

FLUX de DBO_5 avec Thiourée en $g/s O_2$
et
DEBITS en m^3/s

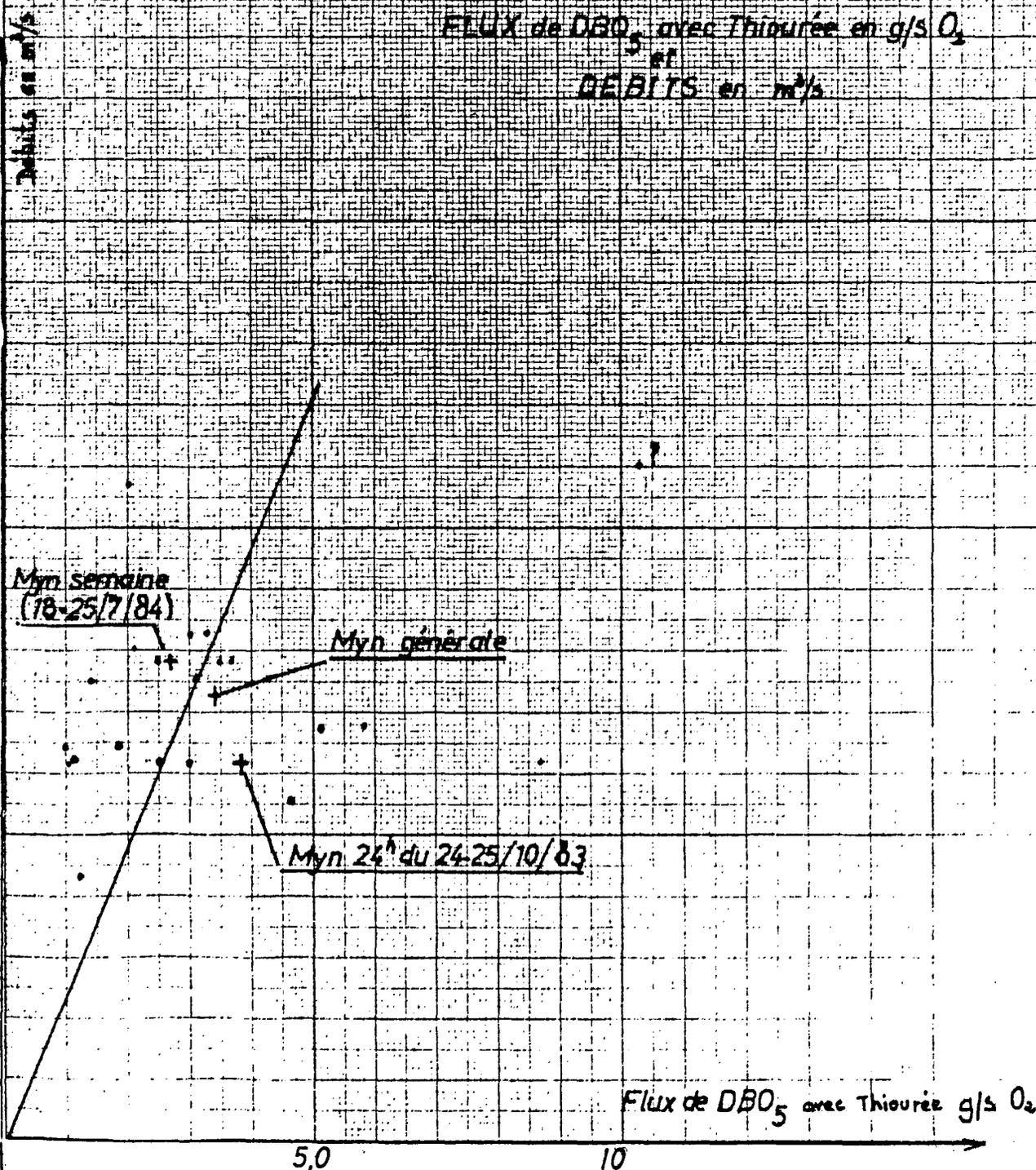


FIGURE 35

CADIÈRE

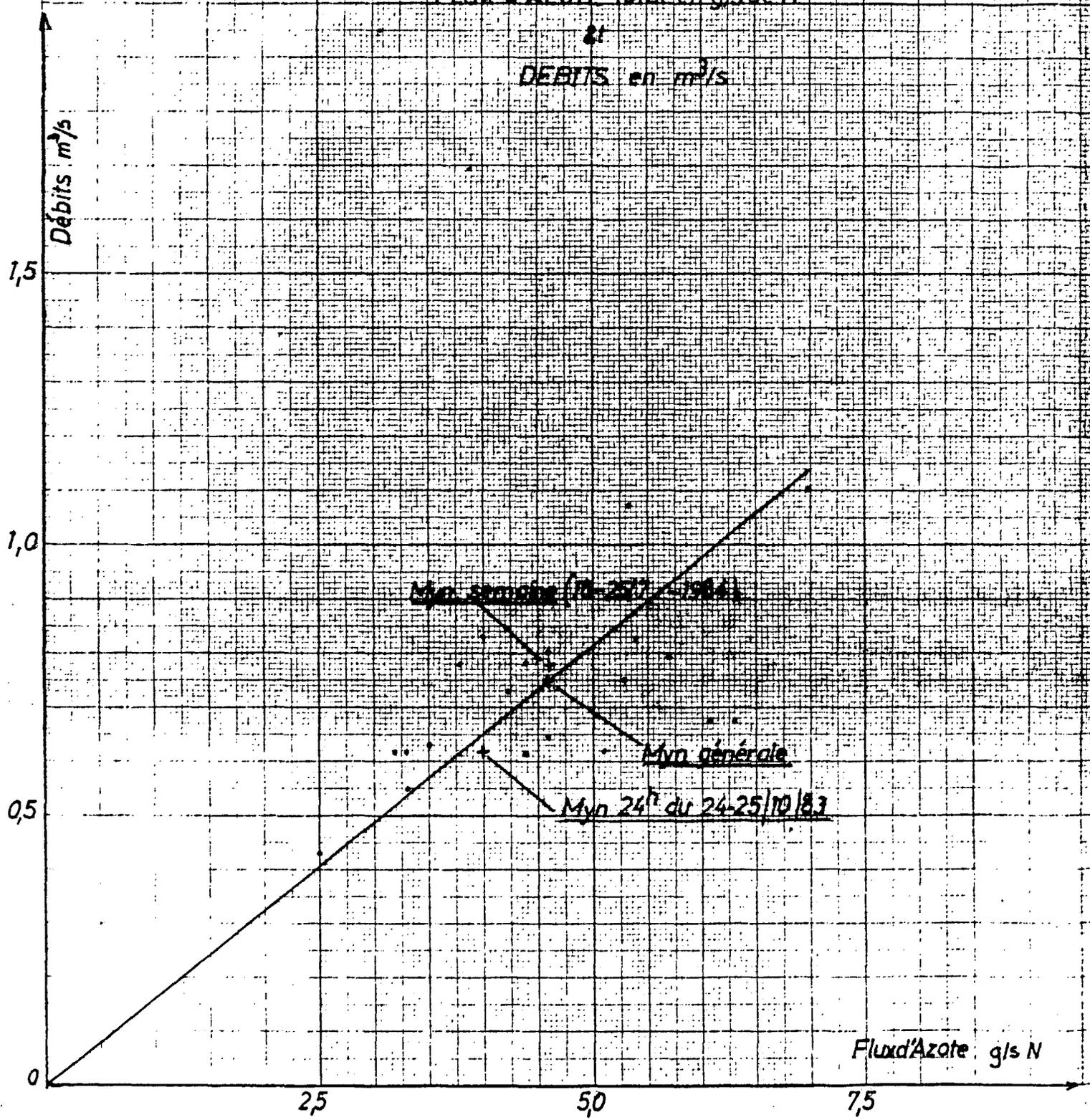
Etang de Berre

Aval Marignane - Aval Flaymartin
au niveau du CES

GRAPHIQUE de CORRESPONDANCE

FLUX d'AZOTE total en g/s de N

DEBITS en m³/s



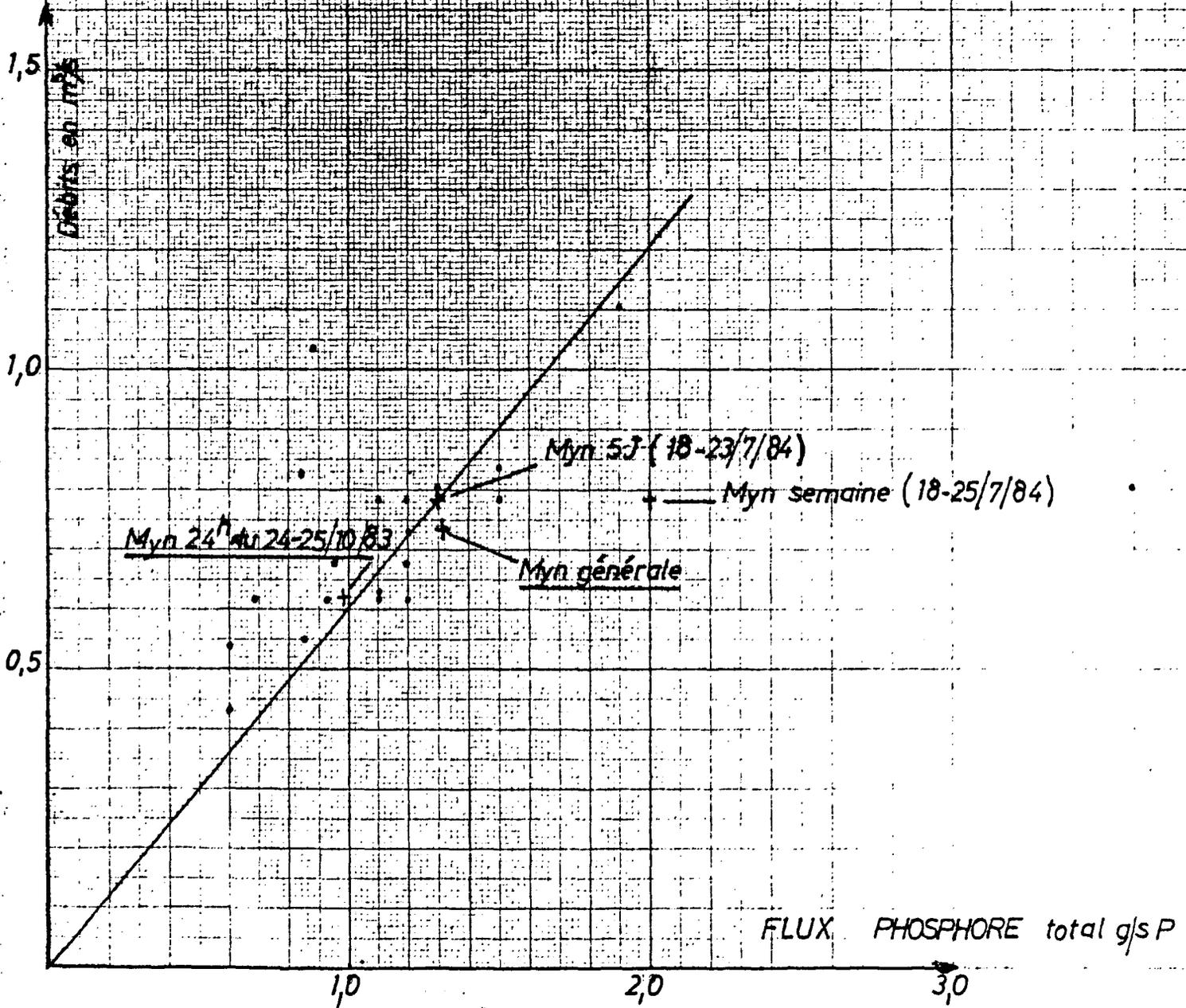
CADIÈRE

Etang de Berre

Aval Marignane Aval Raumontin
au niveau du C.E.S

GRAPHIQUE de CORRESPONDANCE

FLUX de PHOSPHORE total en g/s de P
et
DEBITS en m³/s



EVALUATION DES FLUX.
LA CADIERE à Marignane

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Sels ammo- nia- caux | Ni- tri- tes | Ni- tra- tes | Azote Kjeldahl | | Azote | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ | |
|--|------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--|--|
| | Totales | Orga- niques | Miné- rales | Eau brute | Avec Thio- urée | | | | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ |
| Episode hebdoma- daire normal (étiage)Kgs/sem. | 7007 | 3828 | 3179 | 4432 | 1616 | 1019 | 976 | 4535 | 1487 | 1170 | 2799 | 792 | 298 | 1010 | 1219 | 2566 | 7526 |
| Extrapolation 15 jours de crues brutales en tonnes | 922 | 292 | 629 | 68 | 23 | 4 | 0,08 | 6 | 9 | 4,4 | 10,6 | 3,2 | 0,027 | 1,4 | 1,35 | 3 | 17 |
| Flux annuel Tonnes/an (Qinst x ø inst) | 2150 | 720 | 1429 | 322 | 162 | 51 | 15 | 273 | 94 | 65 | 135 | 40 | 46 | 62 | 48 | 76 | 418 |
| Flux annuel corrigé (Qmoy.x ø inst) | 2155 | 724 | 1432 | 364 | 175 | 55 | 16 | 304 | 104 | 71 | 144 | 43 | 48 | 70 | 60 | 81 | 448 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ver

- Cas des matières en suspension: La distribution est régie, comme dans le cas de l'Arc, par une loi complexe qui traduit, en outre, une identité de progression entre les matières minérales et totales.
- Pour la DBO5, la dispersion des mesures est plus grande et l'on peut tracer approximativement une droite de relation moyenne à pente très accentuée.
- Les flux de phosphore et d'azote total sont, comme dans le cas de l'Arc, assez bien répartis selon des lois linéaires classiques.

IV.2.3.3.2 La comparaison des pourcentages mensuels avec les autres cours d'eau, montre que :

- Malgré un débit plus modeste et une distribution assez chaotique, les matières en suspension sont loin d'être négligeables, faisant pratiquement jeu égal avec celles de l'Arc,
- Les apports relatifs en azote total et en phosphore total viennent généralement en 3e position, après l'Arc et la Touloubre.

Le comportement des composés azotés est tout à fait significatif de processus peu avancés : les sels ammoniacaux et les nitrites montrent clairement l'insuffisance des processus d'oxydation. Ceci peut s'expliquer par le degré de pollution avancé de ce cours d'eau au débit modeste et par la proximité des points de rejet.

Par rapport à l'Arc ou à la Touloubre, la situation est bien plus critique.

- Le pourcentage de DBO5 confirme la charge importante véhiculée par ce ruisseau.

On peut moduler quelque peu ces observations en se référant aux heures de prélèvement qui jouent certainement un rôle dans l'aspect irrégulier des représentations graphiques (MES - DBO5 - Déficit en oxygène notamment) et dans l'origine de certains pics (phosphore total - NH_4^+ - NO_2^-) Une sous-estimation générale des évaluations n'est pas à exclure.

IV.2.3.3 Cas des crues - En l'absence d'échantillonnages précis, on néanmoins se livrer à une exploitation prudente de quelques mesures.

Si l'on compte qu'il y a environ 15 journées de crues dans l'année, on voit que ces épisodes sont responsables de :

- 40 - 44 % des apports en matières en suspension (minérales ou organiques),
- mais que cette influence est plus limitée sur les autres paramètres puisque l'on a :

- 20 % des flux de DBO5 ()
 - 8 à 9 % des flux d'azote total ()
 - 2 à 3 % des flux de phosphore total ()
 - 4 % des flux de silice ()
- attribuables
aux crues

En dehors du cas des MES, la majorité des flux est transportée en période d'écoulement normal, ce qui atteste de la régularité de la pollution habituelle et de sa relative intensité.

Des vérifications concernant les phénomènes de crues sont cependant à préconiser.

IV.2.4. GALERIE PLUVIALE DE L'OLIVIER

Ce point d'étude, un peu spécial, a été implanté au débouché de la galerie pluviale d'évacuation mettant en communication l'Etang de l'Olivier avec l'Etang de Berre.

IV.2.4.1 Situation - L'Etang de l'Olivier, situé au Nord d'Istres, est une petite cuvette, assez encaissée (225 ha) qui reçoit les apports de son bassin versant immédiat, mais surtout, des dérivations d'irrigation :

- dérivation du Canal de Blanqueiron,
- dérivation du Canal de Craponne,
- Dérivation du canal de jonction Entressen-Olivier.

Toutes ces arrivées s'effectuent en rive Ouest.

En dehors de ces apports pouvant véhiculer des résidus agricoles, il ne devrait pas y avoir de rejets urbains, la ville d'Istres étant dotée de stations d'épuration (La Romaniquette, les Heures Claires) qui déversent directement dans l'Etang de Berre.

La galerie sert à évacuer les surplus d'eau, notamment en période de pluie. De forts courants sont d'ailleurs observés durant ces périodes orageuses.

En période sèche, le fonctionnement hydraulique de l'ensemble Berre - Olivier, est assez complexe. On observe des renversements de courant et des périodes étales avec écoulement nul.

Ces balancements entre vases communicants obéissent à une interdépendance de plusieurs facteurs :

- arrivées d'eau qui doivent s'évacuer vers Berre,
- sens et force du vent qui entraînent houle ou vagues et qui peuvent jouer dans un sens ou dans l'autre,
- effet d'entraînement ou, au contraire, de barrage pouvant s'opérer lorsque le canal E.D.F. fonctionne (?).

Cette hydraulicité complexe, qui est mal cernée, explique les difficultés rencontrées pour l'établissement correct des flux.

IV.2.4.2 Analyse des données physico-chimiques - Cinq prélèvements ponctuels seulement peuvent être exploités (Août, Septembre, Novembre, Décembre et Mars) car tous les autres prélèvements sont intervenus alors que l'Etang de Berre alimentait l'Etang de l'Olivier.

Durant l'opération sur 7 jours, le renversement attendu ne s'est pas produit et l'épisode de vidange pluviale du mois de mai 1985 n'a malheureusement pu être saisi, le personnel étant mobilisé sur les autres apports.

Les considérations qui suivent sont donc extrapolées et entâchées d'une certaine incertitude.

IV.2.4.2.1 Concentrations (tableaux B.X, B.XI (annexe), tableau XIV figure 37

- . le facteur température est à prendre en compte avec de fréquents dépassements de la valeur 20° C,
- . le pH oscille autour de 8,0 avec des pointes à 8,8,
- . la conductivité indique que les eaux de l'Olivier sont moins saumâtres (environ 3000 micro s) que celles de Berre,
- . la saturation en oxygène est généralement moyenne avec des sursaturations dues à la forte activité chlorophyllienne qui se manifeste en saison chaude dans l'Etang de l'Olivier.

Un fort déficit est constaté (juin 1984) lorsque les eaux de Berre pénètrent dans la galerie.

- . la DBO5, relativement soutenue, atteste de l'intensité des phénomènes biochimiques et de l'importance de la matière organique présente dans le système et en voie de dégradation.
- . la répartition des matières en suspension confirme tout à fait la prépondérance du % en matières organiques.

| Paramètres | | Unités | Valeurs | | | Ecart type σ_n |
|---|----------------------|---------------------|-------------|---------|--------------|--------------------------|
| | | | minimale(s) | Moyenne | maximale (s) | |
| Températures | Air | °C | 4°9 | | 23°9 | |
| | Eau | °C | 6°1 | 14,3 | 24°4 | 6°4 |
| pH | | pH | 8 | 8,3 | 8,8 | 0,3 |
| Conductivité à 20°C | | μS | 2640 | 2952 | 3360 | 241 |
| Oxygène | dissous immédiat. | mg/l | 7,1 | 10,1 | 11,5 | 1,6 |
| | % de saturation | % O ₂ | 82 | 102 | 140 | 20 |
| DBO ⁵ | Eau brute | mg/l | 3,7 | 3,8 | 5,3 | 0,9 |
| | Eau brute + Thiourée | O ₂ | 2,1 | 3,5 | 4,6 | 0,8 |
| Sels ammoniacaux en NH ₄ ⁺ | | mg/l | 0 | 0,12 | 0,36 | 0,15 |
| Nitrites en NO ₂ ⁻ | | mg/l | 0 | 0,026 | 0,13 | 0,052 |
| Nitrates en NO ₃ ⁻ | | mg/l | 0 | 0,08 | 0,4 | 0,16 |
| Azote Kjeldahl | Eau brute | mg/l | 2,4 | 3,2 | 3,8 | 0,5 |
| | Eau décantée | N | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 0,2 |
| Oxydabilité à froid en 4 h. | | mg/lO ₂ | 2,5 | 3 | 3,7 | 0,5 |
| Orthophosphates en PO ₄ ⁻⁻⁻ | | mg/l | 0 | 0,05 | 0,25 | 0,1 |
| Phosphore total en P | | mg/l | 0,15 | 0,21 | 0,31 | 0,05 |
| Matières en suspension | Totales MEST | mg/l | 10,2 | 21 | 27 | 6,4 |
| | Organiques MESO | mg/l | 8,4 | 14,8 | 20,3 | 3,8 |
| | Minérales MMin | mg/l | 1,8 | 6 | 11,8 | 3,5 |
| Silice en SiO ₃ ⁻⁻ | | mg/l | 21 | 26 | 30 | 3 |
| Observations | | | | | | |

Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres physico-chimiques

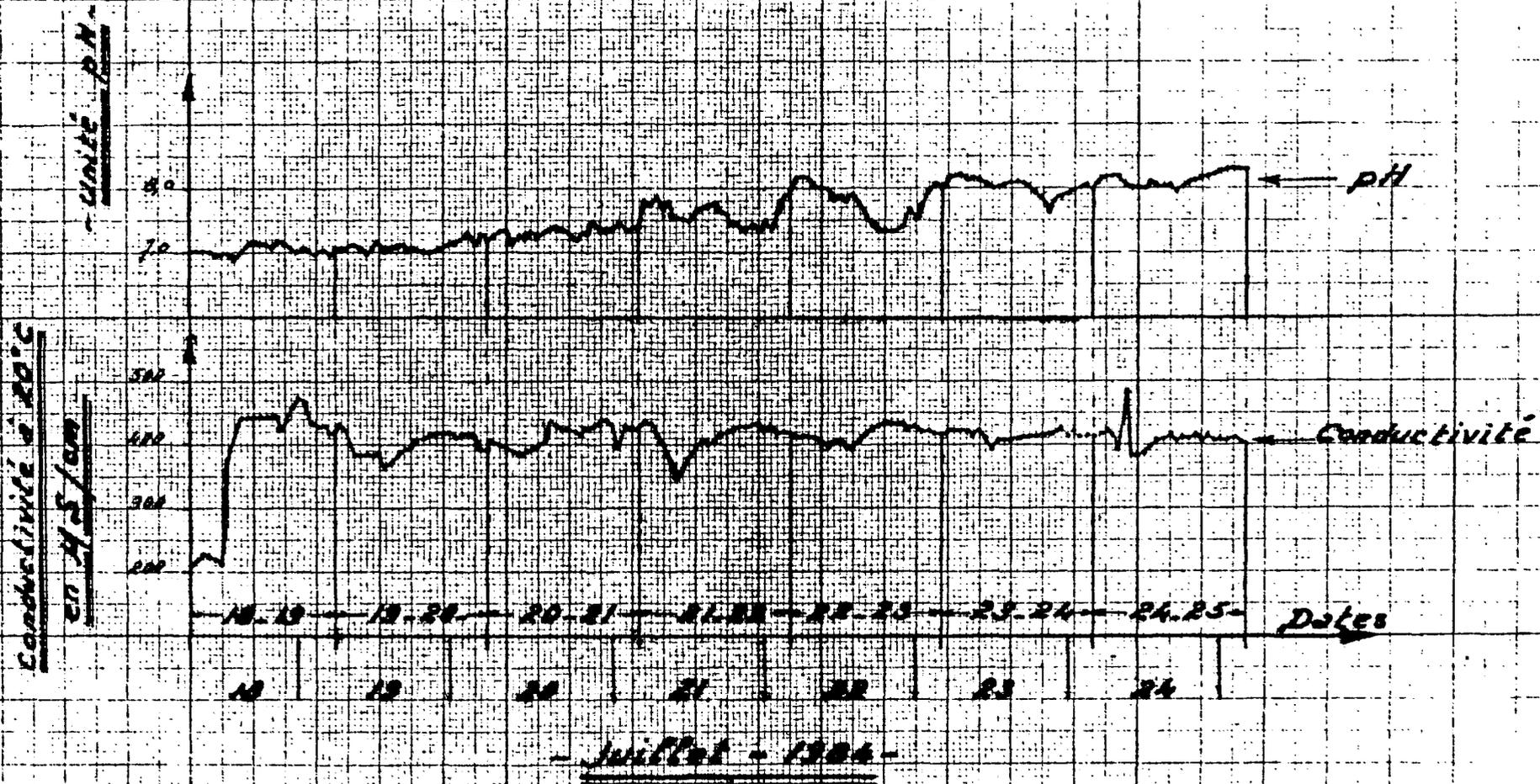
TABEAU XIV

105

GALERIE DE L'OLIVIER

Variations mesurés sur Echantillons ponctuels Horaires

Intervention sur 7 jours du Mercredi 18 Juillet au Mercredi 25 Juillet 1984



90V

. le comportement de l'azote est très significatif. En saison chaude les formes minérales de l'azote sont entièrement consommées pour l'édification de matière vivante. Il reste, cependant, une part d'azote organique qui peut provenir de dégradations endogènes ou d'effets de seuil.

En période hivernale, on vérifie que l'assimilation redevient incomplète, en concordance avec le développement du cycle des algues;

. l'évolution des orthophosphates est tout à fait comparable à celle de l'azote minéral. Il y a aussi persistance d'une part de phosphore organique.

Lorsque les eaux de Berre alimentent l'Olivier, on remarque qu'elles amènent un flux d'éléments nutritifs non négligeable, qui contribue à augmenter la production primaire déjà intense par elle-même. Des travaux antérieurs montrent l'état estival généralement anoxique de l'hypolimnion de l'Etang de l'Olivier. L'étude sur 7 jours indique que la proximité du rejet de la station de la Romaniquette est un facteur qui accentue les flux qui sont normalement injectés à partir des eaux de Berre. La disposition des aménagements est, ici, à prendre en compte et à relier aux phénomènes courantologiques.

IV.2.4.2.2 Notions de flux - Figures 38, 39, 40, 41

Tableau XV

Malgré l'insuffisance de mesures dans le sens $O \rightarrow B$, on arrive à dégager les idées suivantes :

. le tarage des flux en fonction des débits confirme la prépondérance de la matière organique et pour celle-ci une croissance plus rapide de la droite d'entraînement.

Les flux de DBO5 d'azote et de phosphore total sont bien proportionnels au débit.

L'apport d'azote s'effectue selon une loi linéaire mais avec une pente plus faible que pour le phosphore. Ceci peut indiquer que la production intense à l'Olivier en intègre déjà une grande partie sur place, alors que les facteurs limitants d'absorption du phosphore sont plus rapidement atteints, d'où un excédent qui retourne plus vite vers l'Etang de Berre.

. Globalement, mais en restant prudent sur l'estimation générale des flux, on dira que l'Etang de l'Olivier se manifeste surtout au niveau des apports :

- en silice dissoute 500 T/an,
- en matières en suspension 400 T/an,
dont 75 % de matières organiques,
- en azote organique (90 % de l'azote total).

FIGURE 38

SURVERSE ETANG DE L'OLIVIER

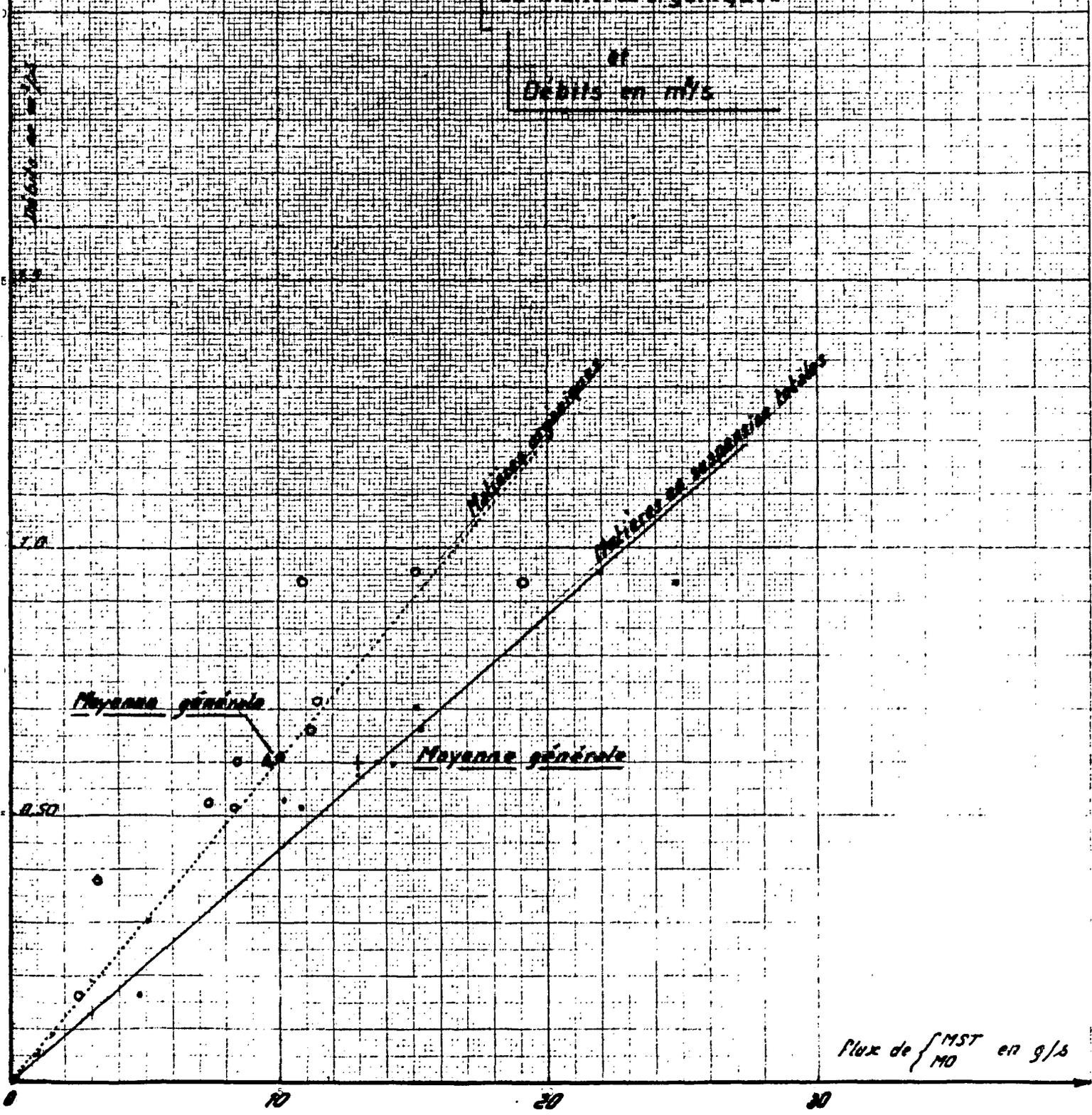
ETANG DE BERRE

GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE

Flux $\left\{ \begin{array}{l} \text{de matieres en suspension totales} \\ \text{de matieres organiques} \end{array} \right.$ en g/s

et

Debits en m³/s



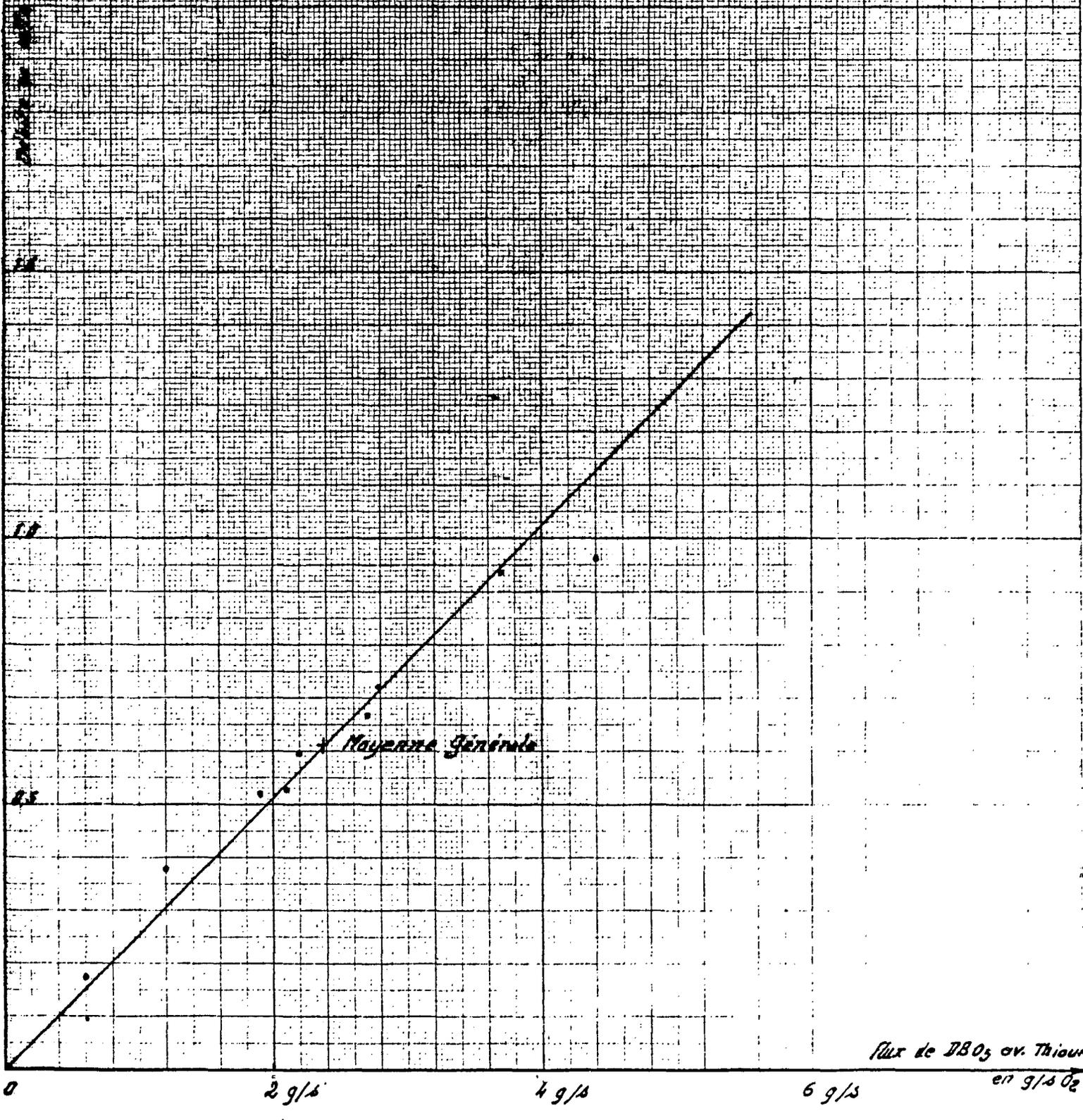
Flux de $\left\{ \begin{array}{l} \text{MST} \\ \text{MO} \end{array} \right.$ en g/s

SURVERSE ETANG DE L'OLIVIER

ETANG DE BERRE

GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE

Flux de DBO_5 avec Thiourée en g/s O_2
et débits en m^3/s



Flux de DBO_5 av. Thiour
en g/s O_2

110

FIGURE 40

SURVERSE DE L'ETANG DE L'OLIVIER

ETANG DE BERRE

GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE

Flux d'Azote total en g/s de N
et débits en m³/s

débits en m³/s

30

20

10

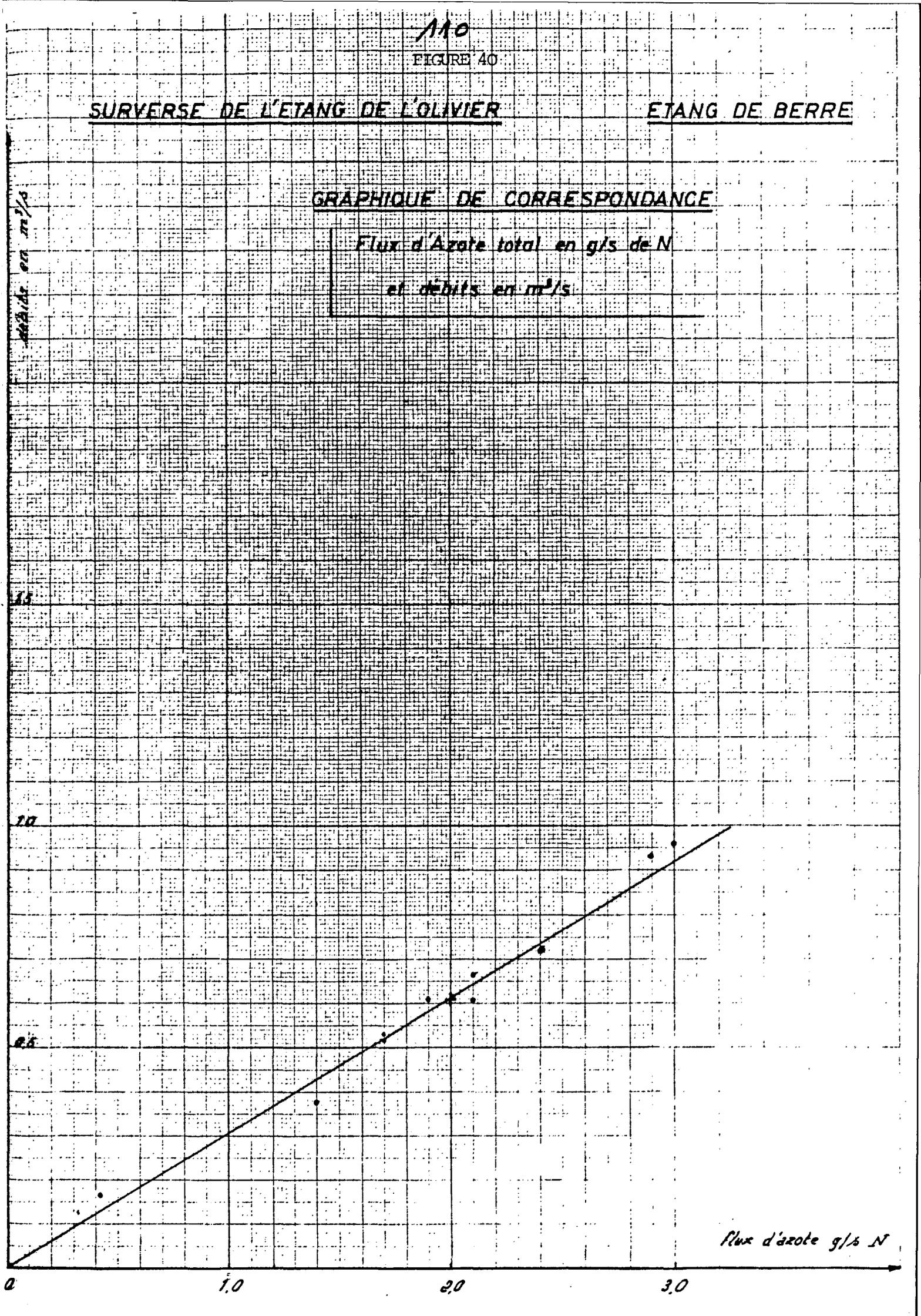
Flux d'azote g/s N

0

1.0

2.0

3.0



AM

FIGURE 41

SURVERSE DE L'ETANG DE L'OLIVIER

ETANG DE BERRE

GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE

Flux de Phosphore total en g/s de P
et
Débits en m³/s

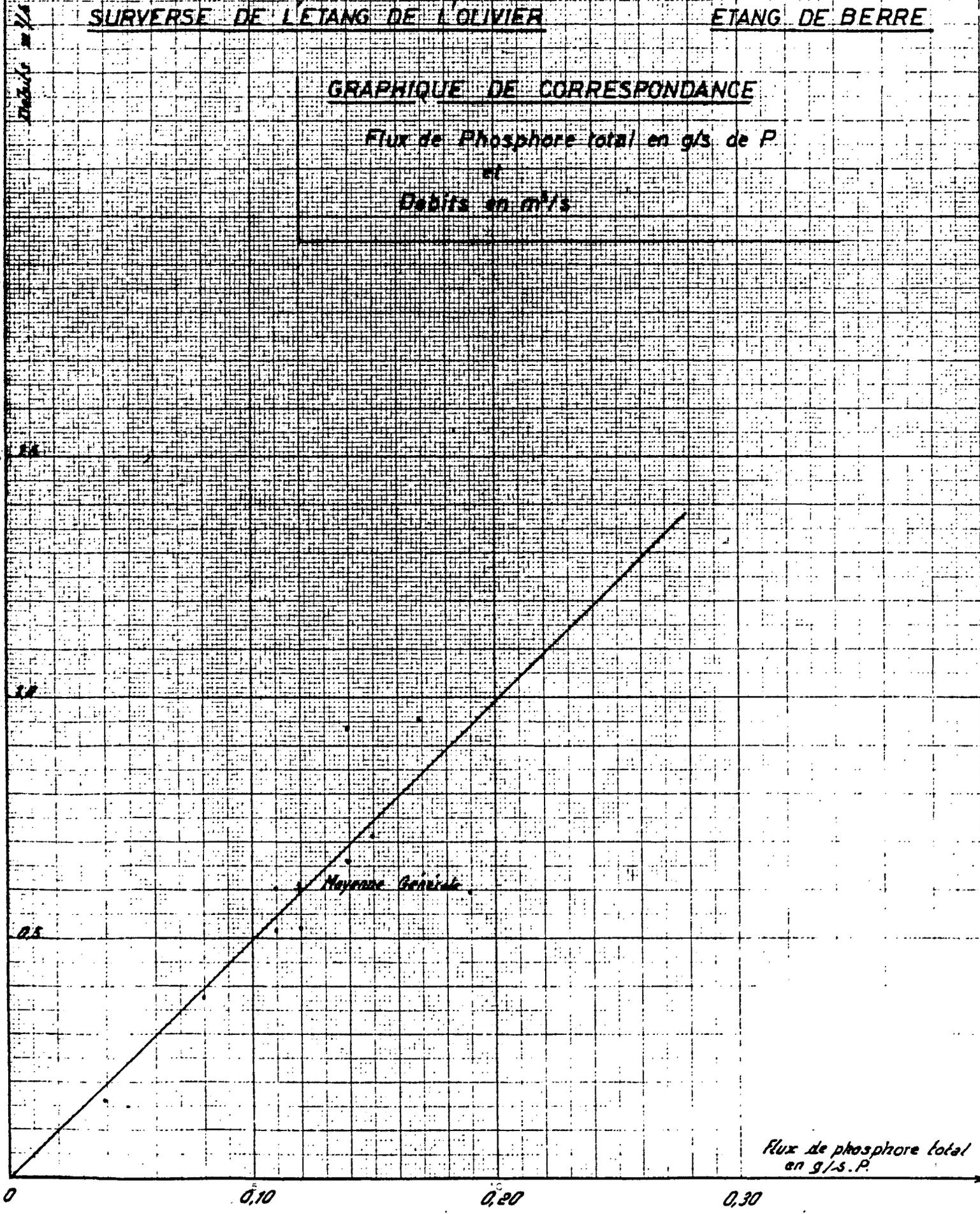


TABLEAU XV

SERVICE REGIONAL DE L'AMENAGEMENT DES EAUX
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR

ETUDE DES APPORTS A L'ETANG DE BERRE
1983 - 84

EVALUATION DES FLUX.
GALERIE de l'Olivier à ISTRES

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Azote Kjeldahl | | Azote | | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--|--|
| | Totales | Orga- niques | Miné- rales | Eau brute | Avec Thio- urée | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ | |
| Flux annuel supposé Tonnes/an | 408 | 302 | 107 | 81 | 75 | 62 | 47 | 69 | 1,9 | 0,1 | 0,052 | 3,8 | 1,5 | 501 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

112

On remarque, en particulier, que la galerie de l'Olivier dépasse les apports du Canal de Gardes en ce qui concerne les flux de silice, de MES et d'azote Kjeldahl.

Le canal de Gardes et la galerie de l'Olivier font presque jeu égal à propos de leur contribution en DB05.

Les autres apports sont insignifiants au regard des autres rivières.

IV.2.5 Le canal EDF

IV.2.5.1 Généralités

La grande majorité des apports Duranciens s'effectue par déversement du Canal E.D.F., au niveau de Saint-Chamas.

C'est un apport qui se caractérise par un caractère artificiel important et récent à l'échelon chronologique.

Depuis fin mars 1966, dans le cadre de l'aménagement agro-industriel de la Basse Durance, une grande partie des eaux de la Durance est dérivée au niveau de Cadarache (250 m³/s) au maximum) dans un canal usinier de 85 km.

La chute totale d'environ 256 m, permet une exploitation hydroélectrique de cinq usines (Jouques, Saint-Estève, Mallemort, Salon et Saint-Chamas) produisant au total 2300 kWh par an.

La figure 42 indique le plan général de cette dérivation (réf. E.D.F.-R.E.H. Alpes du Sud - 1967).

Le caractère artificiel des apports est accentué par l'exploitation en éclusées journalières pour les besoins de la production énergétique. Les fluctuations du débit sont importantes dans le temps : les maxima se situant en hiver et/ou printemps, les minima en été et en automne.

Au niveau de Cadarache, le bassin versant avoisinant 12 000 km² situe l'intérêt et l'importance de ces apports.

En amont de la dérivation un certain nombre d'établissements industriels constituent par la nature de leurs rejets une menace potentielle chronique et/ou accidentelle de pollution. Les récents événements de l'usine ATOCHEM en constituent une illustration (*).

La campagne de prélèvements, menée d'août 1983 à juillet 1984, a pour but d'établir un bilan qualitatif et quantitatif des principaux paramètres minéraux et organiques.

(*) Déversement accidentel de 20 kg de LINDANE dans la Durance - 18 septembre 1984).

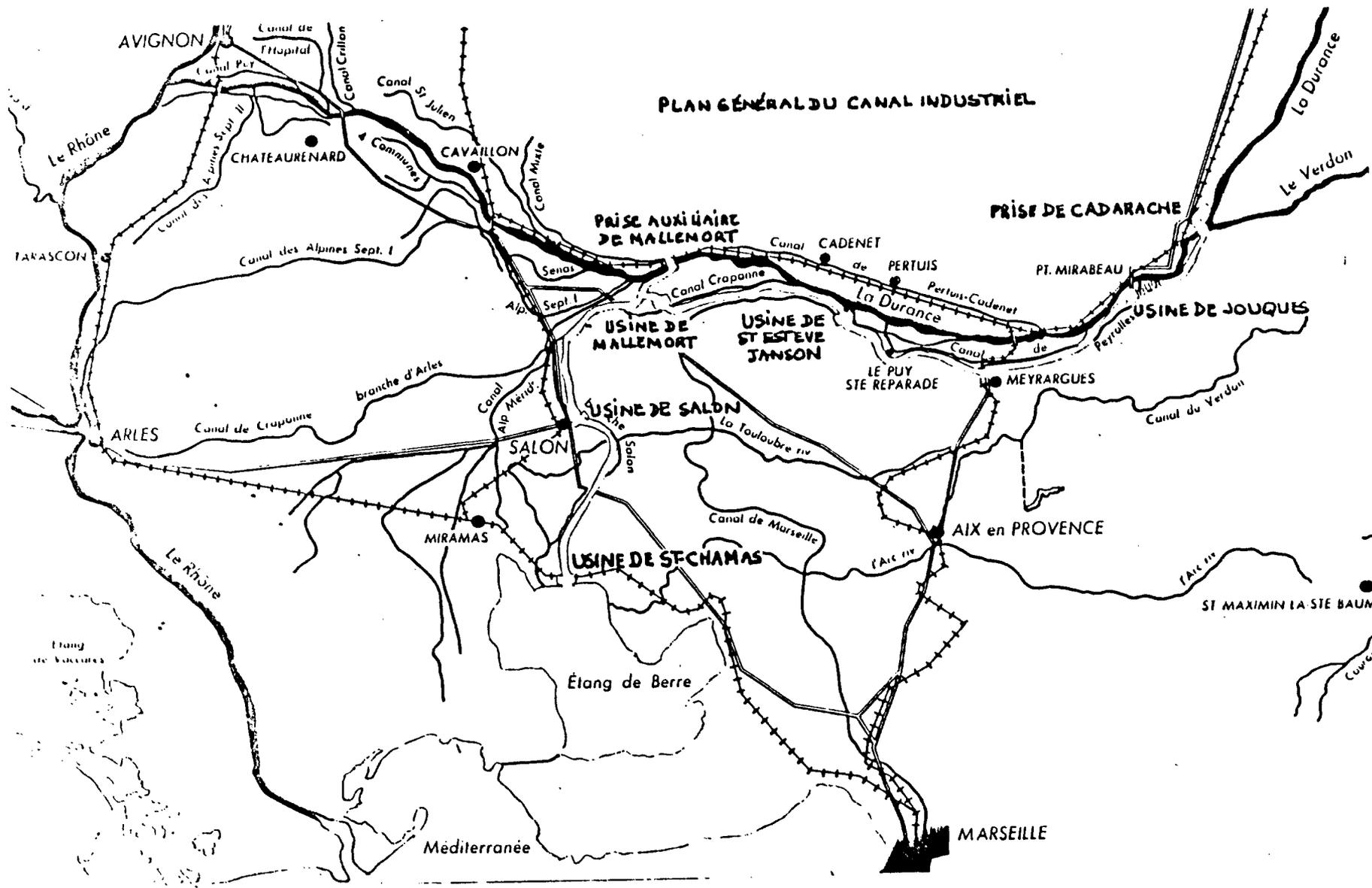


FIGURE 42 - PLAN GENERAL DU CANAL INDUSTRIEL d'après E.D.F. - G.R.P.H. 1967

IV.2.5.2 Analyse des résultats

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux du Canal E.D.F. a été effectuée à partir des ouvrages de dérivation de la Société du Canal de Provence (usine de traitement de Saint-Chamas : 0,4 m³/s environ).

Les débits solides et liquides ont été établis d'après les relevés quotidiens fournis par E.D.F.-G.R.P.H. Méditerranée.

IV.2.5.2.1 Les apports liquides

Les données ont été examinées précédemment dans le chapitre II -Hydrologie. Cependant, groupées dans les tableaux B.XII, B.XIII (annexe), elles permettent d'établir les débits moyens journaliers et les volumes mensuels.

Deux constatations majeures se dégagent :

- l'importance du débit Durancien sur les autres apports naturels,
- la forte variation temporelle de ces mêmes apports.

La valeur relative du débit du canal usinier E.D.F. est importante, elle varie de 92 à 96 %. Le total des apports liquides durant la période examinée atteint 3 626 hm³ qu'il faut rapprocher de la moyenne des années (1966 - 1980) (3550 hm³).

Le module moyen annuel s'établit à 117 m³/s.

L'amplitude des apports mensuels est forte : elle passe de 62 à 581 hm³, cependant bien loin des minima (4,9 hm³) et maxima (731 hm³) observés durant la période (1966 - 1980).

Le minimum s'étale en été sur deux mois (juillet - août). Les maxima au nombre de deux sont en hiver, et à la fin du printemps (près de 1,9 fois le volume moyen mensuel).

En résumé, les apports liquides déversés par le Canal E.D.F. dans l'Etang de Berre durant la période d'observation correspondent aux moyennes de la période 1966 - 1980. Cet apport moyen (module de 117 m³/s) est variable dans le temps avec un minimum estival (27 m³/s) et deux maxima d'inégale importance, l'un en hiver (158 m³/s), l'autre plus important à la fin du printemps (224 m³/s).

IV.2.5.2.2 Les apports solides

Le chapitre III (sédimentologie) a déjà traité de la distribution des tailles du matériel particulaire en suspension et de la nature des minéraux argileux.

Les principaux résultats conduisent, par la méthode du comptage particulier à une sous évaluation (environ la moitié) des apports solides tels qu'ils ressortent des données E.D.F. Cependant les proportions relatives par rapport aux affluents naturels sont très comparables avec les précédents.

Le présent développement a pour objet la quantification, les modalités de distribution, et l'évaluation de la nature minérale et organique de ces apports.

IV.2.5.2.2.1 Les matières en suspension, évolution des concentrations

Les résultats sont établis à partir, d'une part des données E.D.F.-G.R.P.H. Méditerranée (relevés quotidiens moyens) et d'autre part à partir des prélèvements (ponctuels mensuels et séquentiels). Les données E.D.F. MES quotidiennes n'ont pas fait l'objet de traitement détaillé. Le lecteur le désirant, pourra se reporter aux fiches de résultats jointes en annexe.

Les figures 43 , 44 , 45 et 46 regroupent l'évolution des moyennes mensuelles dans la période écoulée et la distribution des moyennes journalières et horaires au cours de la crue hebdomadaire de mai 1984 (22 - 29).

Cycle journalier des MES

L'échantillonnage des 28/29 septembre 1983 (24 prélèvements horaires moyens répartis en quatre séries de 6 heures) ne permet pas d'établir une périodicité journalière, du moins à cette occasion.

Cycle hebdomadaire (cas de la crue du 22 - 29 mai 1984)

Le cas de cette crue de moyenne importance a été étudié à partir de prélèvements horaires journaliers moyens, d'un volume de 1,5 l prélevé en 4 fois.

Les résultats obtenus conduisent aux observations suivantes :

- les moyennes journalières traduisent l'importance et l'irrégularité des variations (figure 45). Celles-ci semblent liées aux fluctuations de débit : c'est la manifestation des effets de chasse hydraulique. La distribution de la taille des particules corrobore ces faits - In Loeillet - Chapitre II.
- les moyennes horaires cernent mieux l'hétérogénéité des concentrations en MES. Ainsi pour un début de crue (prélèvement du 23 - 24 mai, 15° - 15°, le maximum horaire atteint près de deux fois la moyenne quotidienne (802 mg/l contre 395 mg/l.) (figure 45).

Evolution mensuelle des MES (figure 43)

Le traitement des données quotidiennes E.D.F. a pour objet uniquement de dégager une moyenne mensuelle en MES, et d'approcher une moyenne annuelle à comparer avec les données antérieures.

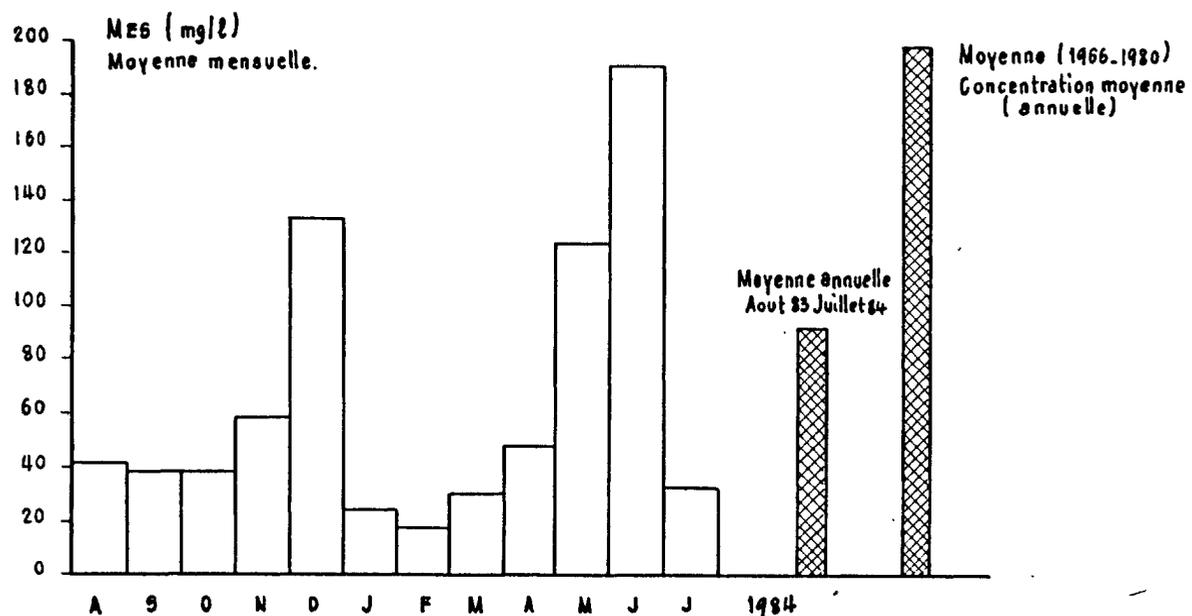
Les renseignements observés sont les suivants :

- la distribution des moyennes mensuelles est identique à celle des apports solides,
- le minimum et le maximum sont respectivement de 18 et 190,8 mg/l en février et juin 1984.

FIGURE 43

**SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE**

MOYENNE MENSUELLE DES MES (concentration en mg/l) d'après les données E.D.F. GRPH Méditerranée.



118

EVOLUTION DES MES AU COURS D'UNE CRUE CANAL E. D. F (hebdomadaire, Journalière, horaire du 22 au 30 Mai 1984)

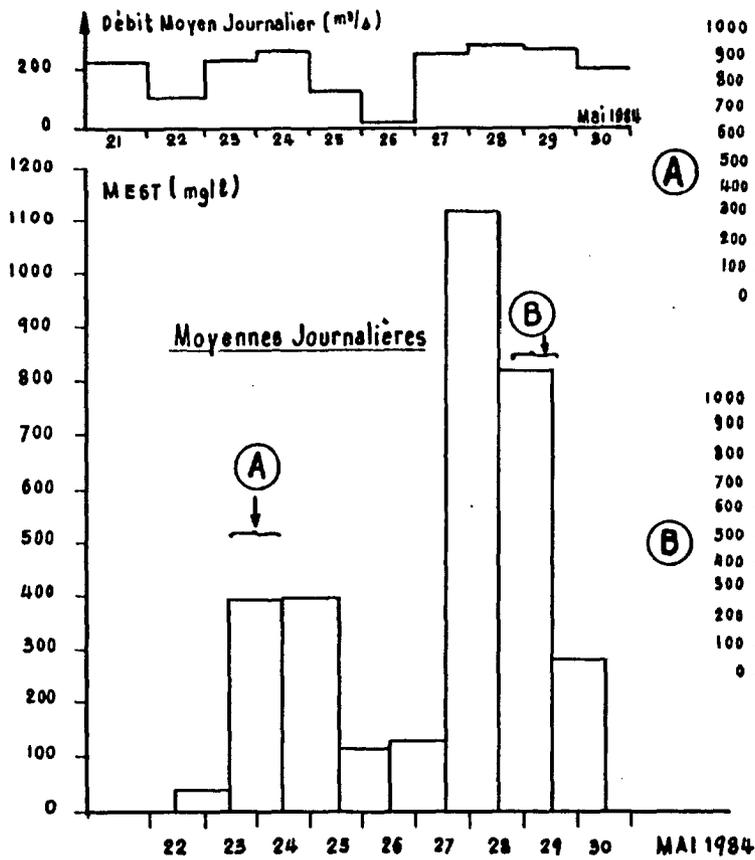


FIGURE 44

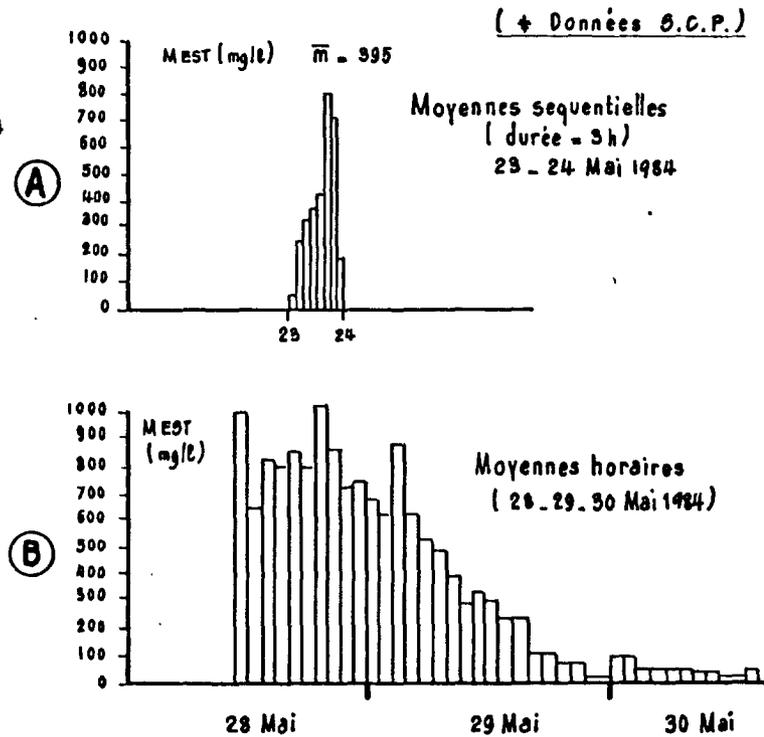


FIGURE 45

119

En résumé - L'étude de la distribution des MES permet d'appréhender l'importance des prélèvements. Ceux-ci, aléatoires et mensuels, conduisent à des données hétérogènes. Seul, un prélèvement moyen, notamment lors d'épisode de crue est représentatif, compte-tenu de l'importance et de la variabilité de l'hydraulicité.

Les données fournies par E.D.F., au niveau de l'usine de Saint-Chamas, paraissent garantir ces éléments.

IV.2.5.2.2 Estimations des apports annuels

La figure 46 indique l'évolution quotidienne de ces apports (selon les données E.D.F.-G.R.P.H. Méditerranée). Les tableaux et graphes 47, B.XIV, B.XV fournissent les valeurs mensuelles, les comparaisons avec les moyennes existantes et les modalités de la distribution.

Le tonnage estimé, 329 400 T, durant cette période est loin de la moyenne (1966 - 1982) calculée (656 447 T). Deux explications, d'une part le maximum enregistré en 1977 de 1 641 134 T, a grévé lourdement la moyenne, d'autre part la récente mise en service du bassin de décantation de Cadarache et le bon fonctionnement de celui-ci, produisent un abattement important.

Les apports mensuels reflètent ces données : la moyenne de 27 450 T est à comparer avec un minimum de 3024 T (en août 1983) et un maximum de 101 318 T en juin 1984).

Les modalités de l'apport sont significatives. Près de 70 % du total sont déversés pendant trois mois (décembre 1983, mai et juin 1984), alors que 18 % seulement sont apportés en sept mois.

La répartition quotidienne est illustrée dans le tableau suivant :

| % des apports solides | Nombre de jours |
|-----------------------|-----------------|
| 10 | 2 |
| 16 | 3 |
| 20 | 4 |
| 30 | 7 |
| 32 | 8 |
| 40 | 11 |

IV.2.5.2.3 Les caractéristiques physico-chimiques (paramètres hydrologiques et sels nutritifs - Evolution mensuelle et estimation d'un flux annuel)

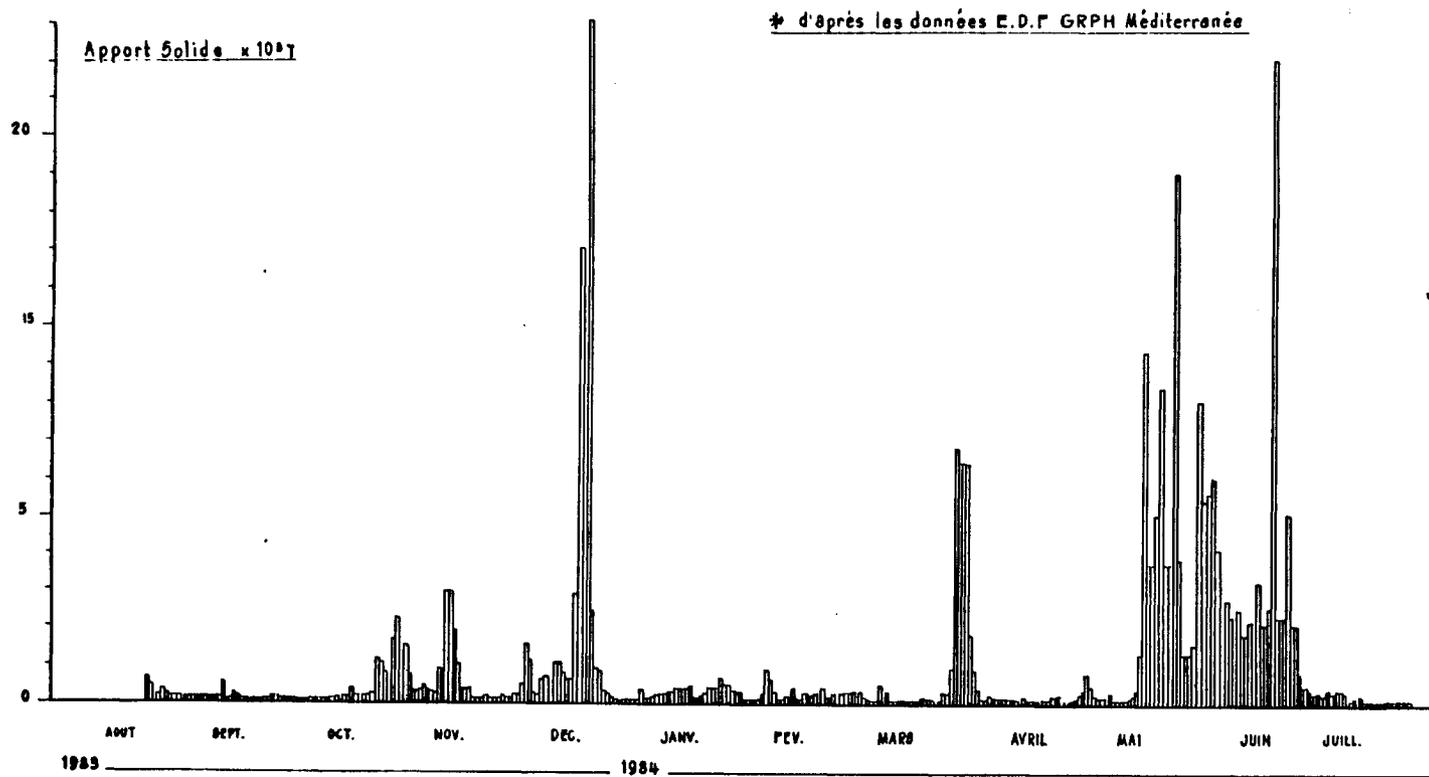
Les divers paramètres examinés ont trait essentiellement :

- à l'Hydrologie (température, conductivité et pH),
- à l'Hydrobiologie (oxygène dissous, demande biologique en oxygène DB05),
- aux sels nutritifs (Azote, phosphore et silice).

FIGURE 46

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE

LES APPORTS SOLIDES DU CANAL E.D.F. DANS L'ÉTANG DE BERRE (Aout 1983 - Juillet 1984)

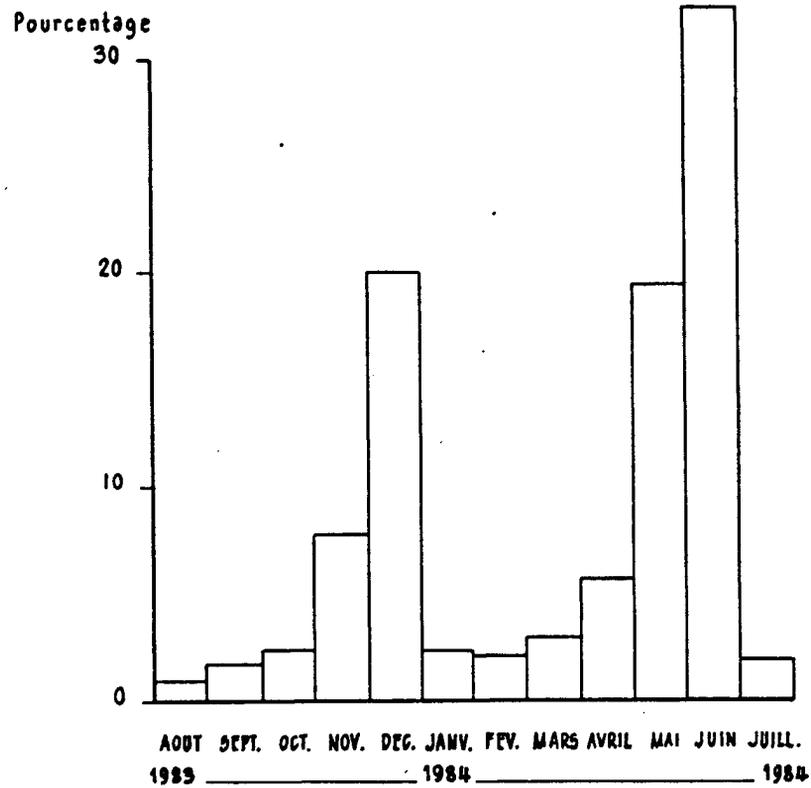


121

FIGURE 47

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE

REPARTITION MENSUELLE DES APPORTS SOLIDES DU
CANAL E. D. F (Aout 1983 - Juillet 1984)



Le calcul des flux a été établi à partir des concentrations mensuelles aléatoires et des débits mensuels pondérés. Contrairement au cas des MES, on peut considérer que l'hétérogénéité des mesures est moins importante.

Les tableaux B.XVI, B.XVII (annexe) regroupent les divers résultats mensuels et quotidiens lors des échantillonnages.

Le tableau XVII présente la dispersion des mesures autour de la moyenne arithmétique (minimum, moyenne et écart type).

Enfin le tableau B.XVIII et la figure 48, regroupent le bilan annuel et la distribution mensuelle des divers flux.

IV.5.2.3.1 Les paramètres hydrologiques

1) La température

Elle est fonction des données climatiques saisonnières et des événements survenus dans tout le bassin versant : les valeurs extrêmes varient de + 5° C en février 1984 à près de 18° C en août 1983.

2) La conductivité

Représentative de la totalité de la charge ionique dissoute, elle traduit la dissolution des éléments dans le bassin versant. La plage de variation s'étend de 300 à 450 micro-Siemens. Le maximum est atteint en fin de période hivernale et au début du printemps 1984.

3) Le pH

Il n'y a pas de remarques particulières au sujet de ce paramètre, l'homogénéité des mesures (7,6 - 8,1) paraît conforme à la nature des eaux duranciennes.

IV.5.2.3.2 Les paramètres hydrobiologiques

Oxygène dissous et demande biologique en oxygène ont été étudiés.

1) L'oxygène dissous : - Les résultats sont exprimés en concentration mais aussi en pourcentage de saturation.

Les eaux du canal usinier sont généralement bien oxygénées (de 75 à 116 % en saturation).

Distribution et bilan global (figure 49)

La distribution mensuelle de cet apport en oxygène est instructive, un excédent manifeste (1730 T/O2) durant la période hivernale (de novembre 1983 à mars 1984), puis un déficit se creuse pour atteindre son apogée en juin 1984 (640 T/O2).

Globalement il y a un excédent (+ 68 T/O2).

TABLEAU XVII

| PARAMETRES | UNITES | VALEURS | | | ECART TYPE | |
|------------------------|----------------------|---------|----------|-------|---------------|-------|
| | | MINI | MOYENNES | MAX | | |
| Températures | Air | °C | 4,5 | | 19,1 | |
| | Eau | °C | 5,3 | 11,7 | 17,7 | 4,4 |
| | pH | pH | 7,6 | 7,9 | 8,2 | 0,15 |
| Conductivité à 20° C | | µS | 302 | 395 | 490 | 52 |
| Oxygène | Dissous immédiat | | 7,0 | 10,3 | 14,2 | 2,1 |
| | % de saturation | mg/l | 73 | 96 | 116 | 11,2 |
| DBO5 | Eau brute | mg/l | 0,3 | 0,75 | 1,2 | 0,25 |
| | Eau brute + Thiourée | O2 | 0,3 | 0,67 | 3,3 | 0,62 |
| Sels ammoniacaux en NH | | mg/l | 0,01 | 0,04 | 0,083 | 0,04 |
| Nitrites en NO2 | | mg/l | 0,01 | 0,027 | 0,032 | 0,02 |
| Nitrates en NO3 | | mg/l | 1,7 | 2,6 | 3,3 | 0,82 |
| Azote | Eau brute | | 0,1 | 1,07 | 1,8 | 0,36 |
| Kjeldahl | Eau décantée | mg/l | 0,1 | 0,70 | 1,1 | 0,28 |
| Oxydabilité à chaud | | mg/l O2 | 0,60 | 0,91 | 1,37 | 0,25 |
| Orthophosphates en PO4 | | mg/l | 0,03 | 0,110 | 0,21 | 0,068 |
| Phosphore total en P | | mg/l | 0,02 | 0,157 | 0,63 | 0,155 |
| Matières en suspension | Totales MEST | mg/l | 10 | 91 | 1 397 | 150 |
| | Organiques MESO | mg/l | 0,4 | 5,4 | 34 | 15 |
| | Minérales M MIN | mg/l | 9,2 | 85,6 | 1 363 | 135 |
| Silice en SiO3 | | mg/l | 2,1 | 4,2 | 5,3 | 0,77 |

TABLEAU N°

- VALEURS MOYENNES MINIMALES ET MAXIMALES DES PARAMETRES
PHYSICO-CHIMIQUES

Canal E.D.F. .

(Août 1983 - Juillet 1984)

D.5.13.

124

FIGURE 48

**ESTIMATIONS DES FLUX MENSUELS DEVERSES PAR LE
CANAL E.D.F. DANS L'ETANG DE BERRE (Aout 1983 Juillet 1984)**

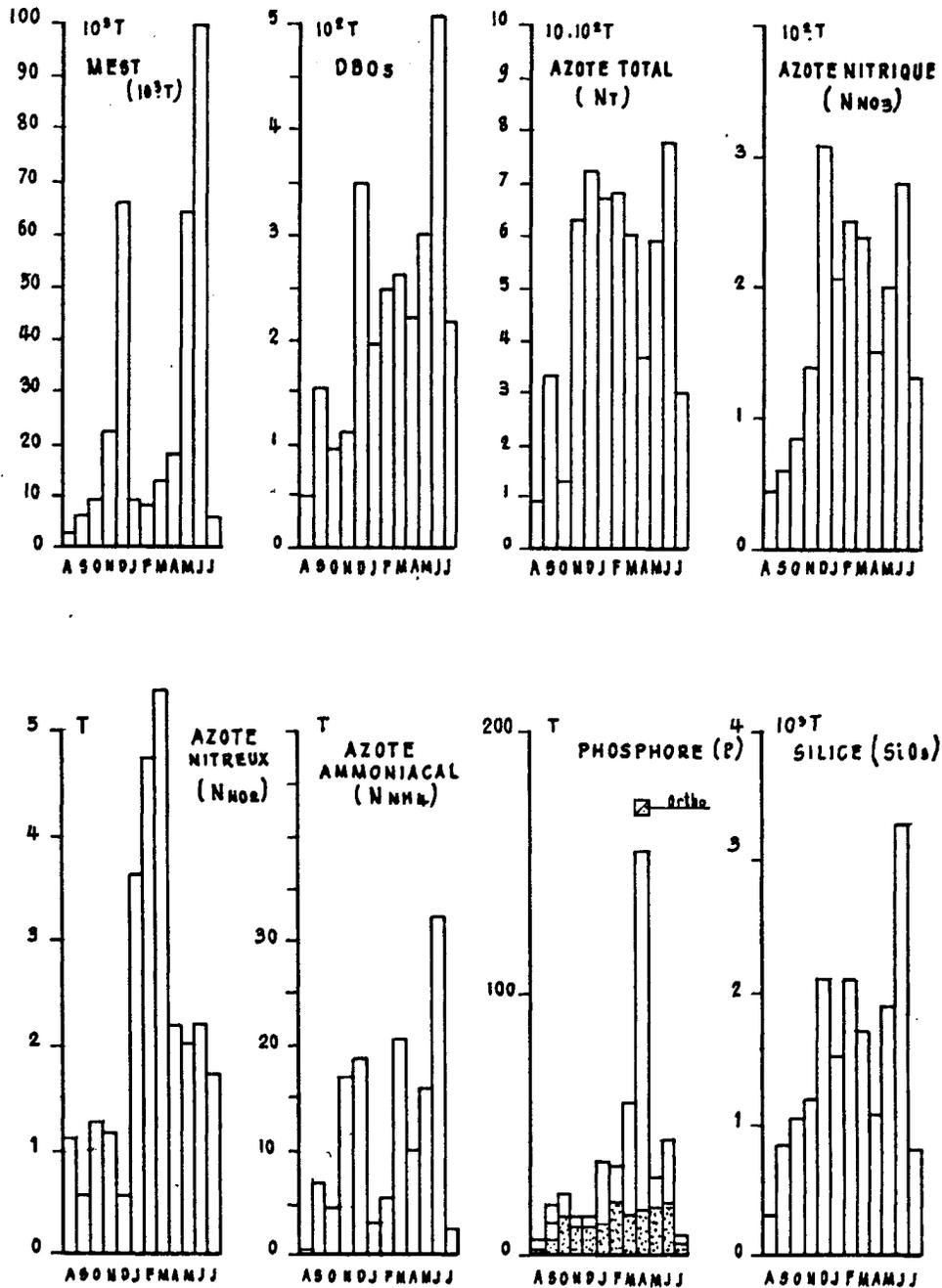
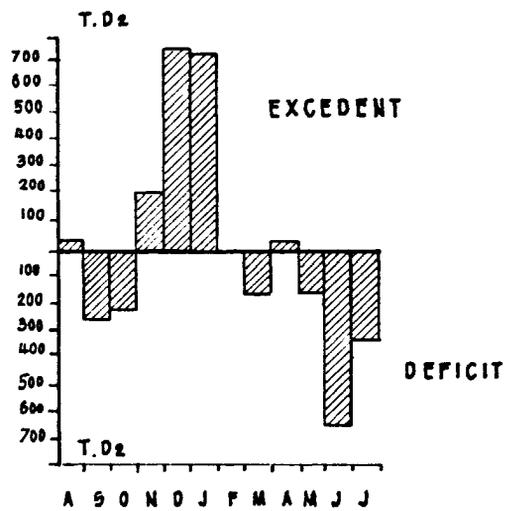


FIGURE 49

SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMENAGEMENT DE LA REGION PROVENCALE

. BILAN DE L'OXYGENE SUR LE CANAL E.D.F. _____

(Aout 1983 - Juillet 1984)



La demande biologique en oxygène (DBO5)

C'est un paramètre représentant la charge organique biodégradable. L'ajout de Thiourée qui devait faire la part de la DBO5 revenant à la nitrification, n'a pas permis d'estimer celle-ci : les concentrations décelées étant la plupart du temps inférieures au mg/l. Aussi, nous n'examinerons dans ce développement que l'évaluation de la DBO5 sans thiourée.

Les concentrations

Les eaux duranciennes sont dans leur ensemble caractérisées par de faibles concentrations. Les minima proches de 0,2 - 0,3 mg/l apparaissent l'hiver mais aussi pendant l'apparition de crues en MEST. Cependant ceux-ci dépassent très rarement 1 mg/l.

On peut conclure sur la très faible charge organique des eaux de la Durance.

Les flux mensuels - Bilan annuel

Le flux total atteint 2690 T/02. Les maxima mensuels sont liés d'une part à une forte hydraulité mais aussi à une importante teneur en MES : c'est le cas des mois de décembre 1984 (349 T/02) et de mai - juin 1984 (297 et 523 T/02).

Les minima apparaissent en août et en octobre (43 et 85 T/02).

2) Les sels minéraux nutritifs (Azote, phosphore et silice)

Les sels minéraux véhiculés dans les apports alimentant l'Etang de Berre ont une action capitale sur le développement biologique.

L'apport liquide moyen annuel de 3550 hm³ depuis l'année 1966 doit représenter un élément qu'il importait d'étudier. Peu de données sont disponibles sur la période 1966 - 1982. Seul Minas (1974) a contribué à étudier la nature de ces apports nutritifs.

Les paramètres examinés dans le présent développement sont :

- l'AZOTE, dans ses diverses combinaisons : (AZOTE TOTAL, AZOTE ORGANIQUE dit Kjeldahl, AZOTE MINERAL et ses diverses fractions (nitrique, nitreuse et ammoniacale),
- le PHOSPHORE (total et orthophosphates),
- la SILICE (engagée sous la forme de silicate).

3) L'azote

L'azote Kjeldahl - Il représente la partie organique de l'azote. Pour différencier la part due aux matières en suspension deux mesures ont été réalisées, sur l'eau brute et sur l'eau décantée.

Les valeurs obtenues sur l'eau décantée sont inférieures d'environ 70 % à celles de l'eau brute.

. Les concentrations mensuelles - Elles sont faibles, souvent inférieures au mg/l. Les minima sont en août et en octobre 1983 (0,46 - 0,1 mg/l en N), les maxima en hiver et au printemps. Le rapport $\frac{N \text{ Eau décantée}}{N \text{ Eau brute}}$

voisin de 0,7 en moyenne, atteint 0,9 à 1,0 pour les faibles valeurs estivales.

. Estimation des flux mensuels - Bilan annuel

Le bilan annuel s'établit à 3 361 T/N pour l'eau brute contre 1989 T/N pour l'eau décantée. Les minima mensuels d'août et octobre 1983 (28 T/N) et 21 T/N sont à comparer avec les 481 T/N du mois de juin 1984.

4) L'azote minéral

La majorité de l'azote minéral est sous forme nitrique entre 90 et 95 % et ammoniacale. La part de l'azote nitreux est insignifiante. Les résultats trouvés traduisent bien la nature des apports du bassin versant de la Durance.

. Les concentrations mensuelles

- L'azote nitrique - Elles fluctuent peu autour d'une moyenne de 2,6 mg/NO₃. De légers maxima apparaissent de décembre 1983 à mars 1984 (3,0 à 3,3 mg/1 NO₃).
- L'azote nitreux - Les concentrations souvent à la limite de la détection analytique 0,01 mg/1 NO₂, ne permettent pas d'établir une évolution caractéristique.
- Azote ammoniacal - Là aussi, les valeurs sont proches de la limite de détection et une distribution ne peut être appréhendée.
- Les flux mensuels + Bilan annuel - Le tableau XVIII résume les apports mensuels moyens, avec indication du minimum et du maximum, en ce qui concerne les diverses formes de l'azote minéral.

| | APPORT ANNUEL (T/N) | MINIMUM MENSUEL (T) | MOYENNE MENSUELLE (T) | MAXIMUM MENSUEL (T) |
|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| AZOTE NITRIQUE | 1 906 | 40 (août 1983) | 158 | 307 (déc 1983) |
| AZOTE NITREUX | 27 | 0,55 (sept.1983) | 1,35 | 5,8 (mars 1984) |
| AZOTE AMMONIACAL | 140 | 0,52 (août 1983) | 11,8 | 32 (juin 1984) |
| AZOTE MINERAL | 2 073 | 41 (août 1983) | 173 | 326 (juin 1984) |

EVALUATION DES APPORTS EN AZOTE MINERAL DES EAUX DU CANAL E.D.F.
(Août 1983 - Juillet 1984)
TABLEAU XVIII (Données S.C.P.)

En résumé, l'azote minéral (2073 T/anN) représente près de 36 % de l'azote total déversé par les eaux du Canal E.D.F. dans l'Etang de Berre.

La plus grande partie de ce flux d'azote minéral est sous forme nitrique (90 et 99 %), la forme ammoniacale n'intervenant pour une part non négligeable qu'en septembre-novembre 83 et en juin 1984.

5) Le phosphore - Orthophosphates et phosphore total sont examinés.

Evolution des concentrations

En ce qui concerne les orthophosphates, les concentrations sont à la limite de la détection analytique. La valeur moyenne annuelle exprimée est de 27 µg/lP. Le maximum mensuel ne dépassant pas 51 g/lP.

Estimation des flux mensuels - Bilan annuel

Le tableau XIX représente les caractéristiques de l'apport en phosphore des eaux du canal E.D.F.

| | APPORT ANNUEL (T) | MAXIMUM MENSUEL (T) | MOYENNE MENSUELLE (T) | MAXIMUM MENSUEL (T) |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Phosphore total (P) | 430 | 4,4 (juil.1984) | 35,8 | 156 (avril 1984) |
| Orthophospha- tes (P) | 144 | 2,0 (août 1983) | 12 | 20 (fév. 1984) |

EVALUATION DES APPORTS EN PHOSPHORE DES EAUX DU CANAL E.D.F.

(Août 1983 - Juillet 1984)

TABLEAU XIX (Données S.C.P.)

6) La silice

Les variations de ce paramètre ne sont pas importantes autour d'une moyenne de 4,2 mg/en SiO₃.

Estimation du bilan annuel

Le flux annuel s'établit aux alentours de 17 800 T/SiO₃. La distribution de cet apport est fonction de l'hydraulicité : deux maxima mensuels (déc. 1983 et juin 1984) respectivement de 2067 et 3236 T, un minimum en août 1983 (368 T).

IV.2.5.3 Conclusion sur les apports du Canal E.D.F.

En conclusion, les apports du Canal E.D.F. dans l'Etang de Berre se caractérisent par une date récente (1966), des modalités artificielles liées à l'exploitation hydroélectrique, et par des fluctuations importantes de débit concomitantes. La nature de ces apports peut être évaluée à partir de l'étude réalisée entre août 1983 et juillet 1984.

En ce qui concerne le flux liquide, les données fournies par E.D.F. à Saint-Chamas, l'estiment à 3626 hm³, valeur proche de la moyenne des années 1966-1980 (3550 hm³) : l'amplitude des apports mensuels est forte de 62 à 581 hm³ (juin 1984), soit 0,2 et 1,9 fois la moyenne mensuelle sur la période considérée (août 1983).

Le flux solide, évalué à partir des mêmes références, aboutit à un bilan annuel de 329 400 T/MES, bien loin de la moyenne des années 1966-1982, 646 447 T/MES. La récente mise en service du bassin de décantation de Cadarache semble jouer un effet bénéfique dans l'abattement de ce même flux solide dont les modalités d'apport sont caractérisées par une grande fluctuation (70 % sont déversés en trois mois (décembre 1983, mai et juin 1984), 18 % en sept mois, mais aussi 20 % en quatre jours seulement.

Les paramètres physico-chimiques étudiés (hydrologiques, hydrobiologiques et éléments nutritifs) permettent d'évaluer les apports duranciens dans l'Etang de Berre comme globalement oxygénés (68 T/O₂ an), de faible charge organique biodégradable mais apportant tout de même un flux de DBO₅ de 2690 T/O₂/an.

Les sels minéraux sont présents à faible et très faible concentration mais l'importance du débit liquide conduit à des apports annuels élevés : 3361 T d'azote organique, 2073 T d'azote minéral dont près de 95 % d'azote nitrique, 430 T/P de phosphore total dont 144 T/P de phosphore minéral, et 17 800 T de silice.

La quantification et la distribution dans l'année de ces apports liquides, solides et nutritifs est à comparer avec ceux des affluents naturels que sont l'Arc, la Cadière, la Touloubre et l'Etang de l'Olivier.

IV.3 Conclusion

IV.3.1 Les apports hors canal EDF

Pour contourner le fait que le déversement des eaux du Canal E.D.F. est tel qu'il risque de masquer l'influence des apports plus modestes, on peut effectuer un classement intermédiaire utile.

Par comparaison des flux correspondant à l'Arc, la Touloubre, la Cadière et la galerie de l'Olivier (tableau XX, figures 50 et 51), on montre que :

- les MES sont surtout apportées par la Cadière (2150 T/an), talonnée de près par la Touloubre et l'Arc (de 1700 à 1900 T/an). On restera cependant prudent sur les chiffres car il peut y avoir surestimation pour la Cadière (extrapolation de pics de crues).

Sur la répartition annuelle, c'est l'apport Touloubre qui est le plus régulier ; l'Arc et la Cadière agissant plutôt par épisodes de crue plus ou moins étalés ou brutaux selon les pluies et l'étendue des bassins versants.

- pour la DB05, c'est l'Arc et la Cadière qui constituent les apports majeurs mais il ne faut pas sous estimer pour autant la Touloubre.
- l'Arc est significativement impliqué au niveau des apports azotés, sous forme minérale notamment (plus de 50 %).

N total : 544 T/an à Mauran (+ 110 T/an à Gordes).

La Cadière se signale par une répartition annuelle forte en azote ammoniacal avec quelquefois des pics inquiétants. La particularité de ce bassin consiste donc en une transformation très faible des composés azotés, car le débit est modeste et le ruisseau surchargé.

- l'Arc reste prépondérant pour le tonnage en phosphore :

120 T/an (+ 26 T/an à Gordes)

mais la Touloubre, qui n'est pas à délaissier, se signale par un pourcentage qui rappelle celui de sa contribution en N total (> 1000 T/an).

- pour la silice, les arrivées majeures sont à attribuer à l'Arc et à la Touloubre avec, à un degré moindre, une mention pour la galerie de l'Olivier.

APPORTS LIMNIQUES EN TONNES/AN
(Canal E.O.F excepté)

| | Matières en suspension | | | DBO ₅ | | Azote Kjeldahl | | Azote | | | | Phosphore | | Silice en SiO ₃ ²⁻ |
|--------------------------------|------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--|--|
| | Totales | Orga- niques | Miné- rales | Eau brute | Avec Thio- urée | Eau brute | Eau décantée | total | N-NH ₄ ⁺ | N-NO ₂ ⁻ | N-NO ₃ ⁻ | Total | Ortho- en PO ₄ ⁻⁻⁻ | |
| ARC à MAURAN | 1715 | 527 | 1146 | 406 | 270 | 204 | 167 | 544 | 100 | 12 | 334 | 119 | 285 | 1249 |
| ARC CANAL DE GORDES | 149 | 66 | 83 | 86 | 50 | 47 | 35 | 110 | 16 | 2,7 | 62 | 26 | 77 | 287 |
| TOULOUBRE | 1923 | 474 | 1529 | 266 | 161 | 140 | 120 | 258 | 26 | 6,6 | 125 | 61 | 138 | 1045 |
| CADIERE | 2153 | 722 | 1431 | 343 | 169 | 99 | 68 | 140 | 42 | 47 | 66 | 54 | 79 | 433 |
| GALERIE DE L'OLIVIER | 408 | 302 | 107 | 81 | 75 | 62 | 47 | 69 | 1,9 | 0,1 | 0,052 | 3,8 | 1,5 | 501 |
| TOTAL Rivières sauf DURANCE | 6348 | 2091 | 4296 | 1182 | 725 | 552 | 437 | 1121 | 186 | 68 | 587 | 264 | 580,5 | 3515 |

TABLEAU XX

FIGURE 50

Service Régional de l'Aménagement des Eaux P.A.C.A.

Août 1989 - Juillet 1994.

BILANS RELATIFS DES APPORTS DES RIVIERES AGRICULTURE (CANAL E.D.F. EXCEPTÉ)

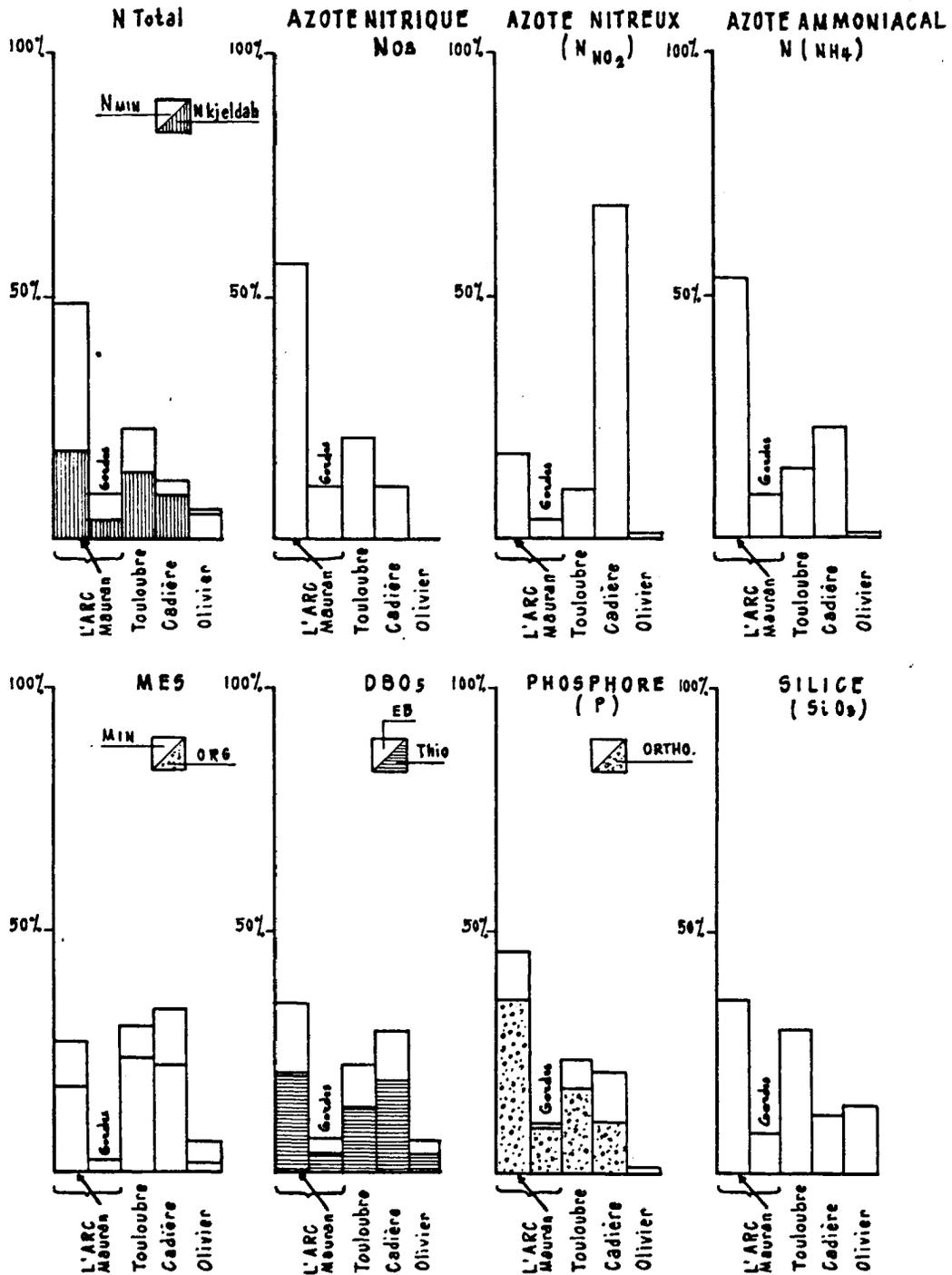
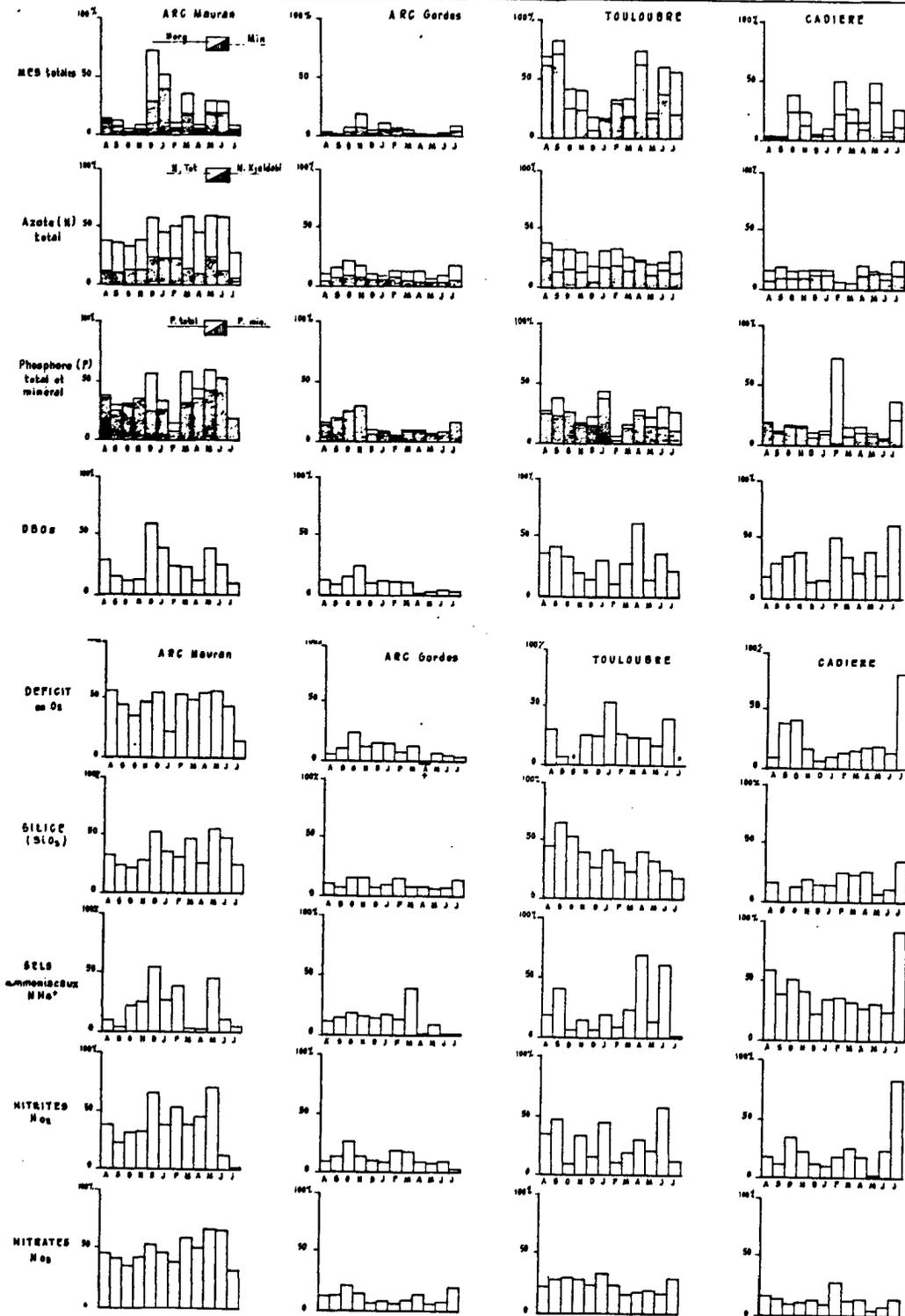


FIGURE 51

ETUDE DES APPORTS LIMNIQUES DANS L'ETANG DE SEBRE

Service Régional de l'Aménagement des Eaux PACA.

POURCENTAGES RELATIFS DES APPORTS FLUVIATILES NATURELS (répartition annuelle Août 69 - Juin 70)



. le déficit en O₂ est régulier et prépondérant sur l'Arc (souvent voisin de 50 %) mais il s'observe, plus irrégulièrement, sur la Cadière en fonction du climat.

Dans l'ensemble, on remarque que les positions extrêmes sont occupées par l'Arc et la Cadière, pour des paramètres généralement convergents ou opposés, alors que la Touloubre reste en position intermédiaire mais non négligeable pour les MES et la silice.

IV.3.2 L'ensemble des apports limniques

En reprenant l'ensemble des résultats et de leur exploitation, on peut conclure en établissant par exemple un BILAN COMPARATIF qui met en opposition les apports duranciens vis-à-vis des autres apports naturels (ARC, TOULOUBRE, LA CADIÈRE).

Les caractéristiques de ce bilan comparatif sont présentées de façon pondérale dans le tableau XXI et en pourcentages de répartition mensuelle dans les graphiques 52 et 53.

On peut résumer les faits les plus saillants dans le tableau ci-après :

| Total général | Apports liquides (m ³ /s) | Apports solides (T/an) | Apports dissous (T/an) | | | | |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|------------|---------------|
| | | | DBO5 | N Total | N Minéral | P Total | Silice |
| | 128 | 335 310 | 3 866 | 6 900 | 2 977 | 718 | 21 461 |
| Canal E.D.F. | 122 (95 %) | 329 000 (98 %) | 2 690 (70 %) | 5 791 (83 %) | 2 430 (82 %) | 430 (60 %) | 17 800 (83 %) |

Ces forts pourcentages sont liés à une hydraulité majeure car les analyses physico-chimiques montrent généralement sur la Durance, en dehors du cas des MES, de faibles teneurs. Celles-ci sont nettement le fait de la Durance (environ 98 %).

Malgré la part prépondérante de la Durance au niveau du bilan global, les modalités des autres apports limniques montrent que, ceux-ci, malgré un débit relatif modeste, n'en interviennent pas moins de façon significative pour quelques paramètres.

On peut insister sur :

- les apports en AZOTE NITREUX, qui s'opèrent de préférence hors été, et peuvent atteindre alors près de 50 %,

| | MES (x 10 ³ T) | | | DBO 5 (T) | | A Z O T E (T) | | | | | PHOSPHORE | | SILICE (SiO ₃) |
|----------------------------|---------------------------|---------|--------|-----------|-------|---------------|----------------------|-------|-------|-------|------------|------------|-------------------------------|
| | TOTAL | MIN. | ORGA | | +THIO | TOTAL | KJELDHAL | N NO3 | N NO2 | N NH4 | P TOTAL | P ORTHO | |
| CANAL E.D.F. | 329 000 | 308 500 | 20 500 | 2 690 | 2 360 | 5 791 | EB 3 361 ED 1 989 | 1 906 | 27 | 140 | 430 | 144 | 17 800 |
| ARC (MAURAN) | 1 700 | 1 150 | 460 | 400 | 270 | 540 | EB 210 ED 165 | 330 | 12 | 100 | 118 | 63 | 1 250 |
| ARC GORDES | 140 | 80 | 70 | 85 | 50 | 110 | EB 50 ED 35 | 60 | 3 | 15 | 26 | 17 | 380 |
| LA CADIERE | 2 150 | 1 430 | 720 | 350 | 170 | 140 | EB 100 ED 70 | 65 | 47 | 42 | 80 | 12 | 430 |
| TOULOUBRE | 2 000 | 1 500 | 470 | 260 | 160 | 250 | EB 140 ED 120 | 125 | 7 | 26 | 60 | 32 | 1 100 |
| OLIVIER | 410 | 107 | 302 | 81 | 75 | 69 | EB 62 ED 47 | 0,05 | 0,1 | 1,9 | 3,8 | 1,5 | 501 |
| TOTAL (hors olivier) | 334 900 | 312 160 | 22 220 | 3 785 | 3 010 | 6 831 | EB 3 861 ED 2 359 | 2 425 | 96 | 323 | 714 | 268 | 20 960 |
| + olivier | 335 310 | 312 267 | 22 522 | 3 866 | 3 085 | 6 900 | EB 3 923 ED 2 406 | 2 425 | 96 | 325 | 718 | 270 | 21 461 |

TABLEAU : BILAN DES FLUX DEVERSEES DANS L'ETANG DE BERRE
 XXI
 (Canal E.D.F. + apports naturels)
 (Août 1983 - Juillet 1984)
 (Données S.C.P. et S.R.A.E.)

FIGURE 52

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
 ET FABRIQUE D'HYDROÉLECTRICITÉ DE LA RÉGION PROVENÇALE
 - ÉVOLUTION MENSUELLE DES PLUX RELATIFS APPORTÉS DANS L'ÉTANG DE BERRE - Août 1989 - Juillet 1990.

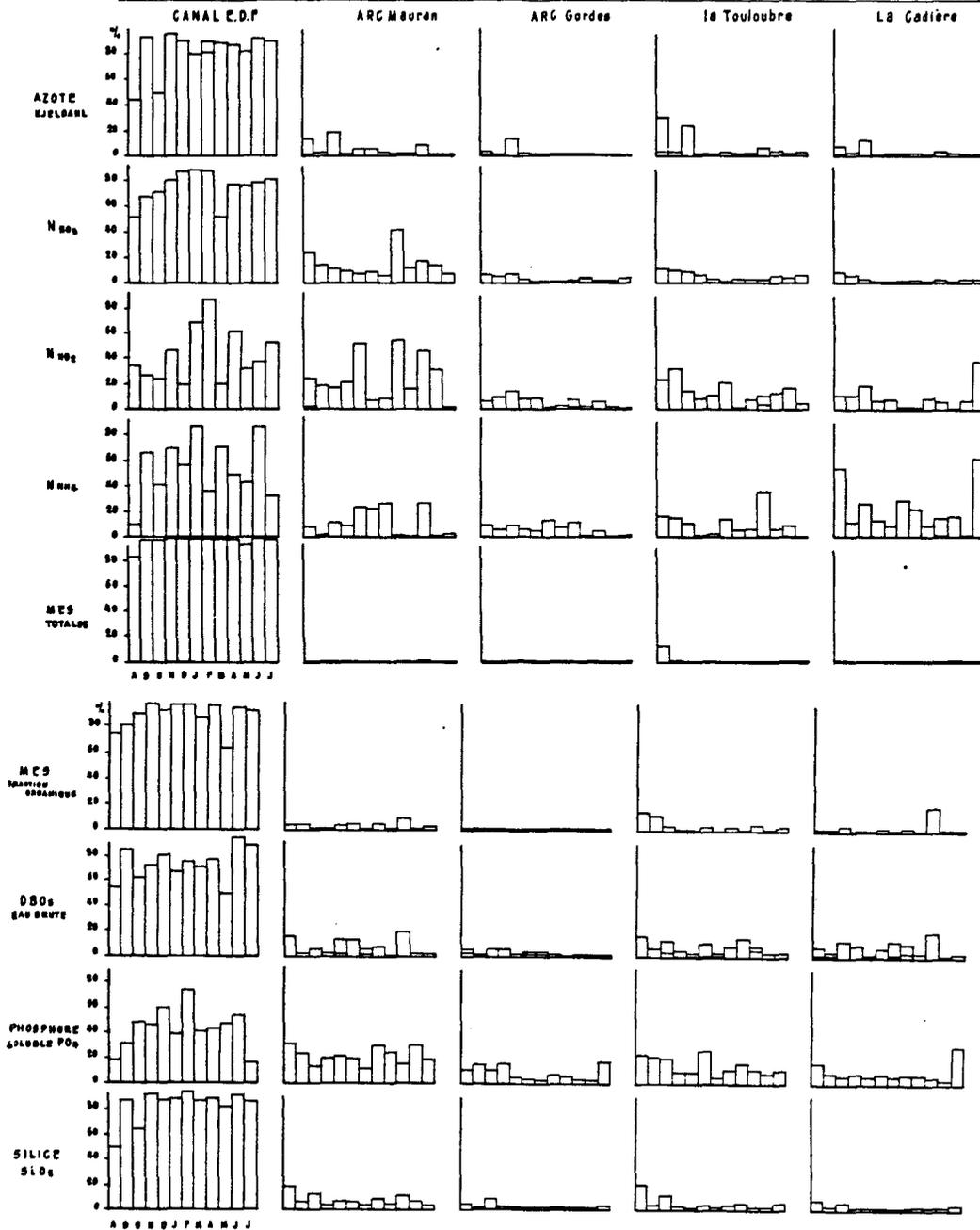
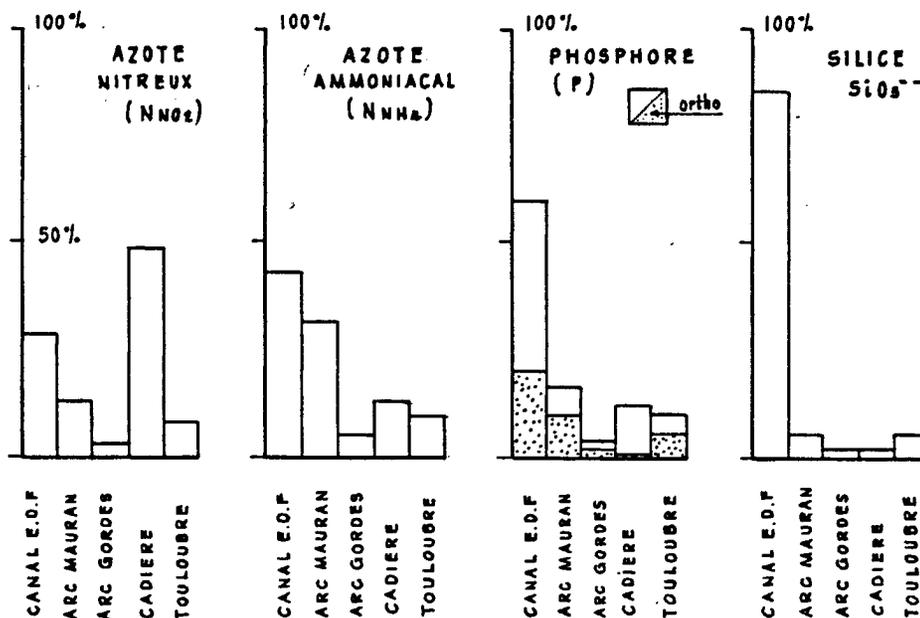


FIGURE 53

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE

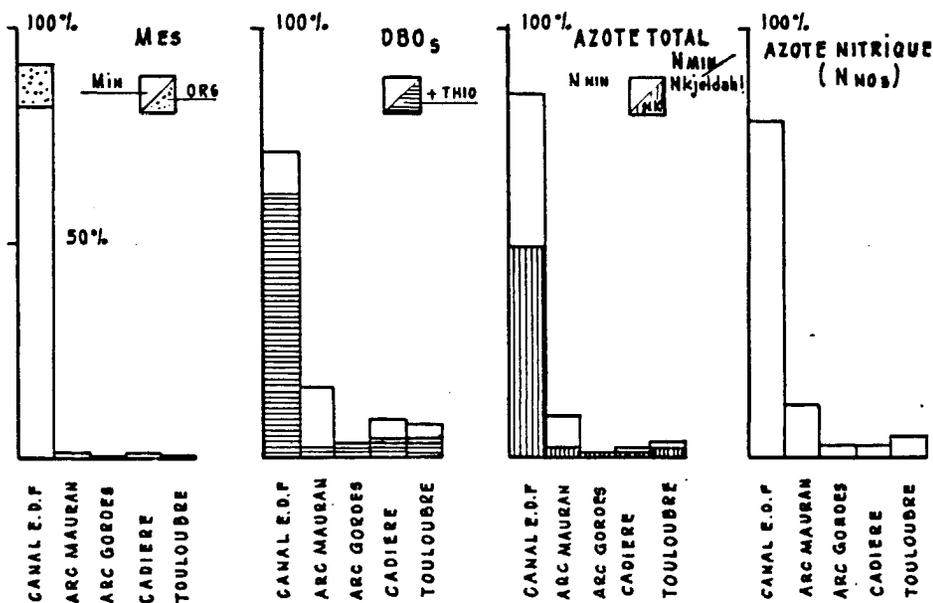
BILANS RELATIFS DES DIVERS APPORTS

DANS L'ÉTANG DE BERRE (Aout 1983 Juillet 1984)



BILANS RELATIFS DES DIVERS APPORTS

DANS L'ÉTANG DE BERRE (Aout 1983 Juillet 1984)



- la prépondérance de l'AZOTE AMMONIACAL transporté par la Cadière, avec des proportions importantes en saison estivale (aux environs de 60 %).
- sur la part prise par l'Arc et la Touloubre, au niveau d'un apport régulier en phosphore soluble, alors que l'AZOTE NITRIQUE ne se signale que sur l'Arc,
- le cas du déficit en oxygène qui est surtout le fait de l'Arc, mais aussi à un degré moindre de la Touloubre.

L'intervention de la Cadière reste hétérogène, alors que la Durance est, dans son ensemble globalement oxygénée avec cependant une période de déficit estival.

- le fait que les apports en DBO5, bien que modestes et irréguliers transparaissent de façon homogène sur les trois rivières.

Les diverses observations montrent que l'on peut encore envisager un abatement de la pollution au niveau des apports naturels les moins importants c'est-à-dire continuer à intégrer dans une politique globale de gestion les efforts de dépollution concernant les bassins versants de l'Arc et de la Cadière par exemple.

CHAPITRE V

LES POLLUANTS CHIMIQUES

V.1 CADRE DE L'ETUDE

L'appréciation du flux de pollution minérale et organique apportées à l'étang de Berre par les cours d'eau et canaux qui l'alimentent a été basée sur un programme nécessairement limité mais que nous avons essayé de rendre le plus représentatif possible.

V.1.1 Choix des polluants

Devant la nécessité pratique de limiter le nombre des constituants chimiques à rechercher, le choix a été dicté non seulement par des considérations d'ordre général mais aussi, et surtout, en raison de l'intérêt particulier qu'ils présentent dans le cadre local de l'étang de Berre.

C'est donc en tenant compte des remarques faites sur la qualité des eaux de l'étang par DALMAS (1982) et des sédiments par BOUCHARD (1981), GIORGETTI (1981), JEROME (1984) et DAGREGORIO (1985) que nous avons retenu le mercure et le plomb pour les métaux auxquels nous avons joint le cadmium en raison de son intérêt molysmologique général.

La pollution organique, pour sa part, est représentée par les polychlorobiphényles dont la présence a été à diverses reprises mise en évidence dans l'environnement de l'étang.

Accessoirement, d'autres paramètres ont été déterminés sur la plupart des échantillons afin de disposer de données hydrologiques permettant éventuellement d'établir une relation avec les recherches effectuées par d'autres équipes dans le cadre général de l'étude en cours.

Ces déterminations accessoires concernent la conductivité, la demande chimique en oxygène, les dérivés minéraux de l'azote, les orthophosphates, les matières en suspension et la distribution de la taille des particules en suspension inférieures à 63 μm .

V.1.2 Lieux de prélèvements

Les prélèvements ont été effectués sur les cinq principaux cours d'eau ou canaux ayant une influence directe sur le grand étang : Arc, Touloubre, Cadière et Galerie de l'Olivier, canal d'alimentation de la Centrale hydro-électrique de Saint-Chamas.

Dans tous les cas, sauf pour le canal EDF, l'échantillonnage a été réalisé à proximité immédiate des stations limnigraphiques du SRAE.

- Arc : à 1,5 km de l'embouchure, sous le pont de la route départementale 54, entre Berre et Mauran.
- Touloubre : à 200 m de l'embouchure, en aval de la station limnigraphique du SRAE.
- La Cadière : à la sortie de Marignane, en aval du pont de la Rocade Ouest, à proximité du gymnase Saint Pierre.
- Canal de l'Olivier : à la sortie de la galerie, du côté de l'étang de Berre.
- Canal EDF : Prélèvements dans la centrale hydroélectrique sur la canalisation d'alimentation des circuits de refroidissement des turbines.

V.2 METHODOLOGIE

V.2.1 Prélèvements :

Les prélèvements ont été soit ponctuels, soit représentatifs de périodes de 24 heures.

Les prélèvements ponctuels ont été réalisés :

- . systématiquement à l'usine hydroélectrique de Saint Chamas où la qualité de l'eau ne peut subir d'aussi brutales variations que dans les cours d'eau en raison de l'amortissement des fluctuations par le bassin de Cadarache et l'absence d'arrivées d'eaux nouvelles entre cet ouvrage et l'étang de Berre.

La collecte des huit litres d'eau destinés à l'analyse a été faite sur les canalisations en service par remplissage direct de deux flacons Pyrex.

- . épisodiquement sur les autres arrivées d'eau douce, en particulier en période d'orage pour tenter d'apprécier la quantité de pollution charriée au moment de la montée des eaux. En dehors, de ces prélèvements ponctuels volontaires, deux autres nous ont été imposés sur l'Arc en raison de l'impossibilité de mise en place des appareils sur les berges envahies par les eaux.

La constitution d'échantillons moyens journaliers a été réalisée par quatre appareils à prélèvements automatiques suivant un rythme suffisant pour intégrer toutes les variations intervenant au cours d'un cycle journalier.

Dans le cas présent et afin de maintenir une autonomie de 3 jours des appareils, nous avons adopté un temps de pompage de 15 secondes renouvelé toutes les dix minutes. Le volume de l'échantillon journalier d'eau prélevée sous la surface à environ un mètre de la berge, était compris entre 4,5 et 5 litres.

La période de 24 H couverte est décalée d'un site à l'autre en raison du temps nécessaire pour le déplacement autour de l'étang et la mise en place des appareils ou le relèvement des échantillons.

On peut considérer qu'à peu de chose près, l'horaire est resté très voisin de celui-ci :

Cadière : 8H 30 - Canal de l'Olivier : 9H 30 - Touloubre : 10H 15 - Centrale EDF : 10 H - Arc : 11 H.

V.2.2 Calendrier des prélèvements

Dans tous les cas, les prélèvements ont été effectués simultanément sur les cinq sites, durant une période de 4 mois, entre Mars et Juin 1984, par différentes conditions météorologiques et de débit.

Pour des raisons pratiques d'organisation des analyses mais aussi pour obtenir des résultats plus représentatifs des différentes situations qui se sont présentées au cours de cette période, nous avons choisi de regrouper les séries de prélèvements pour aboutir au calendrier suivant :

| | |
|---------------------|-----------------------------------|
| 18-19 Mars | |
| 20-21 Mars | Débit régulier |
| 21-22 Mars | |
| 9-10 Avril | |
| 10-11 Avril | Débit régulier |
| 11-12 Avril | Faible pluviométrie |
| 25 Avril (Ponctuel) | Faible pluviométrie |
| 16 Mai (Ponctuel) | Période d'orages |
| 17-18 Mai | Période d'orages |
| 5 Juin (Ponctuel) | Période de crue |
| 5-6 Juin | Période de crue |
| 6-7 Juin | Période de crue |
| 25-26 Juin | |
| 26-27 Juin | Débit régulier |
| 27-28 Juin | après période de forte pluviosité |

Dans le cas des échantillonnages ponctuels à l'usine hydroélectrique de Saint-Chamas, les prélèvements ont toujours été effectués aux jours correspondant au relèvement des échantillons de 24 H collectés par les appareils automatiques placés sur les autres sites.

V.2.3 Méthodes analytiques

Les échantillons transportés au laboratoire ont été traités ou analysés le jour même du prélèvement.

Polluants métalliques

L'analyse devant être effectuée sur l'eau brute et l'eau filtrée, une aliquote est immédiatement transvasée en flacon de polyéthylène de 500 ml et acidifiée par HNO_3 Suprapur (2 ml par litre d'eau).

Une autre aliquote est filtrée sur membrane en acétate de cellulose préalablement lavée par trempage dans l'acide nitrique et rincée à l'eau désionisée de haute pureté.

Le filtrat est acidifié par HNO_3 Suprapur.

. Le mercure est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme après oxydation nitro-sulfopermanganique, réduction de l'excès d'oxydant par l'hydroxylamine, réduction du Hg^{++} en Hg^0 par le chlorure stanneux et entraînement des vapeurs métalliques par un courant d'azote dans la cellule de 30 cm de trajet optique d'un analyseur de mercure "Mercury Monitor" L.D.C.

La limite de sensibilité est de $10 \text{ ng Hg} \times \text{l}^{-1}$.

. Le plomb et le cadmium sont dosés après minéralisation UV des solutions nitriques, par polarographie impulsionnelle à redissolution anodique.

Après dégazage (10' - Azote U), la réduction cathodique est réalisée à $\text{pH} = 4,5$ sur goutte pendante de mercure (PAR 303) à un potentiel de $-0,80$ volt pendant 60 secondes. La redissolution anodique est effectuée par balayage de potentiel entre $0,8$ et $0,08 \text{ V}$, à la vitesse de $10 \text{ mV} \times \text{s}^{-1}$ avec des amplitudes d'impulsions carrées de 20 mV .

La concentration de chaque métal est déterminée par la méthode des ajouts dosés.

Dans les conditions opératoires utilisées, le seuil de détection est de $0,1 \text{ } \mu\text{g} \times \text{l}^{-1}$ pour le cadmium et de $0,20 \text{ } \mu\text{g}$ pour le plomb.

Polychlorobiphényles

Les PCB ont été déterminés sur des échantillons moyens de 4 litres préparés à partir de volumes égaux des prélèvements des jours suivants :

- 18 au 22 Mars
- 10 au 12 Avril
- 25 Avril
- 16 Mai
- 17 au 18 Mai
- 5 Juin
- 5 au 7 Juin
- 25 au 28 Juin

Dans le cas des prélèvements du 5 Juin correspondant à une crue importante dans les cours d'eau, les déterminations ont été faites sur l'eau brute et sur l'eau après 24 H de décantation.

Après triple extraction par l'hexane (450 ml), concentration de l'extrait hexanique à 5 ml, déshydratation sur Na_2SO_4 , purification sur Florisil selon MESTRES et concentration des éluats à 0,1 ml, les composés organo-chlorés sont séparés par chromatographie en phase gazeuse sur colonne OV1 à 3 % sur Gas Chrom Q (débit d'azote 80 ml/mm) et SP 2401 sur Supelcoport (débit d'azote 50 ml/mm).

La température de l'injecteur est de 200° C, celle du four, 180° C et celle du détecteur à capture d'électrons au Ni 63, de 340° C.

Les concentrations sont calculées à partir du Phénoclor DP6.

Autres paramètres

Nous rappellerons très succinctement les méthodes de dosages utilisés pour la détermination des paramètres hydrologiques.

. Conductivité : mesure au laboratoire à l'aide d'un conductimètre Philips.

. D.C.O. : oxydation chromique en milieu sulfurique 16 N à ébullition 2H sous réfrigérant à reflux.

. Nitrates : formation de nitrophénol par action du réactif sulfo-salicylique sur le produit d'évaporation à sec de 20 ml d'eau.

. Nitrites : Diazotation avec la sulfanilamide et copulation avec la p. phényl éthylène diamine.

. Ammonium : formation de bleu d'indophénol

. Phosphates : formation de phospho-molybdate et réduction par l'acide ascorbique.

. Matières en suspension totales : par filtration sur filtre en fibres de verre Whatman GF/C et séchage à 105° C.

. Distribution des particules dans la fraction granulométrique à 63 μm : après filtration sur un tamis en nylon 63 μm , le taux global des particules inférieures à cette taille est déterminé par pesée après filtration d'une aliquote sur filtre 0,45 μm .

La distribution en fonction de la taille est déterminée par comptage sélectif sur 7 canaux à l'aide d'un compteur de particules COULTER COUNTER, type Z4, avec des ampoules à orifice de 200 μm et 100 μm . - Etalonnage avec des suspensions de particules de 9,5 μm et 21,4 μm .

Les résultats correspondant à la moyenne de 5 déterminations par échantillons, sont exprimés en pourcentage volumique des particules inférieures à 63 μm .

V.2.4 Résultats

Les résultats de l'ensemble des déterminations décrites ou énumérées ci-dessus sont rassemblés dans les tableaux CI à CV correspondant respectivement aux 5 cours d'eau et canaux étudiés. CV (annexe)

Sur chacun d'eux sont précisés les dates et périodes de prélèvement, le caractère ponctuel ou moyen de l'échantillonnage, la correspondance avec un phénomène météorologique ou hydrologique particulier et les concentrations de chacun des paramètres analysés.

A partir des valeurs de ces concentrations nous avons établi une deuxième série de tableaux dans lesquels nous avons mentionné les débits correspondant à chaque période de prélèvements.

Pour les prélèvements ponctuels, nous avons retenu le débit moyen journalier fourni par le SRAE, à l'exception des périodes de crue du 5 Juin pour lesquelles, nous avons retenu le chiffre correspondant approximativement à l'heure du prélèvement.

Pour les échantillonnages moyens portant sur 2 jours successifs ou plus, nous avons calculé un débit moyen à partir des données individuelles journalières.

Le produit de ces débits et des concentrations de polluants nous a fourni des flux quotidiens que nous avons rassemblés dans les tableaux C.VI à C.X (annexe).

V.3 CALCUL DES FLUX DE POLLUTION (tableau XXII)

Le calcul du flux de pollution transporté vers l'Etang de Berre par ses affluents ne peut conduire qu'à une estimation très approximative en raison:

- de l'extrême variabilité du débit et de la turbidité de cours d'eau en relation avec des bassins versants de dimensions réduites.

- des différences fondamentales existant entre les caractères hydrologiques d'une rivière et ceux d'un canal alimenté par une retenue artificielle.

V.3.1 Cas des cours d'eau :

Dans le cas des cours d'eau, les variations du flux de pollution dépendront de l'importance du bassin versant et de la longueur du trajet: elles seront d'autant plus contrastées que les dimensions sont plus réduites, supprimant de ce fait toute possibilité d'amortissement. La relation avec la pluviométrie sera très étroite.

En période d'étiage ou de débit régulier une situation d'équilibre s'établit, conduisant à des concentrations relativement basses ou, tout au moins, minimales pendant la plus grande partie d'un cycle annuel.

Les périodes d'orage et de crue provoquent des modifications brutales avec un accroissement de la charge polluante du fait de l'entraînement des produits accumulés sur l'ensemble du bassin versant, de la remise en suspension du sédiment déposé dans le lit des rivières en période calme, et de la libération de la pollution contenue dans l'eau interstitielle.

L'intensité de cette contamination dépend de l'ampleur du phénomène météorologique, du ruissellement et du débordement qu'il provoque. Les écarts de concentration avec les périodes de débit régulier seront d'autant plus importants que le phénomène hydrologique est plus exceptionnel et atteint des zones moins fréquemment soumises au lessivage et, par conséquent, sur lesquelles les polluants auront la possibilité de s'accumuler durant les périodes de faible pluviosité. Cela pourrait expliquer certaines valeurs exceptionnelles obtenues après de très fortes crues.

Par ailleurs, l'enrichissement des eaux après remise en suspension des sédiments, sera d'autant plus marqué qu'il intervient après une période plus longue d'évolution comme, par exemple, la fin d'une période estivale de repos et d'intense activité biologique dégradant le sédiment.

Quelle que soit la cause, ces événements entraînent une modification intense et passagère des concentrations qui reviennent ensuite à la normale dans un laps de temps dont la durée dépend de celle de la perturbation et/ou de l'abondance du flux des eaux douces.

TABLEAU XXII : CALCUL DU FLUX ANNUEL

L'ARC AU PONT DE MAURAN

| | | PLOMB kg | CADMIUM kg | MERCURE g | PCB g |
|-------------|--------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| EAU BRUTE | 308 j débit normal | x 1,57 = 483,6 | x 0,079 = 24,3 | x 6,44 = 1 983 | x 2,22 = 684 |
| | 15 j forte crue | x 24 = 360 | x 1,76 = 26,4 | x 3 761 = 56 415 | x 181,4 = 2 721 |
| | 15 j retour à la normale | x 3,2 = 48 | x 0,14 = 2,1 | x 16,2 = 243 | x 6,72 = 101 |
| | 27 j crues moyennes | x 3,2 = 86,4 | x 0,14 = 3,78 | x 16,2 = 437 | x 6,72 = 181 |
| | TOTAL ANNUEL | 978 kg | 56,6 kg | 58 884 g | 3 687 g |
| | Remarque | | | 10,7 kg en 2 jours (6 et 7/6) | 350 g en 1 jour (5/6) |
| EAU FILTRÉE | 308 j débit normal | x 0,77 = 237 | x 0,048 = 14,78 | x 3,83 = 1 180 | |
| | 15 j forte crue | x 2,91 = 43,6 | x 0,32 = 4,85 | x 9,18 = 137 | |
| | 15 j retour à la normale | x 1,39 = 20,85 | x 0,08 = 1,2 | x 16,7 = 250 | |
| | 27 j crues moyennes | x 1,39 = 37,5 | x 0,08 = 2,16 | x 16,7 = 451 | |
| | TOTAL ANNUEL | 339 kg | 23 kg | 2 018 g | |

La TOULOUSE

| | | PLOMB kg | CADMIUM kg | MERCURE g | PCB g |
|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|--|--|
| EAU BRUTE | 267 j débit normal | x 1,663 = 444,1 | x 0,0908 = 24,2 | x 5,59 = 1 490 | x 0,767 = 201,7 |
| | 95 j crues + orages | x 1,956 = 185,8 | x 0,152 = 14,4 | x 218 = 20 800 | x 3,50 = 332,5 |
| | TOTAL ANNUEL | 629,9kg | 38,6kg | 22 290g | 534,2g |
| | Autre hypothèse | | | 334 x 5,47 = 1 830 31 x 361,5 = 11 200 13 030g | x 1,9 = 634,6 x 2,83 = 87,7 722,3g |
| | Remarque | | | 1064 g en 2 jours (6 et 7/6) | |
| EAU FILTRÉE | 267 j débit normal | x 1,106 = 295 | x 63,6 = 17 | 3,78 = 1 008 | |
| | 95 j crues + orages | x 1,116 = 106 | x 103 = 9,81 | 5,22 = 496 | |
| | TOTAL ANNUEL | 401kg | 26,8kg | 1 504g | |

CANAL DE L'OLIVIER

| | | PLOMB kg | CADMIUM kg | MERCURE g | PCB g |
|-------------|--|------------------|-------------------|----------------|------------------|
| EAU BRUTE | Peu de répercussion des orages : d'où hypothèse de calcul à partir d'une moyenne unique pour l'année | $x 0,253 = 92,6$ | $x 0,0245 = 8,95$ | $x 1,30 = 470$ | $x 0,215 = 78,5$ |
| EAU FILTRÉE | | $x 0,181 = 65,9$ | $x 0,0188 = 6,37$ | $x 0,66 = 240$ | |

CANAL EDF

| | | PLOMB kg | CADMIUM kg | MERCURE g | PCB g |
|-------------|---|-------------------|--------------------------------|--|---|
| EAU BRUTE | 320 j débit normal | $x 0,507 = 162,2$ | $x 0,038 = 12,25$ | $x 3 420 = 1 090$ | $x 4,89 = 1 565$ |
| | 45 j crues + orages + rejets accidentels (?) | $x 1,483 = 66,7$ | $x 0,101 = 4,55$ | $x 144,9 = 6 520$ | $x 223 = 10 035$ |
| | TOTAL ANNUEL | 229 kg | 16,8kg | 7 610 g | 11 600 g |
| | Autre hypothèse | | | 315x3 420= 1 080 40x11,5 = 460 10x345 = 3 450 <u>4 990g</u> | 315x4,89= 1 541 40x35,6= 1 420 10x787 = 7 870 <u>10 831g</u> |
| Remarque | | | 690 g en 2 jours (6 et 7/6) | 787 g en 1 jour (16/5) | |
| EAU FILTRÉE | 320 j débit normal | $x 0,288 = 92,06$ | $x 0,024 = 7,6$ | $x 1,61 = 510$ | |
| | 45 j crues + orages | $x 0,421 = 18,95$ | $x 0,047 = 2,14$ | $x 1,7 = 76$ | |
| | TOTAL ANNUEL | 111 kg | 9,74 kg | 586 g | |

CADIÈRE

| | | PLOMB kg | CADMIUM kg | MERCURE kg | PCB kg |
|---|---|-------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------|
| EAU BRUTE | 503 j débit normal | $x 39,5 = 11 970$ | $x 3,59 = 1 088$ | $x 0,189 = 57,2$ | $x 30,5 = 9,24$ |
| | 31 j crues avec chasse | $x 244 = 7 560$ | $x 28,1 = 871$ | $x 4 471 = 1 386$ | $x 442 = 13,70$ |
| | 31 j retour à la normale ou crue persistante | $x 200 = 6 200$ | $x 18,3 = 567$ | $x 0,283 = 8,8$ | $x 105,6 = 3,27$ |
| | TOTAL ANNUEL | 25 730 kg | 2 526kg | 1 452kg | 26,2kg |
| Remarque | | | 132 kg en 2 jours (6 et 7/6) | | |
| Autre hypothèses | | | | | |
| 503 j débit normal + 5 j de grande crue ou 10j de grande crue ou 15j de grande crue + qs jours retour à la normale ou crue persistante | | | 289 kg 513 737 | 17,4 kg 19,1 20,7 | |
| EAU FILTRÉE | 503 j débit normal | $x 19,3 = 5 850$ | $x 1,7 = 515$ | $x 0,0667 = 20,2$ | |
| | 31 j crues avec chasse | $x 60,2 = 1 870$ | $x 10,27 = 318$ | $x 0,397 = 12,3$ | |
| | 31 j retour à la normale ou crue persistante | $x 158,7 = 4 920$ | $x 12,16 = 377$ | $x 0,246 = 7,63$ | |
| | TOTAL ANNUEL | 12 640 kg | 1 210kg | 40,1kg | |

Il résulte de ce processus que dans aucun cas n'existe de relation constante entre le débit et la concentration en polluants et que chaque cours d'eau doit être envisagé indépendamment des autres.

V.3.2 Cas des aménées artificielles :

Dans le cas d'une aménée artificielle d'eau comme celle du canal EDF les effets du ruissellement sur le bassin versant s'exercent dans la région située en amont de la retenue alimentant le canal. Aussi les conséquences d'un orage ou d'une crue de la Durance seront amorties par l'ensemble des ouvrages construits sur le cours de la rivière et par le canal lui-même. Seules les très fortes perturbations auront une répercussion nette sur l'étang de Berre.

Par ailleurs, des variations importantes peuvent intervenir du fait de l'exploitation de l'ouvrage qui impose des périodes et un rythme d'écoulement sans aucun rapport avec celui des cours d'eau et, surtout, sans rapport avec des phénomènes saisonniers.

L'importance de ces chasses dépendra de la durée des périodes de faible débit propice à la décantation et de la brutalité de la remise en circulation des eaux dans l'ouvrage.

D'autres facteurs peuvent également avoir une incidence sur la turbidité et sur d'éventuels relargages de polluants dans les eaux canalisées: nous citerons en particulier, les apports massifs de matériaux après rejet dans le canal des matériaux provenant du curage du bassin de Saint-Christophe.

En définitive, contrairement aux rivières, les variations de débit du canal EDF ne seront pas nécessairement accompagnées d'une augmentation importante de la turbidité et, par conséquent, de la charge polluante. Par contre, un tel phénomène pourra intervenir en période de crue de la Durance en amont de Cadarache.

La difficulté du calcul du flux de pollution réside essentiellement dans la distinction à établir entre ces différentes causes et l'appréciation des proportions relatives de leur fréquence au cours d'un cycle annuel.

Pour notre estimation, nous avons pris comme guide non seulement les variations du débit des eaux, mais aussi, et surtout, les fluctuations de la turbidité meilleure indicatrice de la nature des phénomènes hydrologiques susceptibles de provoquer une augmentation du flux de polluants.

En conclusion, nous avons calculé le flux de pollution d'une manière tout à fait indépendante pour chaque affluent en essayant d'apprécier l'intensité, la durée et l'effet de chaque épisode hydrologique sur l'enrichissement des eaux en polluants. S'il est relativement facile de calculer ce flux pour les périodes durant lesquelles ont été effectués les prélèvements, les choses sont plus délicates

lorsqu'on doit extrapoler ces conclusions à d'autres époques.

Nous avons effectué ces calculs en nous basant sur l'hypothèse que des phénomènes hydrologiques analogues s'accompagnent d'un enrichissement des eaux en polluants dans des conditions à peu près identiques.

La base de calcul utilisée pour chaque affluent est indiquée au dessous de chaque tableau récapitulatif des apports journaliers calculés à partir des différents échantillons collectés au cours de cette étude.

Dans certains cas, plusieurs hypothèses sont envisagées en fonction du nombre de jours de crues pris en compte. Elles conduisent à des valeurs évoluant dans des limites assez larges, surtout dans le cas des eaux brutes.

Nous avons rassemblé dans le tableau XXIII, résultats de cette appréciation de manière à mettre en évidence les différences de flux des affluents de l'étang.

Enfin, le tableau XXIV permet d'apprécier la contribution globale des affluents naturels (Arc, Touloubre, Cadière et canal de l'Olivier) et celle du canal EDF à la pollution de l'étang.

V.4 COMMENTAIRES

A partir des données du tableau XXIII on peut établir un classement des affluents naturels, en excluant, a priori, l'apport durancien du canal EDF qui s'individualise par son débit liquide représentant pour la période considérée, 95,2% du volume total d'eau douce deversé dans l'étang, et par son apport solide correspondant à 98,2 % du total.

En ce qui concerne les cours d'eau, nous relèverons essentiellement la part prépondérante de l'Arc dans la pollution par les métaux lourds, en rappelant que ce flux ne correspond pas à la totalité de la charge réelle transportée par cette rivière puisqu'une partie est détournée par le canal de Gorde vers Berra et l'Etang de Vaine.

Malgré cette réduction des apports solides et liquides, le flux de métaux lourds de l'Arc demeure le plus important, tandis qu'on observe des valeurs décroissantes dans la Touloubre, La Cadière et le Canal de l'Olivier, dans le cas de l'eau brute. On notera toutefois une certaine identité des apports solubles de l'Arc et de la Touloubre.

Si l'on considère, maintenant, les rapports entre le flux de chaque polluant et l'apport liquide annuel, on aboutit à des concentrations moyennes annuelles auxquelles nous n'accordons qu'un intérêt comparatif. Dans ces conditions, il apparaît:

-d'une part, une distinction nette entre les teneurs de l'Arc et celles des autres affluents qui sont environ deux fois plus faibles dans l'eau brute.

-d'autre part, l'uniformité relative des concentrations dans l'eau filtrée.

| <u>FLUX ANNUEL</u> VIII-83 à VII-84 | | <u>ARC</u> | <u>TOULOUBRE</u> | <u>CADIERE</u> | <u>CANAL DE</u> <u>L'OLIVIER</u> | <u>CANAL EDF</u> <u>ST CHAMAS</u> |
|---|-------------|------------|------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>APPORT LIQUIDE</u> 10 ⁶ M ³ | | 64,3 | 77,9 | 30,1 | | 3635 |
| <u>APPORT SOLIDE</u> TONNES | | 1718 | 2026 | 2155 | 408 | 343 947 |
| <u>PLOMB</u> Kg | EAU BRUTE | 978 | 630 | 229 | 93 | 25,7.10 ³ |
| | EAU FILTREE | 339 | 401 | 111 | 66 | 12,6.10 ³ |
| <u>CADMIUM</u> Kg | EAU BRUTE | 56 | 38,6 | 16,8 | 9 | 2,5.10 ³ |
| | EAU FILTREE | 23 | 26,8 | 9,7 | 6,9 | 1,2.10 ³ |
| <u>MERCURE</u> Kg | EAU BRUTE | 29 à 60 | 13 à 22 | 5 à 8 | 0,47 | 289 à 737 |
| | EAU FILTREE | 2,0 | 1,5 | 0,59 | 0,24 | 40 |
| <u>P.C.B.</u> Kg | EAU BRUTE | 3,7 | 0,53 à 0,72 | 11 à 15 | 0,078 | 18 à 26 |

Tableau XXIII: Flux annuels de pollution par les cinq principaux affluents de l'étang de Berre.

| | | APPORTS DES AFFLUENTS | APPORTS DU CANAL E.D.F | RAPPORT AFFLUENTS CANAL EDF |
|----------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| <u>PLOMB</u> Kg | EAU BRUTE | 1943 | 25 700 | 7,5 |
| | EAU FILTREE | 919 | 12 600 | 7,3 |
| <u>CADMIUM</u> Kg | EAU BRUTE | 121 | 2 530 | 4,8 |
| | EAU FILTREE | 67 | 1 210 | 5,5 |
| <u>MERCURE</u> Kg | EAU BRUTE max | 90 | 737 | 8,2 |
| | EAU BRUTE min | 47,5 | 289 | 6,1 |
| | EAU FILTREE | 4,3 | 40 | 10,8 |
| <u>PCB</u> Kg | EAU BRUTE max | 19,8 | 26 | 83,9 |
| | EAU BRUTE min | 15,1 | 18 | 76,1 |

Tableau XXIV.: Comparaison des flux de pollution du canal EDF et de l'ensemble des autres affluents.

La pollution par les PCB ne se présente pas de la même manière en raison de l'apport particulièrement élevé de la Cadière (11 à 15 kg/an), quatre à cinq fois plus abondant que celui de l'Arc (3,7 kg/an) qui se distingue lui-même de celui de la Touloubre (0,53 à 0,72 kg/an).

Si l'on envisage maintenant les concentrations moyennes annuelles, la différence est encore plus accentuée entre l'Arc (57 ng.l^{-1}) et la Cadière ($365 \text{ à } 498 \text{ ng.l}^{-1}$). La Touloubre, pour sa part, ne dépasse pas 9 ng.l^{-1} .

Le problème posé par cette pollution de la Cadière ne semble pas correspondre à un phénomène accidentel ou passager. En effet, la présence de PCB dans les eaux ou les sédiments de ce cours d'eau avait déjà été mise en évidence par des études antérieures; par ailleurs, durant notre campagne, les concentrations trouvées n'ont jamais été inférieures à 50 ng.l^{-1} et ont atteint 5100 ng.l^{-1} en période de crue. Ces faits témoignent d'une part, du caractère permanent de cette pollution et, d'autre part, de l'accumulation de ces produits dans un secteur du bassin versant qu'il serait urgent et indispensable de localiser.

La comparaison du flux global des affluents et de celui des eaux duranciennes (Tableau 417) fait, bien évidemment, apparaître une très forte disproportion dans les apports de ces deux types d'arrivée d'eau douce.

Si l'on s'en tient aux chiffres bruts, on constate que la pollution métallique apportée par les cours d'eau ne représente que 5 à 10 % de celle transportée par le canal EDF. Cependant, ce bilan qui tendrait à rendre négligeable le flux des affluents naturels, doit être nuancé car deux facteurs essentiels doivent être pris en compte pour l'appréciation de l'effet réel de ces charges polluantes respectives.

D'une part, le flux durancien ne s'accumule pas exclusivement dans l'étang. Bien au contraire, son temps de transit peut être considérablement raccourci en périodes de fort débit durant lesquelles le flux de pollution est le plus important.

D'autre part, les apports des cours d'eau beaucoup moins abondants mais, dans la plupart des cas, plus concentrés, sont refoulés sous la poussée des eaux duranciennes, dans des secteurs cotiers limités où est ainsi maintenu un niveau de pollution relativement élevé.

Paradoxalement, malgré les valeurs importantes fournies par le calcul, le flux durancien global se comporterait davantage comme un facteur de dilution plutôt que d'augmentation de la concentration en polluants dans les eaux et les sédiments de la plus grande partie de l'étang de Berre. Par contre, il peut avoir des effets néfastes par les modifications qu'il apporte à la dispersion des apports "normaux" des autres affluents.

CHAPITRE VI

CONCLUSION GENERALE

Débits

Les apports du canal EDF ont donc représentés en moyenne pour cette année de mesure 122 m³/s alors que le total des débits de tous les cours d'eau des rivières n'a été que de 6,24 m³/s soit 5 % environ. Ce faible pourcentage est expliqué par l'absence des crues habituelles. En effet, la plus forte n'a été que de 13,5 m³/s pour l'Arc, 1,4 m³/s pour la Cadière et 13 m³/s pour la Touloubre, le 10ème de ce qui est habituellement connu.

Sédimentologie

Du point de vue sédimentaire, ce rapport s'est attaché à établir un bilan quantitatif et qualitatif global des apports sédimentaires d'origine fluviatile tout en essayant de comparer leurs caractéristiques générales. L'ensemble des résultats montre que le volume particulaire moyen varie de 1 à 2,5 selon la station hydrologique considérée : la turbidité qui est maximale dans les eaux de la galerie de l'Olivier, reste très élevée dans le canal EDF et la Touloubre. Par contre, les eaux de l'Arc se caractérisent par une matière particulaire en suspension relativement pauvre. Quantitativement, elle est deux fois moins importante que celui de la Touloubre. Les prélèvements de la Cadière présentent une concentration particulaire intermédiaire.

La fraction minérale inférieure à 3,6 μ est 1,5 à 2 fois plus élevée dans le canal EDF que dans les autres prélèvements. D'une manière générale, les forts débits liquides s'accompagnent de fortes charges particulaires induites par la mise en suspension de "grosses particules" supérieures à 10 μ , l'effectif en "particules fines" ne varie au maximum que du simple au double dans ces eaux de lessivage.

L'estimation des flux annuels volumiques en m³ est la suivante :

| Stations hydrologiques | ARC Gordes Mauron | TOULOUBRE | CADIERE | OLIVIER | Canal E.D.F |
|--|----------------------|-----------|---------|---------|-------------|
| <u>1 μ < particules < 50 μ :</u> | | | | | |
| Flux annuel corrigé (m ³) | 172,7 1035,9 | 1670,7 | 804,8 | 355,6 | 120769,7 |
| Pourcentage des apports fluviatiles totaux | 0,98% | 1,34% | 0,64% | 0,28% | 96,76% |
| <u>Particules < 3,6 μ :</u> | | | | | |
| Flux annuel (m ³) | 29,2 146,4 | 194,9 | 85,6 | 25,8 | 16760,5 |
| Pourcentage des apports fluviatiles totaux | 1,02% | 1,13% | 0,50% | 0,15% | 97,2% |

La correction porte sur le nombre de jours de crue dans l'année de mesure, soit 30 jours pour l'Arc, la Touloubre et le canal E.D.F et 15 jours pour la Cadière.

Selon les résultats de cette étude, le volume total des matériaux déversés dans l'étang de Berre entre les mois d'août 1983 et juillet 1984 s'élève à 124 809, 40 m³. Les apports solides transitant par le canal EDF représentent à eux seuls 120 769,70 m³ pour l'année de mesure, soit plus de 96 % du volume total.

Qualité des eaux

Les flux massiques annuels (tonnes) des principaux paramètres de qualité des eaux, pour la période étudiée, sont les suivants :

| | MES (x 10 ³ T) | | | DBO 5 (T) | | A Z O T E (T) | | | | | PHOSPHORE | | SILICE (SiO ₃) |
|----------------------------|---------------------------|---------|--------|-----------|-------|---------------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------------------------------|
| | TOTAL | MIN. | ORGA | | +THIO | TOTAL | KJELDHAL | N NO3 | N NO2 | N NH4 | TOTAL | ORTHO | |
| CANAL E.D.F. | 329 000 | 308 500 | 20 500 | 2 690 | 2 360 | 5 791 | EB 3 361 | 1 906 | 27 | 140 | 430 | 144 | 17 800 |
| | | | | | | | ED 1 989 | | | | | | |
| ARC (MAURAN) | 1 700 | 1 150 | 460 | 400 | 270 | 540 | EB 210 | 330 | 12 | 100 | 118 | 63 | 1 250 |
| | | | | | | | ED 165 | | | | | | |
| ARC GORDES | 140 | 80 | 70 | 85 | 50 | 110 | EB 50 | 60 | 3 | 15 | 26 | 17 | 380 |
| | | | | | | | ED 35 | | | | | | |
| LA CADIÈRE | 2 150 | 1 430 | 720 | 350 | 170 | 140 | EB 100 | 65 | 47 | 42 | 80 | 12 | 430 |
| | | | | | | | ED 70 | | | | | | |
| TOULOUBRE | 2 000 | 1 500 | 470 | 260 | 160 | 250 | EB 140 | 125 | 7 | 26 | 60 | 32 | 1 100 |
| | | | | | | | ED 120 | | | | | | |
| OLIVIER | 410 | 107 | 302 | 81 | 75 | 69 | EB 62 | 0,05 | 0,1 | 1,9 | 3,8 | 1,5 | 501 |
| | | | | | | | ED 47 | | | | | | |
| TOTAL (hors olivier) | 334 900 | 312 160 | 22 220 | 3 785 | 3 010 | 6 831 | EB 3 861 | 2 425 | 96 | 323 | 714 | 268 | 20 960 |
| | | | | | | | ED 2 359 | | | | | | |
| + olivier | 335 310 | 312 267 | 22 522 | 3 866 | 3 085 | 6 900 | EB 3 923 | 2 425 | 96 | 325 | 718 | 270 | 21 461 |
| | | | | | | | ED 2 406 | | | | | | |

Nous constatons, d'après ce tableau, que, si l'on écarte pour l'instant les données sur les apports du canal EDF :

- les MES sont surtout apportées par la Cadière (2 150 T/an), talonnée de près par la Touloubre et l'Arc (de 1 700 à 1 900 T/an). On restera cependant prudent sur les chiffres car il peut y avoir surestimation pour la Cadière (extrapolation de pics de crues)

Sur la répartition annuelle, c'est l'apport Touloubre qui est le plus régulier. L'Arc et la Cadière agissant plutôt par épisodes de crue plus ou moins étalés ou brutaux selon les pluies et l'étendue des bassins versants

- pour la DBO5, c'est l'Arc et la Cadière qui constituent les apports majeurs mais il ne faut pas sous-estimer pour autant la Touloubre
- l'Arc est significativement impliqué au niveau des apports azotés, sous forme minérale notamment (plus de 50 %).

N total : 544 T/an à Mauran (+ 110 T/an à Gordes)

La Cadière se signale par une répartition annuelle forte en azote ammoniacal avec quelquefois des pics inquiétants. La particularité de ce bassin consiste donc en une transformation très faible des composés azotés, car le débit est modeste et le ruisseau surchargé.

- l'Arc reste prépondérant pour le tonnage en phosphore :

120 T/an (+ 26 T/an à Gordes)

mais la Touloubre, qui n'est pas à délaissier, se signale par un pourcentage qui rappelle celui de sa contribution en N total (1 000 T/an)

- pour la silice, les arrivées majeures sont à attribuer à l'Arc et à la Touloubre avec, à un degré moindre, une mention pour la galerie de l'Olivier
- le déficit en O2 est régulier et prépondérant sur l'Arc (souvent voisin de 50 %) mais il s'observe, plus irrégulièrement, sur la Cadière en fonction du climat

Nous remarquons pour finir que les positions extrêmes sont occupées par l'Arc et la Cadière, pour des paramètres généralement convergents ou opposés. La Touloubre reste en position intermédiaire mais non négligeable pour ce qui est du flux en MES et en silice.

En reprenant l'ensemble des résultats et de leur exploitation, on peut conclure en établissant par exemple un bilan comparatif qui met en opposition les apports duranciens vis à vis des autres apports naturels (Arc, Touloubre, La Cadière).

On peut résumer les faits les plus saillants dans le tableau ci-après :

| Total général | Apports liquides (m3/s) | Apports solides (T/an) | Apports dissous (T/an) | | | | |
|---------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|------------|---------------|
| | | | DBO5 | N Total | N Minéral | P Total | Silice |
| | 128 | 335 310 | 3 866 | 6 900 | 2 977 | 718 | 21 461 |
| Canal E.D.F. | 122 (95 %) | 329 000 (98 %) | 2 690 (70 %) | 5 791 (83 %) | 2 430 (82 %) | 430 (60 %) | 17 800 (83 %) |

Les forts pourcentages EDF sont liés à une hydraulité majeure car les analyses physico-chimiques montrent généralement sur la Durance, en dehors du cas des MES, de faibles teneurs. Celles-ci sont nettement le fait de la Durance (environ 98 %).

Malgré la part prépondérante de la Durance au niveau du bilan global, les modalités des autres apports limniques montrent que ceux-ci, malgré un débit relatif modeste, n'en interviennent pas moins de façon significative pour quelques paramètres.

On peut insister sur :

- les apports en azote nitreux, qui s'opèrent de préférence hors été, et peuvent atteindre alors près de 50 %
- la prépondérance de l'azote ammoniacal transporté par la Cadière avec des proportions importantes en saison estivale (aux environs de 60 %)
- sur la part prise par l'Arc et la Touloubre, au niveau d'un apport régulier en phosphore soluble, alors que l'azote nitrique ne se signale que sur l'Arc
- le cas du déficit en oxygène qui est surtout le fait de l'Arc, mais aussi à un degré moindre de la Touloubre.
L'intervention de la Cadière reste hétérogène alors que la Durance est dans son ensemble globalement oxygénée avec cependant une période de déficit estival.
- le fait que les apports en DBO₅, bien que modestes et irréguliers, transparaissent de façon homogène sur les trois rivières.

Polluants

Le tableau ci-dessous présente les flux annuels de quelques polluants représentatifs de l'étang de Berre.

Exprimé en tonnes, ce tableau oppose des flux massiques importants attribuables aux rejets de la Durance aux flux moins importants introduits par les autres rivières.

| FLUX ANNUEL VIII-83 à VII-84 | | ARC | TOULOUBRE | CADIÈRE | CANAL DE L'OLIVIER | CANAL EDF ST CHAMAS |
|--|-------------|---------|-------------|---------|-----------------------|------------------------|
| APPORT LIQUIDE 10 ⁶ M ³ | | 64,3 | 77,9 | 30,1 | | 3635 |
| APPORT SOLIDE TONNES | | 1718 | 2026 | 2155 | 408 | 343 947 |
| PLOMB Kg | EAU BRUTE | 978 | 630 | 229 | 93 | 25,7.10 ³ |
| | EAU FILTRÉE | 339 | 401 | 111 | 66 | 12,6.10 ³ |
| CADMIUM Kg | EAU BRUTE | 56 | 38,6 | 16,8 | 9 | 2,5.10 ³ |
| | EAU FILTRÉE | 23 | 26,8 | 9,7 | 6,9 | 1,2.10 ³ |
| MERCURE Kg | EAU BRUTE | 29 à 60 | 13 à 22 | 5 à 8 | 0,47 | 289 à 737 |
| | EAU FILTRÉE | 2,0 | 1,5 | 0,59 | 0,24 | 40 |
| P.C.B. Kg | EAU BRUTE | 3,7 | 0,53 à 0,72 | 11 à 15 | 0,078 | 18 à 26 |

De même que pour la qualité des eaux, nous faisons un commentaire séparé pour les deux apports.

En effet, nous relèverons essentiellement la part prépondérante de l'Arc dans la pollution par les métaux lourds, en rappelant que ce flux ne correspond pas à la totalité de la charge réelle transportée par cette rivière puisqu'une partie est détournée par le canal de Gordes vers Berre et l'étang de Vaine.

Malgré cette réduction des apports solides et liquides, le flux de métaux lourds de l'Arc demeure le plus important, tandis qu'on observe des valeurs décroissantes dans la Touloubre, la Cadière et le canal de l'Olivier, dans le cas de l'eau brute. On notera toutefois une certaine identité des apports solubles de l'Arc et de la Touloubre.

La pollution par les PCB ne se présente pas de la même manière en raison de l'apport particulièrement élevé de la Cadière (11 à 15 kg/an), quatre à cinq fois plus abondant que celui de l'Arc (3,7 kg/an) qui se distingue lui-même de celui de la Touloubre (0,53 à 0,72 kg/an).

Si l'on envisage maintenant les concentrations moyennes annuelles, la différence est encore plus accentuée entre l'Arc (57 ng.l^{-1}) et la Cadière (365 à 498 ng.l^{-1}). La Touloubre, pour sa part, ne dépasse pas 9 ng.l^{-1} .

Le problème posé par cette pollution de la Cadière ne semble pas correspondre à un phénomène accidentel ou passager. En effet, la présence de PCB dans les eaux ou les sédiments de ce cours d'eau avait déjà été mise en évidence par des études antérieures. Par ailleurs, durant notre campagne, les concentrations trouvées n'ont jamais été inférieures à 50 ng.l^{-1} et ont atteint $5\ 100 \text{ ng.l}^{-1}$ en période de crue. Ces faits témoignent d'une part, du caractère permanent de cette pollution et, d'autre part, de l'accumulation de ces produits dans un secteur du bassin versant qu'il serait urgent et indispensable de localiser.

La comparaison du flux global des affluents et de celui des eaux duranciennes fait apparaître une très forte disproportion dans les apports de ces deux types d'arrivée d'eau douce.

Malgré le fait de concentrations faibles, les flux introduits par la Durance semblent considérables sauf pour le PCB, les pourcentages de métaux lourds introduits par la Durance varient entre 90 et 95 % du total.

En fait, pour une grande partie des paramètres polluants (matières en suspension, qualité des eaux, métaux lourds, PCB), les apports massiques des rivières ne constituent que 5 à 10 % de ceux introduits par le canal EDF.

Cependant, ce bilan qui tendrait à rendre négligeable le flux des affluents naturels, doit être nuancé car 2 facteurs essentiels doivent être pris en compte pour l'appréciation de l'effet réel de ces charges polluantes respectives.

D'une part, le flux durancien ne s'accumule pas exclusivement dans l'étang. Bien au contraire, son temps de transit peut être considérablement raccourci en période de fort débit durant lesquelles le flux de pollution est le plus important.

D'autre part, les apports des cours d'eau beaucoup moins abondants mais dans la plupart des cas, plus concentrés, sont refoulés sous la poussée des eaux duranciennes, dans des secteurs côtiers limités où est ainsi maintenu un niveau de pollution relativement élevé.

Paradoxalement, malgré les valeurs importantes fournies par le calcul, le flux durancien global se comporterait davantage comme un facteur de dilution plutôt que d'augmentation de la concentration en polluants dans les eaux et les sédiments de la plus grande partie de l'étang de Berre. Par contre, il peut avoir des effets néfastes par les modifications qu'il apporte à la dispersion des apports "normaux" des autres affluents.

La comparaison des flux limniques avec les autres sources polluantes fait l'objet du rapport "Etang de Berre : Evaluation des rejets".

BIBLIOGRAPHIE

- CHAMLEY H., COLOMB E., ROUX M.R., 1969 - Les minéraux argileux du bassin versant de la Touloubre (Bouches-du-Rhône). *Bull. Mus. Hist. Nat.*, Marseille, 24: 117-127.
- CHAMLEY H., DURAND J.P., ROUX M.R., 1971 - Les minéraux argileux du bassin versant de l'Arc (Bouches-du-Rhône). *Bull. Mus. Hist. Nat.*, Marseille, 31: 105-113.
- CLAUZON G., ROBERT C., sous presse - La sédimentation argileuse du Miocène supérieur continental dans le bassin de Cucuron/Basse Durance (Provence, France). *Revue de Paleobiologie continentale*.
- COLOMB E., ROUX M.R., 1979 - Etude préliminaire des minéraux argileux des très hautes terrasses de la moyenne Durance. *Bull. ASs, Française Etude, Quaternaire.*, 3: 121-126.
- Guide des techniques du Laboratoire de Géologie Marine. Publ. par H. CHAMLEY., Marseille, 1966, 169 p.
- LOEILLET C., 1984 - Etude statistique des distributions de taille des particules de deux zones soumises à l'influence rhodanienne (darse-1 de Fos, Golfe du Lion). Thèse Doct. 3è cycle., Univ. Aix-Marseille II: 103 pp + 73 pp.
- MARILLEY M., 1973 - Etude écologique d'un étang saumâtre méditerranéen. L'étang de l'Olivier : eaux- sédiments- plancton. Thèse Doct. ès Sci., Aix-Marseille II: 88 pp.
- ROUX M.R., 1983 - L'étang de Berre, sédiments et dynamique sédimentaire. Rapport CNEXO, 64 pp.
- ROUX M.R., 1983 - Les apports liquides et solides du canal E.D.F. de Saint Chamas dans l'étang de Berre. Rapport CNEXO, 63 pp.