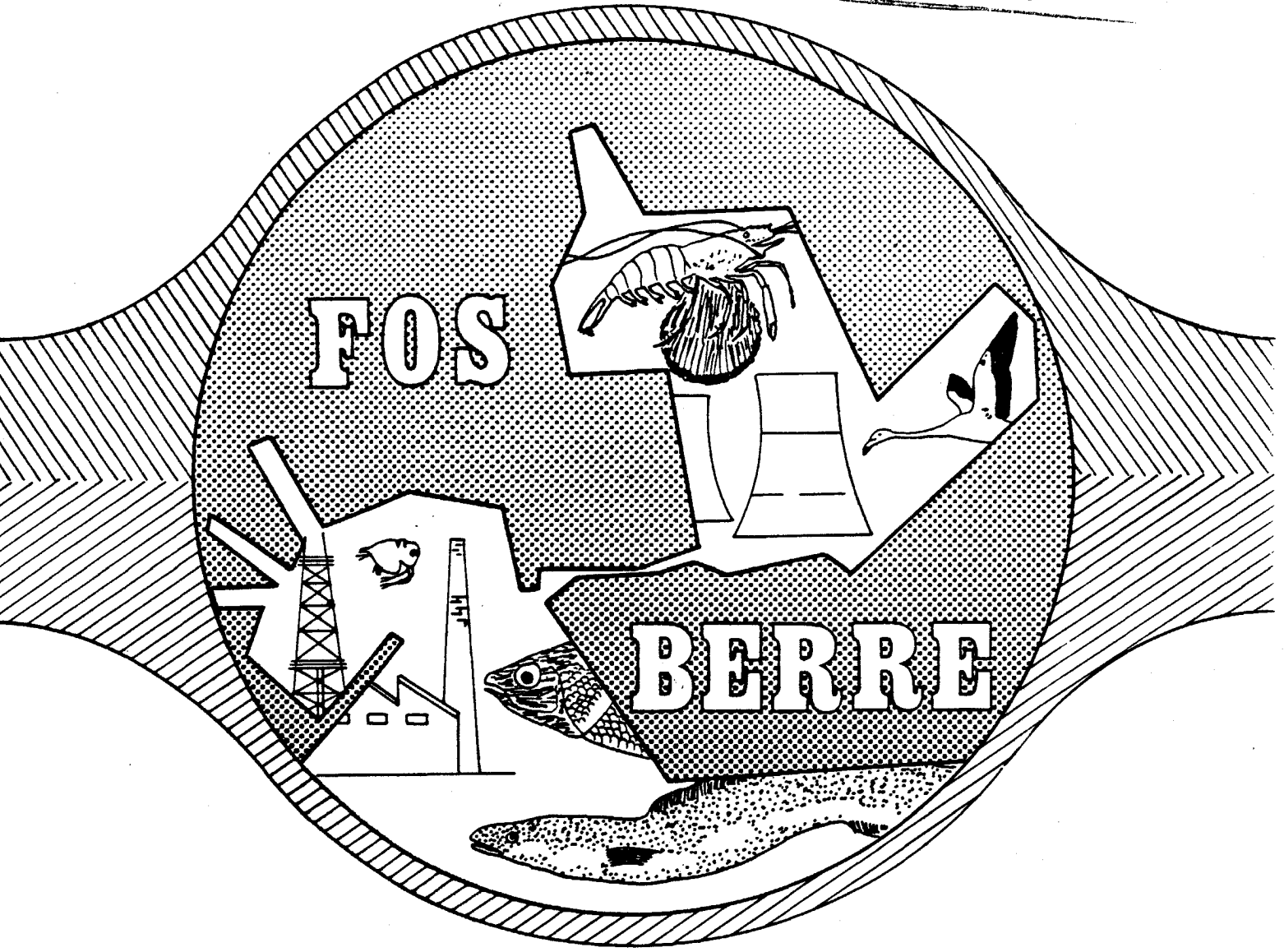


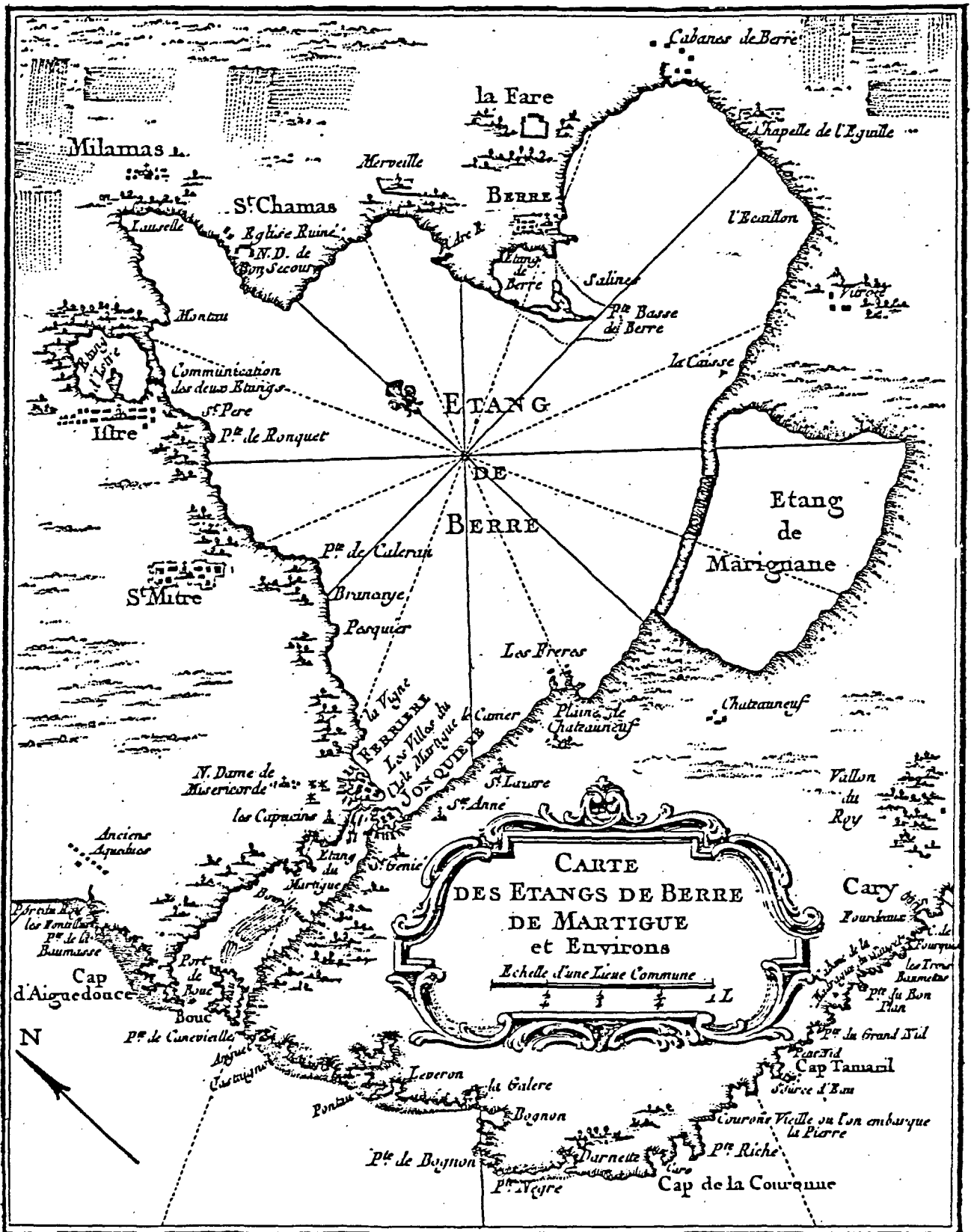
# Apports liquides et solides du Canal EDF de Saint Chamas

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT  
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU  
MARIN



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

**IFREMER** JUILLET 1985



L'ETANG de BERRE selon une carte du début du XVIII<sup>e</sup> siècle

PREFACE DE MONSIEUR LE  
PROFESSEUR J.-M. PERES

MEMBRE DE L'ACADEMIE DES  
SCIENCES

Monsieur Max ROUX m'a demandé de préfacier, en quelque sorte, le mémoire qu'il vient de consacrer, à la demande du C.N.E.X.O., sur les apports liquides et solides dans l'étang de Berre du Canal E.D.F. de St-Chamas.

Après la mise en service de cette usine hydro-électrique le 21 mars 1966, tout permettait de penser que cet aménagement sonnait le glas de l'étang de Berre en tant que milieu lagunaire exploitable, un type de milieu eutrophe dont, justement, le littoral de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur est particulièrement pauvre. A vrai dire, l'étang n'était déjà plus, comme au temps où Marion et ses élèves l'étudiaient, un site privilégié de pêche artisanale, qui permettait la vie de nombreuses espèces de poissons marins exploitables et exploitées et aussi les huîtres plates et les oursins comestibles, ces derniers représentés, d'ailleurs, par une race naine. Le percement du Canal du Rove - aujourd'hui effondré par un éboulement local - en faisait une annexe idéale pour le port de Marseille alors en expansion. Malgré le développement de certaines implantations industrielles sur ses bords et la pollution croissante qui en découlait, l'étang de Berre restait un environnement acceptable grâce à l'approfondissement du Canal de Caronte.

Jusqu'à cette date, l'étang de Berre, nourri en eau douce par les apports modestes de l'Arc et de la Touloubre, apparaissait nettement moins oligotrophe que le milieu marin côtier. Son plan d'eau de l'ordre de 155 km<sup>2</sup> avec un volume de 900 millions de m<sup>3</sup>, avait une salinité diminuant graduellement à partir de Martigues vers les rives les plus internes de l'étang. Les apports fluviaux des nappes et de ruissellement étaient parfaitement compatibles avec le flux admissible dans le Canal de Caronte. Il était donc peuplé par un écosystème marin néritique, légèrement appauvri en espèces par rapport à l'écosystème proprement côtier, mais à biomasse et surtout à production plus importantes.

Il était évident à priori, comme le souligne M. Max ROUX, que le flux liquide, voisin en moyenne de 3.500 Hm<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup>, ne pouvait être assimilé désormais par l'exutoire du Canal de Caronte et que l'Etang de Berre et que toute la partie méridionale de l'étang se comporterait alors comme un estuaire de type fortement stratifié, avec un coin salé de forte inclinaison.

Il faut avoir vécu, comme l'ont vécu les chercheurs de la Station Marine d'Endoume, au printemps 1966, ce qu'est une catastrophe écologique provoquée par l'homme. L'anéantissement brutal de la flore et de la faune benthiques provoqua, en effet, une augmentation massive du matériel organique sédimenté et en décomposition, d'où une explosion de bactéries hétérotrophes et la formation, dans la colonne d'eau, d'une couche anoxique à partir de -3 m de profondeur. Les mouvements verticaux épisodiquement engendrés par les vents, suffisamment énergiques pour rompre la pycnocline, peuvent provoquer alors, dans la couche supérieure, des blooms phytoplanctoniques débouchant parfois sur des phénomènes d'eaux décolorées, elles-mêmes génératrices de mortalités massives de poissons, heureusement assez rares ici.

Du même coup d'ailleurs, la portion de l'étang accessible aux poissons et dans des eaux suffisamment oxygénées, était fortement restreinte, ce qui en a pratiquement éliminé les poissons - même fortement euryhalins - à l'exception des anguilles.

Il faut y ajouter le fait que les fluctuations, parfois très considérables de la salinité en fonction de la puissance demandée à la centrale, prévenaient toute installation de flore et de faune benthiques, sauf dans les parties les plus méridionales de l'étang qui bénéficient du coin salin du débouché du Canal de Caronte, ou encore dans des portions - très localisées - du liseré côtier - où la nappe phréatique affleure.

La situation de l'étang de Berre était donc devenue d'autant plus alarmante que l'on pouvait admettre que le flux solide ainsi accru qu'il recevait, conduisait inexorablement à un comblement graduel de toute sa partie Nord. Même si le bassin de délimonage sous-marin de Saint-Chamas, puis le décanteur de Cadarache avaient fait baisser le flux solide originel de  $700.000 \text{ t.an}^{-1}$  à  $300.000 \text{ t.an}^{-1}$  environ, M. Max ROUX souligne à juste titre "qu'aucun de ces palliatifs n'apportait de solution définitive au problème de la turbidité engendrée dans l'étang". Et l'on comprend alors l'irritation des populations riveraines de l'Etang de Berre, surtout depuis que les concepts de "nuisance" et d'atteinte à la "qualité de la vie" ont pénétré profondément dans l'esprit du public ... si même la notion d'environnement leur reste encore assez confuse.

### III

C'est à juste titre que M. Max ROUX, dans son rapport, tend à excuser, dans une certaine mesure, le choix de l'Etang de Berre comme exutoire par les "décideurs" de l'époque. Qu'il me soit permis, à titre anecdotique, de rappeler un souvenir personnel, mais qui touche justement au fond du problème. Devant me présenter à l'Ingénieur Général Albert CAQUOT, alors que j'étais candidat à l'Académie des Sciences en 1973, pour la visite qui était encore de tradition à l'époque, je me demandais de quoi je pourrais bien parler qui eût la chance de l'intéresser. Et c'est par hasard que j'évoquai les problèmes de l'Etang de Berre. C'est ainsi que j'appris de lui qu'il avait, à l'époque, apparemment été le seul à s'opposer au choix d'exutoire qui avait été fait et il m'en donna les raisons avec une certaine vivacité, surprenante de la part d'un homme aussi âgé, ce qui prouvait que l'affaire lui avait tenu à coeur à l'époque.

Il me paraît que le rapport élaboré par M. Max ROUX est tout à fait remarquable, tant dans sa substance même que dans l'analyse qu'il a faite de la situation et du devenir potentiel de l'Etang de Berre.

Mais le mérite essentiel de M. Max ROUX est qu'il propose une solution pour sauver ce magnifique plan d'eau. Naguère, un projet avait été présenté qui proposait le passage d'une autoroute à travers le Golfe de Saint-Chamas en direction d'Arles, et dont j'avais eu connaissance, mais qui n'a pas été réalisé.

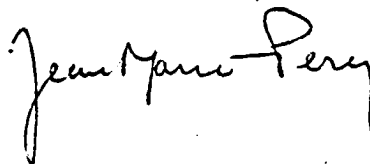
La solution préconisée par M. Max ROUX pour sauver l'étang de Berre consiste à séparer les masses d'eau non miscibles à l'aide d'une digue barrant la cuvette par le travers et appuyée sur le bed-rock résistant qui a été mis en évidence par les enregistrements en sondages sismiques continus et qui se situe à moins de -10 m N.G.F. L'ensemble de la cuvette serait alors divisée en bassins à peu près équivalents et autonomes.

Celui de Nord recevrait tous les apports d'eau douce - y compris ceux de la centrale - et deviendrait un lac d'eau douce grâce à un canal suivant la côte Nord-Sud du Mont Calaraou jusqu'à Martigues, où il se jetterait dans le Canal de Caronte.

L'autre, alimenté en eau marine par le Canal de Caronte, restituerait une situation écologique de coin salé à faible pente, analogue à celle qui existait auparavant.

Ce projet est séduisant et il est de nature à sauver ce qui reste de l'écosystème de l'Etang de Berre. Les agressions qu'a subi ce plan d'eau au cours des trente dernières années, au moment de l'expansion industrielle et démographique qui a suivi la deuxième guerre mondiale, ont fortement altéré l'ensemble de son environnement et l'apport du canal de l'usine hydro-électrique de St-Chamas y a joué un rôle majeur. Or, les cinq dernières années ont fait avancer à pas de géant l'épuration des effluents tant domestiques qu'industriels qui s'y déversent. Il me semble donc que ce n'est pas au moment où ce merveilleux plan d'eau peut revenir à un état proche de celui qui était le sien il y a environ 60 ans, qu'il faut le compromettre à jamais avec des rejets solides qui ont déjà été diminués, certes, mais qui peuvent l'être encore à condition que le seuil légal de turbidité soit ramené à  $1 \text{ g.l}^{-1}$ , ce qui paraît tout à fait possible sans pour autant gêner l'exploitation de la Centrale de Saint-Chamas.

Marseille, le 25 avril 1984



J.M. PERES

Membre de l'Académie des Sciences

## Sommaire

	pages
Avant propos : But et limite de l'étude	
<b><u>PREMIERE PARTIE</u> : I. LA DURANCE</b> .....	1
I.1. Les apports liquides de la Durance.....	2
I.2. L'aménagement hydroélectrique de la Durance.....	3
I.2.1. Historique.....	4
I.2.2. L'aménagement de la Durance.....	4
I.2.3. La chaîne de la Basse-Durance.....	5
I.3. Les apports solides de la Durance.....	6
I.3.1. Les transports par charriage.....	7
I.3.2. Les transports en suspension.....	7
<b><u>SECONDE PARTIE</u> : LES APPORTS SOLIDES ET LIQUIDES DU CANAL USINIER</b> .....	12
II.1. Les apports liquides.....	13
II.2. Les apports solides en suspension (MES).....	14
II.2.1. Historique.....	15
II.2.2. Granulométrie des limons.....	18
II.2.3. Minéralogie des limons.....	19
II.2.4. Tonnages et volumes rejetés.....	20
II.2.5. Corrélations apports solides et hydraulité.....	22
II.3. Influence du seuil de restitution.....	23
II.3.1. Fréquence d'apparition des crues solides.....	23
II.3.2. Estimation des rejets en l'absence de la Convention.....	26
II.3.3. Validité du seuil.....	27
II.3.4. Quelle limite choisir ?.....	30
<b><u>TROISIEME PARTIE</u> : SEDIMENTATION ET DISPERSION DES LIMONS DANS L'ETANG DE BERRE ET LE GOLFE DE FOS</b> .....	32
III.1. Le bassin de délimonage sous marin de St Chamas.....	34
III.1.1. Modalités de fonctionnement hydrodynamique.....	34
III.1.2. Les dépôts dans le bassin de délimonage.....	35
III.1.3. Estimation du rendement du bassin.....	35
III.2. Dispersion et sédimentation des limons dans l'étang.....	36
III.2.1. Evolution sédimentologique des fonds.....	37
III.2.2. Minéralogie de la phase argileuse.....	39
III.2.3. Chimie de sédiments superficiels.....	39
III.2.4. Données de la photodétection.....	40
III.3. Dispersion et sédimentation des limons dans le Golfe de Fos.....	41
III.3.1. Les nappes de dilution dans le golfe.....	42
III.3.2. Les nappes de dilution au large du golfe.....	43
<b><u>QUATRIEME PARTIE</u> : CONCLUSIONS GENERALES</b> .....	45
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	55



## AVANT-PROPOS

### A) Le but de cette étude est triple:

- regrouper et mettre à la disposition des chercheurs du CNEXO et de l'URA 41 un certain nombre de données concernant les rejets liquides et solides du canal EDF de Saint Chamas dans l'étang de Berre;
- tenter de rétablir dans leur vérité des faits souvent controversés, faisant ainsi le point sur l'état des connaissances actuelles en la matière, sur les lacunes mises en évidence et sur les solutions à mettre en oeuvre;
- proposer à un groupe de professeurs de l'Enseignement Secondaire des documents sur les causes, les caractères et les conséquences d'un aménagement régional. \_

Ainsi destiné à un public varié, ce travail comporte certains commentaires qui pourront paraître évidents ou superficiels aux spécialistes, alors que d'autres données sembleront superflues aux lecteurs non initiés.

Puisse ce travail d'information, bien qu'incomplet et inégal, conduire à une meilleure compréhension des phénomènes auxquels biologistes et molysmologistes se réfèrent souvent.

### B) Le présent rapport comprend trois parties et expose successivement:

- l'origine et la cause des apports: la Durance, son régime et son aménagement hydroélectrique;
- les apports du canal usinier et leurs modalités;
- la destinée de ces matériaux: sédimentation ou dispersion dans l'étang de Berre.

C) L'étude fait état des données disponibles à la fin de l'année 1982.<sup>\*</sup> Outre les travaux cités en bibliographie, elle fait appel à des informations ou communications orales transmises par les responsables de divers services publics consultés, et notamment MM AVILLACH, FAUROUX et GRES, Ingénieurs EDF (GRPH) ainsi que MME BERTRANDY-CAMPANA, Ingénieur DDE (SPPPI). En particulier, nous sommes heureux de remercier M. GRES qui a bien voulu relire ce manuscrit, et en combler les lacunes ou corriger les erreurs. Le rapport fait également mention de diverses observations ou critiques émanant de membres des Conseils Municipaux de Martigues, Istres, Saint-Chamas et Berre, ainsi que de responsables régionaux de l'Aménagement du Territoire.

Enfin, sans être confidentielle, cette étude est propriété du Centre National pour l'Exploitation des Océans. Elle ne peut et ne doit pas être diffusée ou reproduite sans l'accord de cet organisme.

---

<sup>\*</sup>Quelques données 1983/1984 ont été incorporées à cette seconde édition.

LA DURANCE

## I. LA DURANCE ET SON BASSIN VERSANT (figure 1)

La Durance (1) prend sa source à une altitude voisine de 1800m à Montgenèvre, près de Briançon, dans les Alpes du Sud, et rejoint la rive gauche du Rhône en aval d'Avignon à la cote +13, après un parcours de 290km. Avec une superficie de 14 200km<sup>2</sup> son bassin versant se place en seconde position parmi ceux des affluents rhodaniens. La pente de la rivière reste voisine de 3 0/00 sur plus de 200km, traduisant ainsi un régime quasi-torrentiel, éminemment favorable aux aménagements hydro-électriques.

Ce n'est que vers la fin de l'ère Quaternaire que la Durance s'est écoulée dans sa basse-vallée actuelle, en aval du seuil d'Orgon, pour confluer avec le Rhône au Nord des Alpilles. Au Quaternaire inférieur et moyen, la rivière, en passant successivement par les cluses d'Eyguières et de Lamanon, empruntait un tracé méridional pour rejoindre le sillon rhodanien au Sud des Alpilles. Les divers cailloutis de la Crau, vastes et épais cônes de déjections emboîtés, en sont le témoignage.

### I.1. LES APPORTS LIQUIDES DE LA DURANCE

Le régime de la Durance est bien connu grâce aux indications fournies depuis la fin du siècle dernier par deux stations hydrologiques (figure 4). La première, l'Archidiacre, enregistre les apports du bassin versant de la Haute-Durance et de ses 15 affluents. La seconde, située à Pont-Mirabeau, estime les apports cumulés de la Haute et Moyenne Durance (25 affluents), ainsi que du Verdon. Seuls les apports de la Basse-Durance (3 affluents) ne sont pas pris en compte.

A la station hydrologique de l'Archidiacre, la rivière coule à la cote 590 ; la superficie du bassin versant est alors de 3 600km<sup>2</sup> dont près des 2/3 sont situés à une altitude supérieure à 2 000 m. Les apports totaux annuels s'élèvent en moyenne à 2 700 millions de m<sup>3</sup>, ce qui correspond à un module de 83m<sup>3</sup>/s. Les débits d'étiage d'hiver ou d'été peuvent s'abaisser à 15m<sup>3</sup>/s, alors que les plus fortes crues connues ont atteint 1 800m<sup>3</sup>/s en juin 1956 et 1 700m<sup>3</sup>/s en mai 1857.

A la station hydrologique de Pont-Mirabeau, 8km en aval de la confluence avec le Verdon, affluent majeur, le bassin versant a une superficie de 12 000km<sup>2</sup> et se situe à l'altitude moyenne de 1 300m. Etabli sur la période 1904-1964, le débit moyen annuel total est de l'ordre de 6 150 millions de m<sup>3</sup>, ce qui correspond à un débit moyen instantané voisin de 196m<sup>3</sup>/s.

Les fluctuations observées par rapport à ces valeurs moyennes sont très importantes et liées au régime pluvio-nival marqué de la rivière. Les débits annuels varient de 3 000 millions de m<sup>3</sup> (module

(1) du latin "druentia" : impétueuse.

95m<sup>3</sup>/s) en année sèche à près de 10 000 millions de m<sup>3</sup> (module 318m<sup>3</sup>/s) en année particulièrement-humide (figure 3a).

Les étiages se produisent en hiver, du fait de la rétention nivale, et en été, par suite de la sécheresse estivale du climat provençal. Les débits d'étiages caractéristiques sont de 55m<sup>3</sup>/s (à 10 jours), mais peuvent s'abaisser à 45m<sup>3</sup>/s (à 1 jour) ; le minimum instantané connu serait de 26m<sup>3</sup>/s. Ces périodes de "pénuries" extrêmes, tant redoutées des agriculteurs, apparaissaient en Août-Septembre (figure 3b).

Les hautes eaux se situent d'Avril à Juillet en raison de la fonte des neiges, et en Octobre-Novembre lors des orages méditerranéens. Dans les deux cas, les crues dépassent fréquemment 2.000m<sup>3</sup>/s de débit moyen journalier, avec des débits instantanés voisins de 3 000m<sup>3</sup>/s. On a relevé plusieurs fois des valeurs supérieures à 5 000m<sup>3</sup>/s sur quelques heures, le maximum connu étant de 6 000m<sup>3</sup>/s (novembre 1886), ce qui correspond à 230 fois le plus petit débit d'étiage. Les débits de 1600 à 2000m<sup>3</sup>/s/jour sont considérés comme crues annuelles, alors que les crues décennales sont voisines de 3 000m<sup>3</sup>/s par jour.

Dans l'ensemble de l'année, à Pont-Mirabeau, selon l'étude CERIC (1972), les apports liquides moyens sont particulièrement importants au printemps (55%) et en automne (21%) ; ils diminuent fortement l'été (15%) pour s'abaisser à 9% en hiver.

Le Verdon draine un bassin versant de 2 220 km<sup>2</sup>. Sa longueur est voisine de 160 km pour une pente moyenne de 5‰. A la confluence avec la Durance, le volume des apports annuels est en moyenne de l'ordre de 1 220 millions de m<sup>3</sup> pour un module voisin de 39m<sup>3</sup>/s. Les débits d'étiage, voisins de 7.5m<sup>3</sup>/s par jour en été, peuvent atteindre un minimum instantané inférieur à 4m<sup>3</sup>/s certains mois d'Août. La plus forte crue connue a été estimée à 1 400m<sup>3</sup>/s, soit 180 fois le débit journalier d'étiage, alors que la crue enregistrée au printemps 1951 n'excédait pas 650m<sup>3</sup>/s selon E.D.F. (1968).

En résumé, les apports liquides de la Durance montrent une grande irrégularité pouvant atteindre 50% du débit annuel moyen (6 000 Hm<sup>3</sup>), ce qui permet au rapport crue/étiage de dépasser fréquemment 200. Ces caractères sont ceux de tous les réseaux hydrographiques drainant des bassins versants soumis à un climat de type méditerranéen. On notera, en outre que, selon les niveaux de remplissage des réservoirs, des débits de l'ordre de 2 000m<sup>3</sup>/s peuvent éventuellement être retenus ou stockés pendant quelques dizaines d'heures par les aménagements hydroélectriques. E.D.F. peut ainsi "éponger" en partie les hautes eaux annuelles et écrêter d'autant les crues décennales ou autres. (Ceric, 1972).

## 1.2. L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE LA DURANCE

Avec une énergie potentielle de près de 10 000 Gwh le bassin versant de la Durance constitue le 4e bassin énergétique de France,

après ceux du Rhône, du Rhin et de l'Isère.

### I.2.1. Historique

Afin de faire face à la croissance de la consommation nationale en électricité et de promouvoir le développement économique de cette région alors déshéritée, en voie de dépeuplement, E.D.F. entreprit dès 1947 un certain nombre d'études préliminaires. Le 4 septembre 1951, elle déposa auprès du Gouvernement une demande de concession pour l'aménagement de la Durance. Au terme de la loi du 16 octobre 1916, cette concession devait être accordée par une loi spéciale puisque l'équipement représentait une puissance nominale supérieure à 100 000 kw et aboutissait au détournement d'une rivière vers la mer.

Une décision ministérielle du 21 mars 1952 ordonna la mise en enquête d'utilité publique. Celle-ci a revêtu une ampleur particulière du fait de son extension sur six départements (113 communes), ce qui a nécessité la consultation de nombreuses assemblées ou associations. L'avis favorable de tous les Conseils Généraux des départements incriminés et l'adhésion de tous les autres organismes (Chambre de Commerce d'Avignon exceptée) ont été obtenus.

Le projet de loi, contresigné par 8 ministres, a été déposé sur le bureau de l'Assemblée Nationale le 19 mars 1954. Les différentes commissions de l'Assemblée ont présenté des rapports favorables à l'adoption du projet. Lors du débat public, divers amendements confortant les garanties des riverains ont été adoptés. Le nouveau projet de loi a été voté par l'Assemblée Nationale le 13 août 1954 et adopté par le Sénat le 17 décembre 1954. Le texte légal a été promulgué le 5 janvier 1955. Une convention agricole datée du 24 novembre 1953 est jointe à la loi.

### I.2.2. L'aménagement de la Durance (figure 5)

C'est en 1977 que E.D.F. a achevé la construction d'une chaîne continue de 19 usines situées à l'aval de deux grands barrages réservoirs destinés à régulariser les débits par trop irréguliers de la rivière. La possibilité de disposer de réserves d'eau très importantes était d'une nécessité absolue. En effet, entre les crues d'automne et de printemps, les étiages d'hiver et d'été correspondaient soit une époque de forte demande en électricité, soit à une période où l'agriculture manifeste les plus grands besoins en eau d'irrigation.

L'économie toute entière du bassin versant a ainsi été valorisée par l'intégration de l'équipement hydroélectrique de la Durance dans un aménagement global conçu pour répondre à des fins multiples, aussi bien agricoles qu'industrielles.

Le barrage de Serre-Ponçon, sur la Durance, assure une retenue

de 1 270 millions de m<sup>3</sup> et crée un plan d'eau de 2 800 ha situé à la cote 780, soit près de 120 m au dessus du lit de la rivière. Avec sa réserve utile de 1 000 millions de m<sup>3</sup> disponibles annuellement, ce barrage est la "clé de voûte de l'aménagement, et en conditionne le fonctionnement". Sur ce volume disponible, 700 millions de m<sup>3</sup> assurent la production d'énergie ; les 200 millions complémentaires sont destinés, en s'ajoutant aux débits d'étiage de la Durance, à permettre un prélèvement de 116m<sup>3</sup>/s par les canaux agricoles pendant les mois d'été. Cette dotation supprime les "pénuries" 8 années sur 10 et les atténue à 90% dans les autres cas de déficit hydrique extrême.

Enfin, 100 millions de m<sup>3</sup> participent au maintien d'un débit minimum, dit de salubrité, dans le lit de la rivière.

Le barrage de Sainte-Croix, sur le Verdon, bien que moins important, assure une retenue de 767 millions de m<sup>3</sup>, pour un volume utilisable annuellement de 300 millions de m<sup>3</sup>, dont près des 2/3 pourront être, à terme, prélevés par les canaux agricoles.

Les usines sont situées en des points judicieusement choisis sur des canaux usiniers disposés parallèlement au cours de la rivière, mais de pente bien moins forte, ce qui permet de ménager les chûtes nécessaires. Grâce à cette disposition étagée, les usines turbinent successivement la même eau (éclusée). Elles exploitent ainsi au maximum les débits naturels disponibles qui sont constamment ajustés aux besoins industriels et agricoles en fonction des réserves utilisables. La production moyenne de l'ensemble Durance-Verdon se situe aux environs de 7 000 Gwh.

### I.2.3. La chaîne de la Basse-Durance (figure 6)

La nécessité d'exploiter au mieux le potentiel énergétique du complexe, le souci de rentabiliser les barrages réservoirs construits sur la Durance et le Verdon, l'obligation d'assurer la réalimentation des canaux agricoles de Basse-Provence, rendaient l'aménagement hydroélectrique de la Basse-Durance indispensable.

La chaîne de la Basse-Durance comprend 5 centrales situées sur un canal industriel de 82 km de long. Les eaux dérivées de la prise de Cadarache, en aval de la confluence avec le Verdon, alimentent successivement, avec un débit maximum de 250m<sup>3</sup>/s, les chûtes de Jouques (mise en service en 1959), St Estève (1963), Mallemort (1972), Salon (1966) et St Chamas (21 mars 1966). Ce dispositif permet en outre d'exploiter l'énergie potentielle des eaux réservées à l'irrigation ou l'alimentation urbaine (figures 7 et 8) jusqu'à proximité immédiate des points de restitution dans les canaux de prélèvement (figure 10a et b).

Partant de Cadarache à la cote 256 NGF, le canal longe sur 50 km la Durance jusqu'à Mallemort (117 NGF). Là, au lieu de suivre en parallèle le cours de la rivière jusqu'à la confluence (2) avec le Rhône (13 NGF), il abandonne la basse-vallée et se dirige au Sud.

(2) maintenue à la cote +16 par des ouvrages de la Compagnie Nationale du Rhône (1968).

Passant par le col de Lamanon, la dérivation retrouve en partie sur 30 km le tracé quaternaire de la Durance, puis rejoint la rive nord de l'étang de Berre à l'usine de St Chamas, où les eaux sont rejetées au niveau de la mer (figure 11).

Selon E.D.F., seul un tel tracé permet ait d'éviter la construction onéreuse de 20 km de canal et de réduire la taille des centrales tout en augmentant leur puissance. En effet, la pente moyenne, entre Mallemort et St Chamas, est portée par ce dispositif à  $3.9\text{‰}$ , car la distance est plus courte et la hauteur de chute accrue de 13m, alors que la pente moyenne de la Durance, de Mallemort au Rhône, reste inférieure à  $2.8\text{‰}$  pour un parcours plus long et une dénivellation totale moindre.

Depuis 1980, grâce à l'installation à St Tulle d'un poste de commande centralisant les informations, "il est possible de faire fonctionner simultanément toutes les usines au maximum de leur puissance pendant les heures de pointe, ou de les arrêter lors des heures creuses" (G. Fauroux, 1981).

Pour assurer un découplage hydraulique entre la Moyenne et Basse-Durance et absorber les débits exceptionnels du Verdon, E.D.F. a mis en service le 14 novembre 1980 un bassin régulateur édifié à proximité de la prise de Cadarache. Long de 1.7 km et large de 0.8km pour une profondeur moyenne de 10m, le réservoir assure une retenue de 12.3 millions de m<sup>3</sup> et crée un plan d'eau de 122ha à la cote 256 NGF. Le bassin permet en outre un délimonage partiel des eaux prélevées plus en aval par les canaux agricoles et la Société des eaux de Marseille, ou finalement rejetées à l'étang de Berre par le canal usinier.

En année moyenne, sur les 6 000 hm<sup>3</sup> théoriquement disponibles à Cadarache, 2 000 hm<sup>3</sup> sont utilisés par les irrigations alors que 3 000 hm<sup>3</sup> alimentent les centrales et aboutissent donc dans l'étang de Berre. La différence (1 000 hm<sup>3</sup>) s'écoule en Durance et résulte de la restitution des débits de crues ou du maintien, lors des étiages, d'un débit minimum de salubrité indispensable à l'écologie de la rivière (2m<sup>3</sup>/s à Cadarache).

Dans ces conditions, la production moyenne en électricité de la chaîne de la Basse-Durance se situe aux environs de 2300 Gwh (figure 9).

### I.3. LES APPORTS SOLIDES DE LA DURANCE

Le volume annuel des apports solides transitant par les stations de l'Archidiacre et de Pont-Mirabeau est connu grâce aux études effectuées de 1868 à 1889 par les Ponts et Chaussées ou plus récemment, de 1951 à 1960, par les services de l'E.D.F.. Ces données permettent d'évaluer les vitesses de colmatage des retenues et de déterminer l'importance des dépôts de limons dans l'étang de Berre.

Dans un cours d'eau, les alluvions se comportent différemment selon leur granulométrie moyenne.

### I.3.1. Les transports par charriages

Les éléments les plus grossiers, les sables, graviers et galets, sont transportés par charriage contre le fond du lit de la rivière, selon des modalités (saltation, traction, roulement) qui sont fonctions de la pente du cours d'eau, de la vitesse du courant et de la granulométrie des matériaux. En Durance, de tels éléments sont plus particulièrement empruntés aux dépôts glaciaires quaternaires ou actuels ainsi qu'aux cônes de déjection torrentiels du bassin versant supérieur.

Seuls les débits de crues sont capables de mobiliser et de transporter sur quelques kilomètres les graviers et galets. A Pont-Mirabeau les vitesses de charriage sont ponctuellement atteintes pour des débits de 180m<sup>3</sup>/s, compte tenu de la section mouillée et de la granulométrie locale.

Selon M. Baldy (1973) les apports par charriage s'élèveraient à 126 000m<sup>3</sup>/an à l'Archidiacre et 140 000m<sup>3</sup>/an à Pont-Mirabeau (3) pour une année moyenne. En 1964, M. Barge, à partir des vitesses de colmatage du Barrage du Sautet sur le Drac, estime les apports annuels dans la retenue de Serre-Ponçon à 350 000 T/an. En année particulièrement pluvieuse, le volume charrié à Mirabeau atteindrait 660 000m<sup>3</sup> pour un débit liquide voisin de 10 000 hm<sup>3</sup> (module 318m<sup>3</sup>/s). De telles mesures sont difficiles, d'où la relative divergence des résultats. En outre, le débit solide charrié n'est pas uniquement lié au débit liquide mais dépend aussi de la fréquence annuelle des crues et de leur importance. Ainsi, près de 400 000m<sup>3</sup> de matériaux seraient passés par la cluse de Mirabeau lors des crues exceptionnelles enregistrées du 8 au 24 novembre 1985, dont les débits sont restés supérieurs à 1 200m<sup>3</sup>/s pendant 4 jours.

Ces alluvions sont susceptibles de détériorer les pales des turbines. Elles ne transitent pas par les canaux usiniers et sédimentent dans les retenues des barrages de dérivation. Des dispositifs mis en action lors de grandes crues permettent, par chasse hydraulique, de rejeter en partie ce matériel dans le lit aval de la rivière.

### I.3.2. Les transports en suspension

Les particules les plus fines, de diamètre inférieur à une centaine de microns (limons, sablons), sont transportées en suspension au sein des eaux sur de longues distances grâce aux écoulements turbulents

(3) à titre de comparaison, le Rhône, au Teil, charrie 560 000m<sup>3</sup>/an d'alluvions dont 90% des éléments ont un diamètre inférieur à 12cm (Ginocchio, 1959).



pérennes, et ne se déposent que dans les zones d'amortissement hydrodynamique. En outre, une eau turbide s'écoulant dans les eaux claires et tranquilles d'une retenue continue sa progression en longeant le fond sur une certaine distance, en raison de sa masse spécifique supérieure (courant de densité).

Les marnes noires du Jurassique supérieur (bad-lands) et les schistes lustrés des massifs alpins internes sont les principales sources de matériaux qui alimentent la Durance en fraction péltique. La contribution des faciès Flysch, des marnes crétacées et des formations glaciaires quaternaires n'est probablement pas négligeable. Dans leur ensemble, ces affleurements de roches tendres représentent plus de 20% de la superficie du bassin versant supérieur et moyen. En outre, les fortes pentes des reliefs de la Haute-Durance, le couvert végétal partiellement dégradé, la relative imperméabilité des terrains et leur sensibilité à l'érosion favorisent et accentuent les phénomènes de ravinement. En dépit des efforts de reboisement et de correction des cours d'eau entrepris par le Génie Rural ou les Ponts et Chaussées, "certains torrents de l'Embrunais et de l'Ubaye ont encore la faculté de charrier des boues fluables à la suite de violents orages" (Baldy, 1973).

Les estimations du volume des alluvions transportées en suspension par la Durance sont groupées dans les tableaux I (Archidiacre) et II (Mirabeau). Les volumes sont déduits des données pondérales expérimentales en adoptant une densité de 1.5. Les résultats E.D.F. ont été obtenus "soit grâce à des prélèvements instantanés lors des crues à débits variables, soit par prélèvement continu d'un débit proportionnel à chaque instant à celui de l'écoulement de la rivière" (M. Bonnin, 1952).

Les variations annuelles de ces valeurs sont non seulement liées aux fluctuations des débits liquides, mais surtout au nombre et à l'importance des crues. L'étude de M. Bonin (E.D.F.), effectuée du 01.05.1951 au 01.03.1952, en fournit un excellent exemple (figure 12).

A l'Archidiacre, le tonnage de matériaux transportés en suspension pendant ces dix mois a été de 1 850 000 tonnes (4), ce qui correspond à une concentration moyenne annuelle de 0.75 g/l, alors que les concentrations journalières variaient de 0 à 9 g/l. En outre,, "pendant 8 jours seulement la concentration journalière a dépassé 2.2 g/l, mais pendant ces huit journées les apports en suspension ont atteint 800 000 tonnes, soit 42% du total observé". Des concentrations instantanées exceptionnelles sont connues : 40 g/l à Serre-Ponçon lors de la crue de juin 1956, et même 49 g/l à la fin du siècle dernier selon Pardé. Néanmoins, en admettant que tous les apports solides duranciens sédimentent dans la retenue (4) Pour un apport liquide de 3 550 hm<sup>3</sup> (module 112 m<sup>3</sup>/s) du 01.05.1951 au 01.05.1952 (12 mois).

/que

de Serre-Ponçon, il faudra près de 200 ans pour les alluvions colmatent les 300 millions de mètres-cubes non utilisables du réservoir. Depuis la mise en eau du barrage (16.11.59) le volume réel des dépôts correspond en fait à la moitié seulement des prévisions initiales. Mais la période d'observation est courte et quelques crues exceptionnelles suffiraient à modifier l'état actuel.

A Pont-Mirabeau (figure 12), selon la même étude (M. Bonin, 1952), les apports solides en suspension se sont élevés à 11.5 millions de tonnes (5) ce qui correspond à une concentration moyenne annuelle de 1.2 g/l, les moyennes journalières variant de 0 à 12 g/l. Des concentrations (6) instantanées de 18 g/l, atteintes pour des débits de 2 000 m<sup>3</sup>/s, représentent un débit solide de 36 T/s en suspension, soit près de 130 000 tonnes par heure ! On notera que ces données concernent une année particulièrement pluvieuse et ne sont pas prises en compte dans les graphiques établis par M. Barge (figure 13), d'où la relative divergence des valeurs fournies par cet auteur (285 g/m<sup>3</sup>) et M. Baldy (550 g/m<sup>3</sup>) pour des périodes ne différant que d'une année (1951).

Ainsi, établis pour la période 1951-1960, les tonnages annuels moyens des alluvions transportées en suspension par la Durance à Pont-Mirabeau sont de l'ordre de 3.4 millions de tonnes pour un débit liquide de 6 000 hm<sup>3</sup>, ce qui correspond à une concentration annuelle de 0.566 g/l, (valeur arrondie à 0.55 g/l). Si l'on excepte l'année 1951, dont la probabilité d'occurrence est faible, les apports solides annuels s'abaissent à 1.7 millions de tonnes (1.1 hm<sup>3</sup>) pour une concentration annuelle de 0.285 g/l.

En outre, l'étude statistique des apports solides a montré que "50% du tonnage transporté s'opérait en fait sur 3 à 4 jours pour des teneurs supérieures à 5 g/l" alors que le volume d'eau correspondant "n'était que de 3.5% de l'apport total" liquide (Baldy, 1973) et que "90% du débit solide de la rivière transitent par Pont-Mirabeau en une dizaine de jours".

La comparaison des résultats E.D.F. et Ponts et Chaussées met en évidence une diminution très nette des concentrations actuelles par rapport aux estimations anciennes, diminution de l'ordre de 40 à 60% selon les valeurs adoptées. Une telle différence ne saurait résulter d'erreurs systématiques ou de dissemblances des protocoles d'étude. Il s'agit en fait "d'une évolution naturelle du régime solide de la Durance liée aux travaux de reboisement, de défense des sols" et de correction des torrents entrepris depuis la fin du siècle dernier sous l'impulsion de l'ingénieur Surell. Il semble en effet que les crues enregistrées alors aient été plus fréquentes et plus importantes que de nos jours, en raison de la dégradation du couvert végétal.

La mise en évidence de ce phénomène est d'un grand intérêt.

(5) pour un apport liquide de 9 600 hm<sup>3</sup> (module 303 m<sup>3</sup>/s) du 01.05.1951 au 01.05.1952 (12mois).

(6) Concentration maximum connue : 54 g/l (Pardé) fin XIXe siècle.

S'il s'avérait que cette récession puisse concerner également les autres bassins versants alpins des affluents rhodaniens, une telle évolution naturelle, jointe à l'action des retenues de barrages, contribuerait à mieux expliquer le déséquilibre actuel des côtes du delta du Rhône. Les aménagements hydro-électriques ne seraient plus seuls mis en cause et la responsabilité de E.D.F. atténuée.

DEUXIEME PARTIE

LES APPORTS SOLIDES ET LIQUIDES DU CANAL USINIER E.D.F. DE ST CHAMAS

## II. LES APPORTS SOLIDES ET LIQUIDES DU CANAL E.D.F. DE SAINT CHAMAS

Le rejet des eaux turbides duranciennes dans l'étang de Berre constitue l'aspect le plus controversé de l'aménagement : les eaux douces bouleversent l'écologie du plan d'eau, alors que les limons participent à l'envasement traditionnel de la moitié nord de la cuvette et en accentuent la turbidité moyenne.

### II.1. LES APPORTS LIQUIDES

Le volume des apports liquides rejetés dans l'étang est parfaitement connu car il correspond au débit turbiné par la centrale de St-Chamas. Le tableau 3 et les figures 16a et b regroupent les données publiées chaque année par les services de production hydroélectrique de E.D.F.

Le tableau 4 groupe les valeurs des apports liquides totaux rejetés à l'étang au cours de diverses périodes établies selon des critères exposés ci-dessous. Des précisions concernant des données mensuelles ou journalières peuvent être obtenues à notre laboratoire.

De la mise en service de l'usine de St-Chamas (21 mars 1966) à la fin de l'année 1980, il s'est écoulé en 177 mois un volume de 52 375.55 Hm<sup>3</sup>, soit une moyenne mensuelle de 295.9 Hm<sup>3</sup>/mois, ce qui correspond à un module de 111.5 m<sup>3</sup>/s. La moyenne annuelle s'établit à 3550.88 Hm<sup>3</sup>/an, soit près de 3.6 fois la capacité de l'étang de Berre estimée récemment à 980 Hm<sup>3</sup>.

Si l'on excepte les 4 premières années de fonctionnement de l'usine (apports cumulés: 9 918.26 Hm<sup>3</sup>), les apports hydriques totaux, du 01.01.1970 au 31.12.1980 (132 mois), s'élèvent à 42 457.29 Hm<sup>3</sup>, soit une moyenne annuelle de 3 859.75 Hm<sup>3</sup>. Les valeurs extrêmes enregistrées varient de 2 443.97 Hm<sup>3</sup> (minimum 1973) à 6 630.21 Hm<sup>3</sup> (maximum, 1977). Pour la même période, la moyenne des apports mensuels s'établit à 321.64 Hm<sup>3</sup>, alors que les valeurs extrêmes s'évaluent de 4.85 Hm<sup>3</sup> (minimum août 1974) à 731.36 Hm<sup>3</sup> (module 273 m<sup>3</sup>/s) en mai 1978.

On notera que le volume moyen annuellement turbiné (3 550.88 Hm<sup>3</sup>) avant la mise en service du décanteur de Cadarache est sensiblement conforme à l'estimation initiale de 3 573 Hm<sup>3</sup>/an établie par Kiéner et Longuemare (1968) sur la base d'un apport liquide disponible en Durance voisin de 6 000 Hm<sup>3</sup>/an. Par contre, pour la période 1970-1980, les apports annuels moyens sont supérieurs de près de 8% à l'estimation initiale.

Cette légère augmentation résulte surtout des fortes valeurs enregistrées depuis 1977. Antérieurement à cette année, les apports totaux s'élèvent à 31 919.77 Hm<sup>3</sup> pour 129 mois de fonctionnement, soit une moyenne annuelle de près de 2 969.28 Hm<sup>3</sup>, avec 247.44 Hm<sup>3</sup> de moyenne

mensuelle. Par contre, de 1977 à 1980, en 48 mois, les apports ont été de 20 455.78 Hm<sup>3</sup>, soit une moyenne annuelle de 5 113.9 Hm<sup>3</sup>. Cela est essentiellement dû aux rejets massifs effectués en 1978 et surtout en 1977, année exceptionnelle au cours de laquelle un volume de 6 630 Hm<sup>3</sup> a été déversé dans l'étang de Berre, ce qui correspond à 6.7 fois la capacité de la cuvette.

Depuis la mise en service du décanteur de Cadarache (14.11.1980) les apports liquides se répartissent en 2 551.46 Hm<sup>3</sup> pour l'année 1981 et à près de 3 060 Hm<sup>3</sup> pour l'année 1982, les moyennes mensuelles respectives étant 212.6 Hm<sup>3</sup> et 255.1 Hm<sup>3</sup>.

Au total, de la mise en service du canal usinier à la fin de l'année 1982 (201 mois), près de 57 987 millions de m<sup>3</sup> d'eau se sont écoulés par la centrale de St Chamas, soit une moyenne de 3 461.9 millions de m<sup>3</sup> par an (module 109.7m<sup>3</sup>/s) qui représentent 3.5 fois la capacité de l'étang de Berre. Ainsi après 16 ans et 9 mois de fonctionnement, le débit annuel n'est inférieur que de 3% à l'estimation E.D.F. initiale (3 573 Hm<sup>3</sup>, 1968).

## II.2. LES APPORTS SOLIDES

Le volume des apports en suspension rejetés dans l'étang de Berre est bien connu car la charge solide des eaux transitant par le canal usinier est mesurée en continu avec la plus grande précision possible par les soins des services E.D.F..

Pour ce faire, le dispositif à prélèvement continu d'eau turbide, initialement utilisé par E.D.F. à Pont-Mirabeau, a été installé en 1959 à l'usine de Jouques. Les mesures étaient ainsi représentatives de la charge réelle des eaux s'écoulant effectivement par le canal usinier. Ultérieurement, en 1966, cet appareil fut transporté à St Chamas lors de la mise en service de la centrale, et doublé par un turbidimètre à cellule photoélectrique qui examine en permanence l'eau turbinée et donne en temps réel la turbidité. Un détecteur identique fut ensuite monté à l'usine de Jouques.

Récemment, ces dispositifs optiques ont été remplacés par "des densimètres à diapason, mieux adaptés à la gamme de concentrations à mesurer" (E.D.F.) ; un exemplaire analogue équipe depuis 1981 la tête du bassin de décantation de Cadarache pour en contrôler le rendement.

Les indications de ces appareils sont vérifiées grâce aux données pondérales fournies par les prélèvements quotidiens proportionnels aux débits turbinés à St Chamas. Ces valeurs sont seules prises en

---

★ 4 105, 885 Hm<sup>3</sup> pour l'année 1983.

★★ 62 092, 645 Hm<sup>3</sup> au 31/12/83.

compte dans le calcul des tonnages amenés à l'étang qui figurent dans le tableau 7.

### II.2.1. Historique

A l'établissement du projet initial (1950), "les services du Port Autonome de Marseille, soucieux de maintenir la navigation dans l'étang de Berre et craignant un envasement accéléré et anarchique, s'étaient opposés au rejet d'eau limoneuse" et avaient demandé que "la prise en Durance à Cadarache et la prise complémentaire à Mallemort comportent des bassins de délimonage très importants" (Baldy, 1973), afin de limiter autant que faire se pouvait les apports solides.

C'est la raison pour laquelle "le dossier de demande de concession des chûtes de la Basse-Provence (1951) prévoyait un bassin de délimonage d'une superficie de 250 ha, à Mallemort, au point où le canal industriel quitte la vallée de la Durance (figure 14) pour se diriger vers l'étang de Berre" (G. Fauroux, 1981). Afin d'améliorer le rendement de l'aménagement, ce projet prévoyait en outre un bassin d'éclusées à Cadarache, en tête de la dérivation des cinq usines de la Basse-Durance (figure 14).

Lors de la mise en enquête publique (1952), les syndicats d'exploitants agricoles riverains s'opposèrent au délimonage des eaux. A l'époque (figure 7), plus de 75 000ha de cultures maraîchères et fruitières étaient irriguées par 14 canaux totalisant un prélèvement de près de 100 m<sup>3</sup>/s (7) selon le jaugeage Nerpic de 1951 (figure 15). Le rôle bienfaisant des limons qui colmatent, améliorent et fertilisent chaque année les terrains graveleux cultivés, était bien connu. Ainsi, depuis la mise en service, au XVI<sup>e</sup> siècle, du Canal de Craonne, l'épaisseur des limons déposés en trois cents ans atteint 50 centimètres en certaines parcelles de Crau.

En outre, craignant que la charge solide des eaux de la Durance ne soit trop diminuée par l'action des retenues des barrages amonts, et afin d'éviter "l'érosion éventuelle des berges des canaux secondaires par des eaux claires", certains syndicats demandèrent même à E.D.F. de prévoir un "relimonage" épisodique des eaux d'irrigation à partir des vases emmagasinées lors des crues dans le réservoir de Mallemort (rapport A. Schuhl, 1974).

Devant de telles difficultés d'exploitation, E.D.F. différa la construction du bassin. Comme il n'était pas envisageable de réaliser un second canal réservé à l'irrigation en raison du coût de l'opération, de la superficie de terres fertiles à sacrifier, de la perte d'énergie corrélative, le rejet des eaux turbides duranciennes dans l'étang de Berre était inéluctable.

---

(7) Canal d'alimentation Marseille non compris.

Toutefois, placée dans l'obligation d'assurer le maintien de la navigabilité du plan d'eau et de limiter le volume des apports solides, E.D.F., après études complémentaires, proposa deux types de mesures.

[a] Selon les termes d'une convention signée le 19 août 1966, entre le Ministre de l'Equipement et Electricité de France, les eaux turbides du canal usinier sont restitués en Durance par l'intermédiaire de la prise complémentaire de Mallemort dès que la charge solide atteint 5g/l (la convention ne précise pas en quel point du canal usinier les mesures de turbidité doivent être effectuées). Les centrales de Salon et de Saint Chamas sont ainsi arrêtées et aucun apport ne parvient alors à l'étang de Berre. Le seuil de restitution a été fixé à 5g/l à la suite des conclusions des études effectuées en Durance, à Pont-Mirabeau, lors de la période 1951-1960 (cf. §I.3.2.). Selon les prévisions E.D.F., les quantités de limons annuellement rejetées à l'étang devaient être approximativement divisées par deux grâce à cet artifice d'exploitation, sans que pour autant les pertes d'énergie correspondantes ne soient trop importantes.

[b] La limitation de la dispersion des limons dans l'étang est obtenue, selon E.D.F., grâce à une zone de "sédimentation organisée" située au débouché même du canal usinier de la centrale de St Chamas. Ce système, "adopté après étude sur modèle réduit, consiste à favoriser les dépôts dans une zone de 800ha, en bordure de l'étang. Pour cela, le flot issu de l'usine est dévié deux fois par deux digues : une située devant la restitution dirige le courant vers l'Ouest, l'autre enracinée près de l'embouchure de la Touloubre, le renvoyant vers l'Est. Le trajet ainsi parcouru est suffisamment long (4km) pour que le freinage des vitesses, et par conséquent le dépôt des MES, ait lieu dans une zone ne s'étendant qu'à 2 km du rivage" (G. Fauroux, E.D.F., 1981).

Appliquées dès la mise en service de la centrale de St Chamas (1966), ces dispositions réalisaient apparemment un compromis entre les préoccupations divergentes des Syndicats d'Agriculteurs et des Autorités du Port Autonome, tout en préservant les intérêts énergétiques de E.D.F.. L'efficacité de ces mesures sera examinée dans la suite de ce rapport.

Le problème des apports limoneux étant ainsi résolu à la satisfaction générale semblait-il, E.D.F. n'en devait pas moins obtenir l'autorisation légale de ne pas construire le bassin de Mallemort, dont le projet figurait toujours dans la demande de concession adoptée par le Parlement.

Pour ce faire, E.D.F. déposa le 15 septembre 1967 une demande soumise, par arrêté préfectoral en date du 17 juin 1968, à Enquête Publique auprès des Communes riveraines et des Autorités départementales



compétentes. Exception faite de quelques observations émanant des Communes, l'avis favorable à la non édification du réservoir fut obtenu de tous les Organismes consultés ainsi que de tous les membres de la Commission d'Enquête (séance du 21 août 1968). Seul, en sa réunion du 15 janvier 1969, le Conseil Général des Bouches-du-Rhône refusa d'entériner le projet et demanda un complément d'information qui permette "de mieux apprécier les conséquences éventuelles du bassin de délimonage de St Chamas pour l'avenir de l'Etang de Berre".

Un rapport complémentaire fut donc communiqué au Conseil Général le 23 janvier 1971. Les résultats de ces études firent l'objet d'une nouvelle délibération en date du 14 mai 1971. La Commission Plénière se déclara alors insatisfaite par les conclusions émises, "surtout à un moment où la région de l'Etang de Berre a le devoir de se préoccuper de l'aménagement touristique de sa zone ouest et de son environnement". Cet Organisme demanda qu'un nouveau rapport plus détaillé lui soit présenté dans un délai de deux ans (1974), et accompagné de l'avis de tous les Services Départementaux concernés par ce problème.

Débordant largement du cadre de l'Enquête Publique initiale, de nombreuses études portant sur les aspects hydrologiques, biologiques et molysmologiques de l'étang furent alors conduites. Leurs résultats confirmèrent les conclusions antérieurement émises et mirent en évidence "que l'étang est malade et qu'il est promis, de par le caractère cumulatif des agressions dont il est l'objet, à une altération définitive et irréversible si l'on intervient pas" (J.M. Péres). *Bien évidemment, E.D.F. ne pouvait être considérée comme l'unique responsable de cette situation résultant pour l'essentiel de l'industrialisation et de l'urbanisation accélérées de la région toute entière* (figures 39 à 42).

Néanmoins, certains rapports montraient comment le déversement pérenne d'un débit considérable d'eau douce transformait l'étang en estuaire de type fortement stratifié, dont les fluctuations du "coin salé" anoxique bouleversaient l'écologie de la cuvette.

Selon d'autres études, 20 à 30% des apports solides échappaient à la décantation liée au bassin de St Chamas et diffusaient dans les eaux du reste de l'étang, contribuant ainsi à en augmenter la turbidité moyenne.

Enfin, quelques experts craignaient "que les dépôts de limons du bassin de décantation ne s'étendent de manière excessive en surface...ce qui risquerait de transformer en marais cette partie de l'étang". On notera que selon E.D.F. même "après huit années d'exploitation ce bassin étant sur le point d'être comblé, son nettoyage était envisagé" (M. Baldy, 1973).

Ainsi, comme les services départementaux concernés par l'Enquête

Publique formulèrent également des avis défavorables, ou tout au moins réservés, le Conseil Général, à l'issue de nombreuses délibérations, refusa à E.D.F. l'autorisation demandée, à moins que "des solutions de rechanges satisfaisantes ne soient proposées par cet organisme national"

Le nettoyage du bassin de St Chamas s'avérant impossible à réaliser en raison de l'absence de terrains idoines suffisamment proches, et nécessaires au stockage des déblais vaseux, E.D.F. proposa de transformer le réservoir d'éclusées de Cadarache en bassin délimoneur.

Cette solution reçut l'agrément de tous les Services régionaux concernés par le problème. En particulier, la Direction Départementale de l'Agriculture donna son aval car les Syndicats d'agriculteurs riverains de la Basse-Durance ne s'opposaient plus alors à un abaissement de la charge solide des eaux. En effet, divers indices d'engorgement des sols irrigués (jaunissements en prairies) étaient attribués à un début d'hydromorphie liée à une diminution de la taille moyenne des particules en suspension. La décroissance des apports limoneux pouvait enrayer cette évolution.

Ce sont les raisons pour lesquelles, l'équipement de la Durance terminé, E.D.F. entreprit dès 1976 de réaliser en rive gauche de la rivière le réservoir de Cadarache, conformément au projet d'aménagement. Toutefois, au but exclusivement énergétique de l'ouvrage, E.D.F. ajouta un rôle de décanteur destiné à limiter les apports de limons dans l'étang de Berre.

Pour ce faire, les dimensions de la retenue furent augmentées et le volume de la réserve porté à 12.3 Hm<sup>3</sup> pour une superficie de 122 ha au maximum du plan d'eau (cote 256). Les autres caractéristiques de l'ouvrage sont décrites dans l'article de G. Fauroux (1981). Diverses études - analyses granulométriques des éléments en suspension, détermination de leurs vitesses respectives de chute, comparaison avec les phénomènes de sédimentation observés dans le bassin de Saint Christophe alimentant le canal de Marseille - permettent à E.D.F. de penser que près de 65% des troubles duranciens sédimenteront dans la retenue. La mise en eau du réservoir a débuté le 14 novembre 1980 ; sa durée de vie, estimée à 24 ans, pourra être prolongée, grâce à un éventuel curage par pompe suceuse, les terrains nécessaires aux épanges existant à proximité. La construction d'un second bassin en rive droite de la Durance, sur un emplacement prévu dans le projet d'aménagement, est également possible. Sa réalisation, en cours d'étude préliminaire, doublerait la période d'efficacité du premier réservoir.

## II.2.2. Granulométrie des limons

Le tableau 5 groupe les données de diverses études effectuées pour le compte de E.D.F.. On ne retiendra que les ordres de grandeurs

des paramètres : les méthodes de défloculation des sédiments et les protocoles d'analyses n'étant pas précisés, les résultats sont difficilement comparables.

Les sédiments vaseux du lit de la Durance à Cadarache, hétérométriques, sont moins riches en fraction pélitique ( $61\% < 40\mu$ ) et plus pauvres en éléments précolloïdaux ( $25\% < 6\mu$ ) que tous les autres échantillons analysés.

Les MES du canal usinier et les sédiments du bassin de décantation de St Chamas sont essentiellement pélitiques (80 à 100%  $< 40\mu$ ), alors que 50 à 75% des particules ont un diamètre inférieur à 6 microns. Il s'agit là de valeurs maximum, caractéristiques d'échantillons exceptionnels choisis en raison de leur grande "finesse" parmi de nombreux autres prélèvements analysés dont les teneurs en fraction pélitique peuvent s'abaisser jusqu'à 70%. De telles variations sont normales et dépendent des fluctuations des écoulements turbulents liés au régime de la Durance.

Ainsi, la retenue du barrage mobile de Cadarache provoque un tri granulométrique et favorise le dépôt des éléments les plus grossiers des limons duranciens transportés en suspension. Ce phénomène est responsable de la diminution des apports solides dans l'étang de Berre.

Corrélativement, les teneurs relatives en fraction pélitique et précolloïdale des MES du canal usinier, et donc des canaux d'irrigation augmentent. Le déplacement de l'éventail granulométrique vers les petites dimensions facilite la dispersion des particules dans l'étang.

### II.2.3. Minéralogie des limons

Les teneurs en calcaire ( $\text{CO}_3\text{Ca}$  total) de la fraction pélitique des MES du canal usinier seraient voisines, selon Baldy (1973), de 35%, alors que ces proportions s'abaisseraient à 20% dans les sédiments de Cadarache.

Le tableau 6 groupe les données (8) concernant les associations de minéraux argileux libérés dans l'étang de Berre par le canal usinier E.D.F., ainsi que par les deux principaux affluents.

En crues, l'Arc et la Touloubre présentent une phase précolloïdale à smectite largement dominante (8 à 9/10) ; un peu d'illite et très peu de chlorite et/ou de Kaolinite complètent l'éventail. Cette association s'oppose à celle des MES de la Durance caractérisée par l'illite abondante (7 à 8/10), de la chlorite (2 à 3/10), et des traces de kaolinite.

En régime normal ou étiage, ce schéma doit être nuancé :

(8) Analyses diffractométriques aux rayons X effectuées au Laboratoire de Sédimentologie Marine Luminy, Marseille.

la dominance de la smectite dans les apports solides des affluents locaux s'estompe, alors que le cortège argileux des MES de la Durance, et donc du canal usinier, ne varie pratiquement pas. La plus ou moins grande richesse en illite des sédiments superficiels de l'étang de Berre constitue donc un critère de détermination de leur origine.

Divers auteurs ont montré que les minéraux duranciens sont hérités des "Terres Noires" jurassiques du bassin versant moyen, et à un degré moindre, des roches endogènes du bassin supérieur alpin. Dans l'ensemble, les sédiments du lit et les limons de débordement se caractérisent par leur teinte générale grise, parfois très localement noire.

Un peu en amont de Cadarache, les crues du Verdon sont susceptibles d'enrichir en smectite les troubles duranciens. En outre, certaines crues de la DURANCE résultent de précipitations qui affectent plus particulièrement la région des "poudingues de Valensole" situés dans la partie inférieure du bassin moyen. Dans ce cas, très rare, les eaux limoneuses traditionnellement grises présentent alors une teinte rougeâtre et la smectite s'ajoute aux minéraux usuels bien connus. Il s'agit là d'un phénomène exceptionnel qui ne saurait affecter de manière perceptible la composition minéralogique globale des rejets E.D.F. dans l'étang.

#### II.2.4. Tonnages et volumes des apports limoneux

Le tableau 3 et la figure 16c regroupent les données annuelles publiées par les services E.D.F.. Le tableau 7 fournit les valeurs des apports solides totaux au cours de diverses périodes pour lesquelles les moyennes annuelles et mensuelles sont indiquées ainsi que les écarts extrêmes. Les volumes sont déduits des masses en adoptant une densité de 1.5. Des précisions complémentaires concernant des valeurs mensuelles ou journalières peuvent être obtenues à notre laboratoire.

De la mise en service de la centrale de St Chamas (21.03.1966) à la fin de l'année 1980 (mise en eau du décanteur de Cadarache : 14.11.80) en 14 ans et 9 mois (177 mois) le tonnage TOTAL des apports s'élève à 10 176 299 tonnes (6 784 199 m<sup>3</sup>), ce qui correspond à une moyenne annuelle de 689 918 tonnes (459 945 m<sup>3</sup>) pour un apport mensuel moyen de 57 493 tonnes (38 328 m<sup>3</sup>). Comme au cours de cette période les apports liquides ont été de 52 375.55 Hm<sup>3</sup>, la concentration moyenne globale s'établit à 0.194 g/l, alors que la moyenne arithmétique des concentrations annuelles est de 0.200 g/l.

Si l'on excepte les 4 premières années de fonctionnement de la centrale de St Chamas (apports cumulés 1 941 081 tonnes), les apports totaux de cette décennie, du 01.01.1970 au 31.12.1980, s'élèvent à 8 235 218 tonnes (5 490 145 m<sup>3</sup>), soit une moyenne annuelle de

748 656 tonnes (499 104 m<sup>3</sup>). Les valeurs extrêmes enregistrées varient de 440 486 tonnes (293 657 m<sup>3</sup>, minimum 1979) à 1 641 134 tonnes (1 094 089 m<sup>3</sup>, maximum 1977). Pour la même période, la moyenne des apports mensuels s'établit à 62 388 tonnes (41 592 m<sup>3</sup>) alors que les valeurs extrêmes fluctuent de 62 tonnes (41 m<sup>3</sup>, minimum, septembre 1979) à 437 917 tonnes (291 944 m<sup>3</sup>, maximum, juin 1977).

Cette augmentation des valeurs par rapport aux données établies pour la période totale de fonctionnement résulte surtout des fortes teneurs moyennes en MES enregistrées en 1975 (291 g/m<sup>3</sup>) et 1976 (281 g/m<sup>3</sup>) ainsi que de la conjonction, en 1977, d'une hydraulicité élevée (6 630 Hm<sup>3</sup>) et d'une turbidité moyenne importante (247 g/m<sup>3</sup>). En outre, les deux premières années d'activité ne sont pas représentatives du régime moyen de production en raison de la mise en route progressive de la centrale en 1966 et d'une sécheresse quasi centenaire de l'année 1967.

Les minimum mensuels (figure 16), de l'ordre de quelques centaines de tonnes, apparaissent en août-septembre. Les teneurs en MES de la Durance sont alors très faibles, et les volumes turbinés fortement diminués car en cette période de l'année la demande en électricité est minimum.

Les maximum mensuels (figure 16), de l'ordre de deux ou trois centaines de milliers de tonnes, sont liés aux crues de la Durance qui induisent une forte turbidité dans les eaux du canal usinier : les concentrations peuvent rester alors supérieures à 1 g/l pendant 3 ou 4 jours consécutifs. Il n'est ainsi pas rare que les débits solides enregistrés en quelques journées correspondent à 70 à 80% des apports limoneux mensuels, alors que les débits liquides corrélatifs ne représentent que 10 à 15% du volume mensuel turbiné.

On notera qu'après 15 années d'exploitation, les volumes moyens de limons effectivement rejetés chaque année dans l'étang de Berre sont sensiblement inférieurs aux estimations initiales des services E.D.F.. Ainsi, en 1964, M. Barge prévoyait que les apports solides resteraient "nettement inférieurs à 1 000 000 tonnes par an et représenteront, après tassement et consolidation, un volume de l'ordre de 650 000 m<sup>3</sup>". En 1973, Baldy, bénéficiant de résultats portant sur 7 années de fonctionnement, montrait que le volume moyen rejeté "correspond aux prévisions faites, compte tenu de l'intervention de la régularisation de la rivière, au lieu des 1 800 000 tonnes calculés sur les apports naturels non régularisés", et consécutifs à un prélèvement annuel de 3 000 à 3200 Hm<sup>3</sup> d'eau durancienne contenant en moyenne 566 g/m<sup>3</sup> de MES.

Depuis la mise en eau du bassin de Cadarache, les apports

solides s'élèvent à 489 155 tonnes (326 104 m<sup>3</sup>) en 1981. et à 330 000 tonnes (220 000 m<sup>3</sup>) pour 1982, les concentrations moyennes respectives étant de 0.192 g/l et 0.108 g/l.

Au total, 16 ans et 9 mois après la mise en service de la centrale de St Chamas, ce sont 10 995 500 tonnes (7 330 333 m<sup>3</sup>) qui ont été rejetés dans l'étang de Berre au rythme moyen annuel de 656 447 tonnes (437 631 m<sup>3</sup>), et à une moyenne mensuelle de 54 703 tonnes (36 469 m<sup>3</sup>). Comme les apports liquides correspondant se montent à 57 987 Hm<sup>3</sup>, la concentration moyenne globale s'établit à 0.189 g/l.

Enfin signalons que les feuilles de données journalières ne fournissent pas toujours les concentrations notées à St Chamas, et ce pour des périodes de plusieurs jours bien que les volumes corrélatifs turbinés soient parfois très importants. Selon E.D.F., ces lacunes résultent pour l'essentiel d'un mauvais fonctionnement épisodique de l'appareil à prélèvement continu d'eau turbide. De telles pannes, rares, se traduisent nécessairement par une sous-estimation des apports mensuels limoneux. En effet, dès que la charge solide est supérieure à 2 ou 3 g/l, les masses rejetées quotidiennement à l'étang atteignent rapidement plusieurs dizaines de milliers de tonnes (cf. tableaux 10 et 11). Par contre, pour des concentrations inférieures à 0.1 g/l, les pertes de renseignements sont pratiquement négligeables.

On peut néanmoins penser que ces lacunes n'affectent pas de façon significative les moyennes plus que décennales fournies ci-dessus.

#### II.2.5. Corrélation apports solides/Hydraulicité

Disposant d'un trop petit nombre de données annuelles, Baldy, en 1974, ne pouvait que constater "la mauvaise corrélation des apports solides avec l'hydraulicité" enregistrée à St Chamas. On sait qu'une relative indépendance est normale car la turbidité des eaux est liée aux précipitations alors que les apports liquides du canal usinier dépendent de multiples facteurs : demande en électricité, irrigations, besoins en eau d'alimentation urbaine, etc.

Néanmoins, comme les paramètres climatiques conditionnent en partie les impératifs économiques, on peut, 16 ans après la mise en service, mettre en évidence une relation linéaire approchée (figure 17) liant les apports liquides (Y) et solides (X). Le coefficient de corrélation  $r = 0.718$ , sans être excellent, est significativement différent de 0 et la droite de régression a pour équation :

$$Y_{10^7 \text{ m}^3} = 0.287 X_{(10^3 \text{ T})} + 172.1 \quad (9)$$

(9) Calculs effectués par le laboratoire d'Hydrobiologie Marine de Luminy sur données annuelles à quatre chiffres significatifs.

★ 340 809,25 T (226 785,77 m<sup>3</sup>) pour l'année 1983.

★★ 11 336 040,05 T (7 556 938,99 m<sup>3</sup>) au 31/12/83.

Attribuer à l'ordonnée à l'origine une signification revient à dire que, parmi les apports liquides annuels moyens, près de 1 721 Hm<sup>3</sup> ont une turbidité nulle, ce qui est difficilement admissible. On notera cependant que les eaux duranciennes ont souvent une charge solide très faible, parfois même nulle. Ainsi, selon G. Fauroux, de 1966 à 1976, la concentration en MES est restée, en moyenne annuelle, comprise entre 0 et 0.1 g/l pendant 269.3 jours, ce qui correspond à un apport liquide moyen annuel de 1 988 Hm<sup>3</sup>.

Le tableau 8 montre que, de 1969 à 1980, la turbidité est restée inférieure à 0.01 g/l pendant 63 jours par an en moyenne et est restée comprise entre 0.01 et 0.05 g/l pendant 114 jours (débit liquide = 1217 Hm<sup>3</sup>). Au total, les concentrations n'ont pas dépassé 0.05 g/l pendant 177 jours, ce qui correspond à un volume turbiné de 1 648 Hm<sup>3</sup> responsable d'un apport solide de l'ordre de 50 000 tonnes (tableau 9) si l'on admet une concentration moyenne de 0.03 g/l. On voit ainsi que 43% des débits liquides amènent en moyenne 6 à 8% des MES rejetées annuellement dans l'étang de Berre. Dans ce domaine de variations, la courbe représentative de la fonction de corrélation présente donc probablement une allure exponentielle schématisée selon le pointillé de la figure 17.

### II.3. INFLUENCE DU SEUIL DE RESTITUTION SUR LA LIMITATION DES APPORTS SOLIDES DANS L'ETANG DE BERRE

Depuis la mise en service du décanteur de Cadarache ce problème n'a plus qu'un intérêt anecdotique. Il fut néanmoins l'objet de controverses aussi bien quant aux modalités pratiques d'application des termes de la convention qu'en ce qui concerne la validité et l'efficacité du seuil lui-même.

#### II.3.1. Fréquence d'apparition des crues solides

Les documents communiqués annuellement par E.D.F. ne précisent ni les causes des arrêts de la centrale de St Chamas ni la durée des éventuelles restitutions en Durance. En outre, les paramètres enregistrés à Jouques ne sont pas publiés. On peut néanmoins, en regroupant les informations éparses dans la documentation E.D.F., parvenir à une assez bonne approximation.

#### A. Restitution en Durance

Ainsi, à Jouques, de 1966 à 1973, selon Baldy "la concentration maximum journalière a atteint 12.4 g/l en 1968, et le nombre de jours où elle a dépassé 5 g/l pendant 24 heures n'a été que d'une seule journée en 1968 également. Par contre, des pointes d'une durée de quelques heures sont constatées en moyenne 1 ou 2 jours par an".

A St Chamas, de 1969 à 1974, les feuilles de relevés montrent des baisses de débits journaliers associées à des turbidités relativement fortes. La restitution en Durance pendant quelques heures (6h ?) semble donc avoir été nécessaire à trois ou quatre reprises pour écréter une crue solide épisodique.

Depuis lors, la fréquence d'apparition a augmenté, tout en restant faible. Le tableau 10 rassemble les données relatives aux concentrations supérieures à 5 g/l observées à Jouques (communication M. Grès, GRPH) et à St Chamas (documentation GRPH) pour la période 1975-1981.

A Jouques, en 7 années, la turbidité a atteint ou dépassé la limite de restitution pendant 360 heures, avec une légère incertitude inhérente à la crue du 9-11 janvier 1977. La moyenne annuelle s'établit donc ainsi aux environs de 2 jours et 3 heures. Si l'on excepte l'année 1981 en raison du fonctionnement, même partiel, du bassin de décantation de Cadarache, le nombre total d'heures s'abaisse à 336 alors que la moyenne annuelle, établie sur 6 années, est de 2 jours et 8 heures.

A St Chamas, de 1975 à 1981, les fortes turbidités ont entraîné l'arrêt total des rejets pendant 299 heures, soit en moyenne 1 jour et 19 heures par an. Pour la période 1975-1980, les valeurs obtenues s'établissent respectivement à 275 heures pour le total général, et à 1 jour et 22 heures d'arrêt par an pour la moyenne des six années.

#### B. Causes du non-respect de l'obligation légale

La légère disparité des résultats enregistrés à Jouques et à St Chamas montre que le dépassement du seuil de restitution n'entraîne pas toujours automatiquement l'arrêt des rejets dans l'étang de Berre.

Selon E.D.F., plusieurs raisons expliquent les anomalies exceptionnelles que l'on peut relever dans les données publiées depuis 1966 par le GRPH.

a Lors des premières années d'exploitation, lorsque la turbidité instantanée enregistrée à St Chamas fluctuait dans de faibles limites autour de la valeur de restitution, E.D.F. ne pouvait déconnecter les centrales au gré de variations fugaces. La concentration journalière résultante excédait ainsi parfois la charge légale.

En outre, quand la restitution en Durance devenait impérative en raison de la stabilisation de la charge solide au dessus du seuil admissible, une partie des eaux limoneuses déjà engagées dans le tronçon Malle-mort-St Chamas devait nécessairement s'écouler dans l'étang de Berre.

b Depuis l'installation à Jouques (1976) d'un turbidimètre à alarme sonore calée sur le seuil de restitution, la surveillance est améliorée et l'application des termes de la convention est stricte.

Les dépassements éventuels de la limite légale résultent alors de deux causes principales.

⊙ Lorsqu'une crue de la Durance se conjugue avec une crue



du Rhône susceptible d'inonder Avignon, un article de la convention autorise E.D.F. à rejeter dans l'étang de Berre les eaux turbinées quelle qu'en soit la turbidité. Cette clause de sauvegarde, destinée à diminuer les débits duranciens de 250 m<sup>3</sup>/s, est appliquée sur demande téléphonique expresse des autorités préfectorales du département du Vaucluse.

⊙ Les limons déposés dans le tronçon Mallemort-St Chamas au cours des interruptions de transit hydraulique sont nécessairement remis progressivement en suspension lors du redémarrage du complexe. La turbidité des eaux turbinées à St Chamas est ainsi augmentée d'autant et la concentration journalière peut alors légèrement dépasser la limite imposée.

### C. Moyenne générale

En première approximation, on peut admettre que, de 1967 à 1974, la restitution en Durance a été nécessaire pendant 24 heures en 1968, et pendant 6 heures au cours de chacune des 7 autres années, soit un total de 66 heures.

Nous avons montré que, de 1975 à 1980, les fortes turbidités ont entraîné l'arrêt total des rejets dans l'étang pendant 275 heures.

Ainsi, du 21.03.1966 au 31.12.1980, en 14 ans et 9 mois de fonctionnement, le total d'heures d'arrêt des centrales de Salon et de St Chamas s'élève à 341 heures. Cela correspond à une moyenne annuelle de 23 heures, très voisine de 1 jour par an (10).

On montrerait de même que à Jouques et pour la même période, la concentration est restée supérieure ou égale à 5 g/l pendant 402 heures. Cela correspond à une moyenne annuelle de 27 heures, légèrement supérieure à 1 jour par an (10).

Deux constatations majeures se dégagent de cet ensemble de données.

**a** En près de 15 années de fonctionnement du tronçon de Mallemort St Chamas, la fréquence d'apparition des crues solides est restée voisine de 1 jour par an, ce qui a entraîné l'arrêt des centrales 1 journée par an, en moyenne. Depuis 1975, ces fréquences ont pratiquement doublé, se rapprochant ainsi des résultats de l'étude effectuée en Durance (cf. §I.3.2.). En l'état actuel des données caractéristiques de périodes relativement courtes, toute extrapolation semble prématurée.

**b** Les documents publiés\* chaque année par le Groupe Régional de Production Hydraulique Méditerranée montrent que E.D.F. s'efforce  
(10) Valeurs moyennes confirmées par le GRPH-Méditerranée.

\* Sortant du cadre de la stricte étude scientifique, l'auteur du rapport émet ici un jugement de valeur qui n'engage que sa propre responsabilité. Ce faisant, il exprime son opinion pour répondre à une interrogation fréquemment formulée.

de respecter l'obligation légale qui lui est faite de restituer en Durance les eaux fortement turbides, bien qu'elle n'y parvienne pas toujours d'une manière rigoureuse en raison de divers impératifs de fonctionnement qui échappent à son contrôle.

#### D. Influence du décanteur

La récente mise en service (14.11.1980) du bassin de décantation de Cadarache ne pourra que faciliter la tâche de E.D.F.. Selon les études préliminaires, près de 65% des troubles annuellement transportés devaient sédimenter dans la retenue. L'année 1981, toute entière consacrée à la mise au point des modalités techniques de fonctionnement, n'a pas permis d'atteindre cet objectif. Par contre, les résultats enregistrés au cours de l'année 1982 confirment les estimations initiales : la turbidité moyenne notée à St Chamas n'est que de 0.108 g/l, alors que la concentration moyenne des 15 années antérieures au fonctionnement du décanteur s'élève à 0.194 g/l. En particulier, du 9 au 11 novembre, près de 270 000 tonnes de MES ont sédimenter dans le réservoir lors d'une crue de la Durance. Le 9 novembre, à l'entrée du réservoir, la turbidité s'est maintenue à 14 g/l de 12 h à 16 h. Compte tenu du temps de propagation de l'onde de flux turbide, la concentration notée le jour même à Jouques entre 20 et 22 heures n'était que de 2.4. g/l, et est restée voisine de cette valeur, à St Chamas, le 10 novembre, de 9 h à 11 h (G. Fauroux, communication orale). Le rendement du décanteur dépasse donc dans ce cas les prévisions les plus optimistes. Mais la période de fonctionnement est courte, et l'on sait que le rendement d'un bassin de sédimentation décroît lentement au cours du temps au fur et à mesure de son colmatage.

Néanmoins, seules des crues de la Durance à turbidité voisine de 20 g/l semblent désormais capables d'induire dans le canal usinier des concentrations supérieures à 5 g/l. Or la probabilité d'apparition d'une telle charge solide ne peut être que très faible\* en raison de la multiplicité des ouvrages qui régularisent le cours de la rivière. Il est donc bien évident que le maintien à sa valeur actuelle du seuil de restitution aboutirait à rendre caduque et sans objet cette clause de la convention et l'esprit même dans lequel elle fut rédigée.\*\*

II.3.2. Estimation du tonnage de limons rejetés dans l'étang de Berre en l'absence de la Convention.

Nous venons d'estimer qu'à Jouques, depuis 1966, les teneurs journalières en MES ont atteint ou dépassé 5 g/l pendant 24 heures par an en moyenne.

Si les concentrations de cette crue solide restaient égales à 15g/l pendant 8 heures et avoisinaient 7.5 g/l pendant 16 heures, et si en l'absence de la convention, la centrale de St Chamas fonctionnait alors sous une ligne d'eau de 250m<sup>3</sup>/s (900 000m<sup>3</sup>/heure), un calcul simple montre que l'apport limoneux total serait voisin de 220 000 tonnes par jour.

\* De telles crues sont néanmoins toujours possibles: à Cadarache le 27/09/81, la turbidité a dépassé 22 g/l de 14 à 22 heures, et est restée supérieure à 15 g/l, à Jouque, de 15 à 18 heures.

\*\* Cf. note infrapaginale p. 25.

Les paramètres choisis, proches de leur maximum probable, permettent ainsi d'évaluer l'ordre de grandeur maximum possible des apports solides quotidiens éventuels.

Si ces conditions se répétaient systématiquement 1 fois par an, la moyenne annuelle des rejets limoneux, majorée d'autant, serait portée à  $690\ 000 + 220\ 000 = 910\ 000$  tonnes et la part de cette seule journée de crue représenterait 24% du total annuel moyen de la période 1966/1980. Dans le cas où la fréquence des crues de ce type s'établirait à 2 ou 3 par an, les apports solides corrélatifs représenteraient respectivement 39 et 49% des apports annuels moyens, les volumes d'eau turbinés ne correspondant qu'à 1.1. et 1.7.% des apports liquides.

On retrouve ainsi des conclusions très proches de celles de l'étude E.D.F. effectuée en Durance : "50% du tonnage transporté s'opère en fait sur 3 ou 4 journées pour des teneurs supérieures à 5 g/l, le volume d'eau correspondant n'étant que 3.5% de l'apport liquide annuel" (Baldy, 1973).

Certes, les conditions choisies dans l'exemple ci-dessus sont extrêmes et, en adoptant des paramètres plus conformes au régime moyen des crues solides, les quantités de MES transportées en 24 heures peuvent être estimées à environ 150 000 tonnes. Il n'en demeure pas moins que, selon les valeurs admises, on peut situer dans une "fourchette" allant de 1.5 à 3 millions de tonnes l'ordre de grandeur probable de la masse de limons restituée en DURance depuis 1966 en application des clauses de la convention. Cela représente tout de même de 15 à 30% du tonnage total effectivement rejeté dans l'étang de Berre au cours des 15 premières années de fonctionnement.

On voit ainsi qu'en débit de son faible taux d'occurrence l'impact de l'obligation légale sur la limitation des apports limoneux est loin d'être négligeable. Son rôle est tout particulièrement mis en évidence quand, le seuil de restitution en Durance mal respecté pour des raisons diverses, des eaux fortement turbides sont déversées dans l'étang : de 1975 à 1979, en six jours, près de 340 000 tonnes de MES ont été rejetées (tableau 11) dont près de 95 000 tonnes pour la seule journée du 9 décembre 1977 (11).

### II.3.3. Validité de la limite de restitution

Rappelons brièvement que, au cours des études menées en Durance de 1951 à 1960, la concentration moyenne annuelle fut de 0.55 g/l et que la concentration journalière dépassa 5 g/l pendant trois ou quatre jours par an. Adaptés aux modalités de fonctionnement hydraulique de la chaîne de la Basse-Durance, ces résultats permettaient à E.D.F.

(11) Concentration journalière = 5.589 g/l

Volume turbiné à St Chamas = 17.10 Hm<sup>3</sup>

de penser qu'en écrétant les crues solides au seuil de 5 g/l les apports limoneux dans l'étang de Berre seraient approximativement diminués de 40%. En effet, "en éliminant les eaux à turbidité supérieure à 5 g/l, la concentration moyenne annuelle n'était plus que de 0.35 g/l. Si l'on estimait à 25% les effets de rétention des barrages, la charge solide moyenne s'abaissait finalement à 0.25 g/l" (Baldy, 1973). Ce qui, pour un débit liquide du canal usinier voisin de 3 000 Hm<sup>3</sup>/an, correspondait à un apport annuel de l'ordre de 750 000 tonnes de limons, soit 500 000m<sup>3</sup>.

Après 15 ans de fonctionnement, la concentration moyenne des eaux du canal usinier "plafonne" à 0.2 g/l, la fréquence annuelle des crues solides supérieures à 5 g/l s'établit à 24 heures par an et la moyenne des apports solides annuels de la période 1966-1980 est de 690 000 tonnes. Exception faite pour la fréquence annuelle des crues solides, les prévisions E.D.F. sont donc apparemment très voisines de la réalité.

Néanmoins, on peut se demander si la valeur intrinsèque de la limite de restitution, valable semble-t-il selon les conclusions de l'étude en Durance, fut judicieusement choisie. De nombreux responsables de l'aménagement du territoire ou élus municipaux de la région de l'étang de Berre en doutent car le rendement escompté de cette mesure limitative ne fut jamais atteint.

Bien évidemment, ce rapport ne reprend pas à son compte les arguments avancés mais les expose simplement afin de mieux faire comprendre les faits qui, selon certains auteurs, justifient le mécontentement des populations riveraines de l'étang de Berre. L'augmentation de la turbidité du plan d'eau consécutive aux rejets E.D.F. est un problème toujours actuel et les efforts que fait cet organisme pour limiter les apports limoneux en témoignent.

Tout d'abord, il est indiscutable que la convention a évité un surcroît d'apports non négligeable, estimable à 150 000 tonnes/an de valeur moyenne la plus probable. Mais ce nombre est bien inférieur aux prévisions ou tout au moins aux souhaits des autorités locales qui pensent que E.D.F. aurait pu "mieux faire".

En effet, selon certains élus, le manque d'efficacité de la convention semble résulter aussi bien d'une surestimation de la concentration moyenne des eaux duranciennes que d'une sous-estimation de l'effet de rétention des barrages sur l'importance et le nombre des crues solides.

De fait, on est bien obligé de constater une certaine divergence dans les résultats des études E.D.F.. Ainsi, pour M. Barge (1964) la turbidité moyenne des eaux de la Durance à Pont-Mirabeau, pour la période

1952-1959, s'établit à 0.285 g/l (figure 13), alors que pour M. Baldy (1973) cette turbidité est de 0.550 g/l pour la période 1951-1960 (tableau II). Certains responsables n'hésitent pas à attribuer ce doublement de valeur à l'incorporation des résultats de l'étude de M. Bonin (1952) effectuée à Pont-Mirabeau du 01.05.1951 au 01.03.1952. Au cours de cette période, en 9 mois, la turbidité moyenne de la Durance a été de 1.2 g/l pour un débit solide total de 11.5 millions de tonnes, alors que le débit liquide, en un an (01.05.1951 au 01.05.1952), s'est élevé à 9 600 Hm<sup>3</sup> (module 303 m<sup>3</sup>/s). Or, font remarquer les détracteurs, ces paramètres sont très proches de ceux qui caractérisent une année quasi-centenaire (figure 3). La prise en compte de telles données aurait ainsi "pesé" d'un poids trop grand sur les valeurs des neuf autres années en majorant la moyenne obtenue d'une façon excessive, d'où le désaccord entre MM. Baldy et Barge. De plus, la moyenne de trois années d'observations conforte ce point de vue : à Jouques, de 1961 à 1963, la turbidité ne fut que de 0.290 g/l (12).

De même, en ce qui concerne les effets de rétention des barrages, il est bien vrai que la fréquence annuelle réelle des crues solides supérieures à 5 g/l, voisine de 24 heures par an, ne correspond pas à la fréquence prévue de 3 ou 4 journées. Certains responsables, s'appuyant sur l'article de M. Baldy (1973), constatent que E.D.F. a implicitement admis le même nombre de crues solides à Mirabeau, avant la construction des barrages, qu'à Jouques, après leur mise en service.

En outre, selon les mêmes critiques, dans la séquence prospective décrite par cet auteur, l'éventuel effet de rétention du aux réservoirs n'est appliqué ni à la charge ni à la fréquence des crues solides, dont la diminution des valeurs est à leurs yeux pourtant manifeste à l'issue de quinze années de fonctionnement du canal usinier.

Tout en reconnaissant que E.D.F., ayant pour mission première de produire de l'électricité, se devait de conserver une marge de manoeuvre et ne pouvait se satisfaire de conditions d'exploitation rendues aléatoires par une période à régime durancien exceptionnel, de nombreux responsables locaux aboutissent à la conclusion suivante :

"Le volume de MES rejeté effectivement dans l'étang de Berre est resté conforme aux prévisions, sans pertes énergétiques appréciables pour E.D.F., grâce à l'apparition d'un phénomène naturel, lié probablement pour l'essentiel à l'action des barrages, et non pas en raison de l'application de la clause de la convention".

Il est bien évident que seule une analyse détaillée des études incriminées permettrait de vérifier le bien fondé de leur mise en cause et le problème reste ainsi posé.

---

(12) Les barrages de la Saulce et Salignac sur la Durance, de Saint-Croix et Gréoux sur le Verdon restant à mettre en service.

### II.3.4. Quelle limite choisir ?

● Selon certains élus des municipalités riveraines de l'étang de Berre, un raisonnement simple permet d'évaluer le seuil qu'il aurait fallu choisir pour limiter plus énergiquement les apports en MES. En l'absence de l'obligation légale, le canal usinier aurait amené un tonnage égal au tonnage réellement rejeté (690 000 tonnes), majoré de la masse imputable à la crue solide annuelle (150 000 tonnes), soit au total environ 840 000 tonnes.

Dans l'esprit de la convention, le seuil de turbidité admissible devait être à même de réduire ces apports de 40%, soit approximativement 340 000 tonnes. Le seuil à 5 g/l n'en écartant que 150 000, il fallait choisir une limite capable de supprimer les 190 000 tonnes restant. Le tableau 11 montre que, pour la période 1969-1980, les eaux turbides de concentrations supérieures ou égales à 2 g/l sont précisément responsables à elles seules d'un apport moyen annuel de cet ordre de grandeur (180 000 tonnes). La centrale de Saint-Chamas eut été arrêtée pendant 4 jours par an en moyenne pour une perte de débit liquide de 1.5% !

Certains milieux écologistes estiment même que la limite de restitution aurait dû être fixée à 1 g/l. Le tableau 11 montre que l'adoption d'un tel seuil, difficilement admissible a priori, aurait entraîné l'arrêt de l'usine de St Chamas pendant une dizaine de jours par an en moyenne pour une perte de débit liquide n'excédant pas 3.5% du total annuel turbiné. Ce faisant, le volume de limons effectivement rejeté dans l'étang eut été diminué de près de 40% !

● C'est la raison pour laquelle de nombreux responsables de l'aménagement du territoire envisagent de demander une "renégociation" des accords initiaux de limitation des apports en MES.

Certes, reconnaissent ces responsables, la mise en service du bassin de décantation de Cadarache a complètement modifié les données du problème, mais l'objectif à atteindre demeure toujours de limiter autant que faire se peut les apports en limons qui conditionnent la turbidité de l'étang de Berre.

Or, si l'on admet avec E.D.F., que 65% des MES seront retenues par le réservoir, il est bien évident que la concentration moyenne des eaux du canal usinier sera approximativement divisée par deux. Les résultats enregistrés au cours de l'année 1982 confortent cette opinion : la turbidité à St Chamas est restée voisine de 0.1 g/l au lieu de 0.2 g/l pour la période antérieure.

On peut ainsi penser que sera également divisé par deux le nombre de jour où, de 1969 à 1980, la concentration est restée supérieure ou égale à 0.5 g/l. Le tableau 11 montre que, si l'on fixait à 0.5 g/l la

nouvelle limite, cela entraînerait l'arrêt des centrales pendant 21.5 /2 jours, soit dix à onze journées par an, pour une perte de débit turbiné de 7.5/2, soit 3.5 à 4% des apports liquides totaux. On retrouve ainsi des paramètres analogues à ceux qui caractérisaient les concentrations supérieures ou égales à 1 g/l en l'absence du bassin de Cadarache, concentration précisément divisée par deux, en principe, par le fonctionnement du décanteur. Ainsi, que le raisonnement porte sur les nombres de jours ou sur les concentrations, on trouve des résultats très voisins.

● Certains responsables contestent les données E.D.F. (1981) du tableau 12 concernant "la répartition des tonnages d'apports solides en année moyenne, avant et après la mise en service du bassin".

En effet, font remarquer ces détracteurs, aucune précision n'est fournie sur les modalités d'estimation des 618 000 tonnes de limons "déposés dans l'étang". En outre, il est bien évident que ce n'est pas le tonnage moyen "déposé dans l'étang" (13) avant la mise en eau du décanteur qui doit être retenu dans le calcul du rendement, mais la moyenne annuelle des tonnages qui auraient été rejetés dans l'étang en l'absence de la Convention, car le décanteur de Cadarache est alimenté par de l'eau prélevée en Durance. Or, cette eau est "brute" et sa turbidité n'est pas écrétée à 5 g/l. Dans ces conditions, outre les apports solides liés aux prélèvements des divers canaux alimentés en aval, le bassin recevra chaque année un tonnage de limons équivalent à celui qui aurait été libéré par la centrale de Saint-Chamas en l'absence de l'obligation légale. Les données de E.D.F. relatives à la crue de la Durance du 9 au 11 novembre 1982 (cf. §II.3.1. page 26) confirment la validité de ce raisonnement.

Nous avons montré (cf. §II.3.2.) comment ce tonnage pouvait être estimé à 840 000 tonnes en année moyenne, après 15 années de fonctionnement de la Chaîne de la Basse-Durance. Si l'on admet cette valeur probable, 65% de ces MES, (selon E.D.F.) soit environ 545 000 tonnes, sédimenteront dans la retenue de Cadarache et les rejets turbides dans l'étang ne seront plus alors que de l'ordre de 300 000 tonnes/an, c'est-à-dire approximativement 43% des apports réels annuels de la période 1966/1980.

Les résultats de l'exploitation 1982 sont sensiblement conformes à ces extrapolations. Pour un débit liquide de 3 060 Hm<sup>3</sup>, les apports solides ont été de 330 000 tonnes. Si l'on raisonne sur les moyennes obtenues dans les paragraphes précédents, la figure 17 montre que pour un tel débit liquide et en l'absence du décanteur, les apports solides auraient été de l'ordre de 480 000 tonnes. Si l'on ajoute les 150 000 tonnes liées à la crue solide moyenne annuelle, le total théorique s'élève à 630 000 tonnes. Cette valeur correspond, à moins de 5% près, au double du tonnage effectivement rejeté dans l'étang en 1982.

(13) dont l'estimation est par ailleurs particulièrement sujette à de nombreuses incertitudes.

On peut retrouver cette estimation à partir de l'étude des variations probables des concentrations. En effet, la turbidité notée à la centrale de Saint Chamas restera vraisemblablement voisine de 0,1 g/l, au lieu des 0,2 g/l enregistrés au cours de la période antérieure à la mise en eau du réservoir. Cela revient à diviser approximativement par deux les apports solides moyens correspondants ( $690\ 000/2 = 345\ 000$ ).

● Ainsi, font remarquer certains élus locaux, seule l'adoption éventuelle, après études complémentaires plus précises, d'un nouveau seuil de restitution fixé à 1 g/l, ou même à 0,5 g/l, permettrait de réduire encore de moitié ce tonnage pour l'abaisser aux environs de 150 000 à 200 000 tonnes et le rendre alors conforme aux estimations EDF (210 000 tonnes).

De fait, les résultats enregistrés à l'issue des deux premières années d'exploitation du bassin de décantation semblent bien apporter des arguments plutôt favorables aux partisans de la révision des accords. Les données, établies à partir des concentrations journalières notées à Saint Chamas, sont groupées dans le tableau n° 13 (Communication Mme BERTRANDY-CAMPANA, CELCOP). Deux constatations majeures s'en dégagent.

a/ En 1981, année de transition, les concentrations sont restées supérieures ou égales à 1 g/l pendant 8 journées au cours desquelles 4,9 % des apports liquides annuels ont amené 58% (284 888 T) des rejets solides totaux. Cette disparité s'accroît légèrement en 1982 : en 3 journées, 2% du volume turbiné sont responsables de 38% (125 056 T) des apports en MES. On notera que ces résultats sont conformes aux estimations obtenues à l'aide du tableau 11 b (colonne A) : le nombre moyen de jour à concentration  $\geq 1$  g/l s'y établit à 9,5/2 et fluctue de 1/2 à 20/2 selon les années.

On voit ainsi que, en abaissant le seuil légal actuel à 1 g/l, les apports solides annuels auraient été de 204 264 T en 1981 et 204 944 T en 1982, en parfait accord, dans ces conditions d'exploitation, avec les prévisions initiales E.D.F.

Ce faisant, les pertes énergétiques subies par EDF au cours des 5,5 journées annuelles\* d'arrêt des centrales n'auraient pas été de beaucoup supérieures à celles implicitement admises par cet organisme lors de la signature de la convention prévoyant la restitution en Durance pendant 3 ou 4 jours.

b/ Le lecteur établira de même, grâce au tableau n° 13, que pour des concentrations supérieures ou égales à 0,5 g/l, les volumes turbinés en 15 jours (1981) et 9 jours (1982) représentent chacun 8% et 5,2% des apports liquides totaux et sont respectivement responsables de 67,5% (330 243 T) et 62% (203 991 T) des apports solides annuels. Ici encore les résultats sont conformes aux prévisions avancées à partir du tableau 11 b (colonne B) : le nombre de jours à concentration  $\geq 0,5$  g/l s'y établit à 21,5/2 soit 11 jours par an en moyenne. Mais l'adoption d'un tel seuil entraînerait l'arrêt des centrales pendant un nombre de journées qui fluctuerait selon les années de 6/2 = 3 à 37/2 = 18,5, provoquant alors des pertes énergétiques considérables.

---

\*  $(8 + 3)/2 = 5,5$  jours/an



● Ainsi, la mise en service du décanteur de Cadarache ne semble pas apporter de solution définitive au problème des rejets limoneux dans l'étang de Berre. Certes le bassin fonctionne bien et son rendement apparaît conforme aux prévisions. Par contre, le flux solide libéré par la centrale de Saint Chamas reste sensiblement supérieur aux estimations initiales.

C'est la raison pour laquelle diverses collectivités locales et organismes concernés souhaitent un abaissement du seuil légal actuel. Fixée à 1 g/l, la nouvelle limite ramènerait les apports solides aux environs de 200 000 Tonnes/an et entraînerait l'arrêt des centrales durant 4 à 5 journées par an en moyenne.

Certes, reconnaissent les détracteurs de EDF, ces journées, situées dans des périodes à "coût moyen ou élevé", grèveront d'une manière non négligeable le potentiel de production d'électricité. Mais "EDF accepte de mettre ses centrales en veilleuse pendant plus d'un mois par an pour satisfaire les légitimes demandes de l'agriculture" \* font remarquer les édiles qui ajoutent "le respect et l'amélioration du cadre de vie des 800 000 ou 1 000 000 habitants qui, d'ici l'an 2000, peupleront les rives de l'étang de Berre, sont tout aussi importants à nos yeux que l'irrigation des cultures maraîchères et méritent les mêmes sacrifices \* énergétiques".

Pour sa part, EDF s'étonne d'une telle demande et fait observer "qu'elle a déjà effectué un gros effort en construisant le délimoneur de Cadarache, ce qui a permis de limiter très nettement les rejets solides dans l'étang de Berre".

Dans la conjoncture économique actuelle, où les sources modulables d'électricité sont plus que jamais nécessaires à la rentabilité de cet organisme national, EDF "comprend mal que, en plus, elle soit obligée de subir une perte de production supplémentaire liée à un éventuel abaissement du seuil".

Il est bien évident qu'à ce stade le débat ne peut trouver de solution qu'au niveau de la politique énergétique nationale. \*\*

On peut toutefois penser que la mise en service probable vers la fin de cette décennie d'un second bassin de décantation, dont la réalisation est en cours d'étude préliminaire (EDF), permettra de réduire encore dans une notable proportion les apports solides et conciliera ainsi les intérêts divergents des organismes en présence.

\* Selon EDF, la très forte baisse des débits turbinés résulte de la diminution des besoins en électricité qui atteignent leur minimum en période estivale (Cf. Fig. 46).

\*\* Le lecteur intéressé lira avec précaution le récent article de Y. Lenoir & J.P. Orfeuill : "Dix ans de programme nucléaire : EDF devient un fardeau pour la France", Science et Vie, Novembre 1983, n° 794, p. 24 .

N. du R. On notera que les conclusions de cet article n'engagent que la Direction de la revue, et demanderaient à être confrontées aux études officielles EDF.

Les arguments de cet organisme national sont exposés dans l'article "EDF répond à Science et Vie", Février 1984, N° 797, p. 82-92.

## TROISIEME PARTIE

### SEDIMENTATION ET DISPERSION DES LIMONS DURANCIENS DANS L'ETANG DE BERRE

Rappelons brièvement que , quelques années avant la mise en service de la centrale E.D.F. de Saint-Chamas, l'étang de Berre était un étang à salinité variable. Les apports majeurs en eaux douces confinés dans la moitié nord du plan d'eau, et les venues d'eaux marines liées aux marées remontant le Canal de Caronte étaient miscibles. On observait le plus souvent un gradient géographique de salinité caractéristique de conditions moyennes pérennes, auquel s'ajoutaient des variations saisonnières cantonnées dans une étroite gamme. Diverses biocoenoses marines tolérantes ou saumâtres, adaptées à ces paramètres écologiques stables, se développaient dans l'étang. En particulier, les formes benthiques, principales pourvoyeuses en fraction sédimentaire organogène, montraient une pluralité de peuplements nettement établis, décrits et bien étudiés par P. Mars (thèse, 1960).

La mise en service progressive, à partir de 1966, de la centrale de St Chamas a bouleversé, par le volume considérable d'eau annuellement déversé, l'hydrologie et l'écologie de l'étang, actuellement comparable à un estuaire de type fortement stratifié. Dans les conditions moyennes (figures 20 et 38) pérennes, les eaux douces turbinées par l'usine s'écoulaient en surface vers le Sud et longent la côte ouest de l'étang. Ces eaux turbides glissent sans se mélanger, en raison de leur faible densité, au dessus d'une lentille d'eau salée (30 à 20‰) liée aux marées. Le "coin salé" est limité par les isobathes -7 ou -8 mètres ; il occupe en quasi permanence les aires centrale et sud de la cuvette. La stratification des eaux empêche tout renouvellement d'oxygène dissous dans le coin salé : les biocoenoses benthiques sont détruites en raison de l'anoxie et les sédiments présentent un faciès euxinique noir à très noir. Seules les plus violentes tempêtes de Mistral sont capables de réaliser le mélange des strates et d'assurer pour de courtes périodes l'homogénéisation des eaux de l'étang (figure 43).

Ainsi, en 1983, aucune forme marine ou saumâtre ne peut vivre sur les fonds de l'étang, exception faite pour certaines aires limitées : débouché du canal de Caronte, petits fonds sableux des ceintures littorales à Cardium (Bellan et Stora, 1976). Par contre, on observe depuis quelques années une extension rapide de l'espèce Mercierella enigmatica, Annelide Polychète qui secrète des tubes protecteurs calcaires, construisant ainsi de véritables tapis au débouché d'affluents riches en matières organiques et vecteurs de pollutions.

Les phénomènes que nous venons de résumer brièvement ci-dessus sont décrits dans de nombreux travaux cités en bibliographie, et ne sont pas abordés dans ce rapport.

Nous limiterons notre enquête à l'étude des modalités moins bien connues de la sédimentation et de la dispersion dans l'étang des matériaux limoneux qui transitent par le canal usinier. Pour ce faire, nous exposerons les résultats des travaux E.D.F., puis, grâce aux données

de nos propres recherches, nous tenterons de cerner les limites de l'influence des limons duranciens sur les fonds de l'étang de Berre.

### III.1. LE BASSIN DE DELIMONAGE DE SAINT-CHAMAS

Rappelons que E.D.F. ne construisit pas le bassin de décantation de Mallemort prévu dans le projet initial d'aménagement de la Basse-Durance pour des raisons essentiellement techniques. En particulier, l'emplacement du réservoir dans le lit même de la rivière fut jugé peu judicieux car il entraînait de nombreuses difficultés d'exploitation. C'est la raison pour laquelle, soucieuse de limiter la dispersion des apports solides dans l'étang de Berre et d'assurer le maintien de la navigabilité du plan d'eau, E.D.F. proposa de favoriser les dépôts de limons dans une "zone de sédimentation organisée" située au débouché du canal usinier de Saint-Chamas. La décantation efficace des MES a été obtenue à l'aide d'ouvrages mis au point au Laboratoire des Milles sur modèle réduit au 1/500° (R. Longuemare, 1965).\*

#### III.1.1. Modalités de fonctionnement hydrodynamique

Le Bassin de délimonage sous-marin, d'une superficie de 800 ha et d'une profondeur maximum initiale de 5m, est délimité par deux digues en enrochements. L'une de 250m de long, située en rive gauche de la restitution de l'usine, dévie les écoulements vers l'ouest le long de la rive de l'étang. La seconde, longue de 575m et implantée en rive gauche de la Touloubre, renvoie le courant vers l'est.

Sur modèle réduit\*, un vaste tourbillon dans lequel les vitesses se ralentissent progressivement apparaît alors (figure 24). Toujours, selon E.D.F., "le trajet ainsi parcouru par l'écoulement (environ 6 km) le long de la rive nord de l'étang permet une bonne décantation des limons grâce au freinage efficace des vitesses ... (de 1.5m/s à 0.5m/s) dans le gigantesque Vortex en coquille d'escargot créé par les digues défectrices".

Les photographies aériennes dont on dispose ou les observations in situ ne confirment pas ce déplacement annulaire des eaux à l'intérieur du bassin de délimonage tel qu'il est décrit dans les rapports E.D.F. et mis en évidence à partir de clichés du modèle réduit (figure 24).

Dans les conditions moyennes de fonctionnement en vraie grandeur, le courant défecté par la première digue se dirige initialement vers l'Ouest, puis il oblique rapidement pour aller butter contre l'extrémité de la seconde jetée. En ce point, lorsque les débits le permettent, il s'infléchit franchement au Sud par temps calme et rejoint la rive occidentale de l'étang. Par Mistral, l'écoulement a tendance à s'étirer au

---

\* Cf. article R. Longuemare, "la Houille Blanche", N°4, 1965, p. 93-96.

Sud-Est dans le lit du vent, alors que par temps de pluie ces eaux sont déviées vers le Nord-Ouest par dérive superficielle.

Par forts débits, voisins de 200m<sup>3</sup>/s, l'allure du panache turbide est encore plus caractéristique par son ampleur et sa netteté, comme le montrent les figures 22 et 23 obtenues à l'aide de documents IGN.

Par contre, pour de faibles débits de l'ordre de quelques dizaines de m<sup>3</sup>/s, le cheminement des rejets est mal visible et semble alors se rapprocher du modèle proposé par E.D.F. (figure 33).

### III.1.2. Les dépôts du Bassin de délimonage

Afin d'être à même d'en apprécier le bon fonctionnement, E.D.F. a confié au Service Hydrographique de la Marine le soin de suivre l'évolution des fonds du bassin de délimonage grâce à des relevés effectués en 1962, 1966, 1972 et 1980.\* La comparaison des bathymétries successives ainsi obtenues permet de cerner les aires d'égaux épaisseurs de dépôts. Les figures 21 et 25 fournissent les courbes de niveau des limons en l'état 1972 et 1980.

Dans les deux cartes proposées, les courbes délimitent des surfaces allongées selon le lit des écoulements turbides et en matérialisent le cours le plus fréquemment observable pour des débits moyens ou forts (figure 20). Ainsi, 14 années après le début des apports, un exhaussement supérieur à 50cm intéresse près de 400ha de fonds s'étendant jusqu'à 2.5km du rivage, alors que 50ha se sont surélevés de 2m, dans une zone d'amortissement hydrodynamique née de la rencontre de l'axe du panache turbide avec l'extrémité de la seconde jetée de déflexion.

Ces cartes, trop schématiques, ne permettent pas d'établir avec certitude une atténuation de la vitesse de croissance des dépôts corrélativement à la diminution des profondeurs moyennes. Néanmoins, l'efficacité globale du bassin de délimonage peut être estimée grâce aux données E.D.F..

### III.1.3. Estimation du rendement du bassin

Selon G. Fauroux (1981), depuis la mise en service, "le volume total déposé en Décembre 1980 est de l'ordre de 3.7. millions de m<sup>3</sup>". La compétence de E.D.F. étant bien connue, on peut admettre cet ordre de grandeur. Néanmoins, cette estimation, établie à partir de données cartographiques, ne correspond pas automatiquement à un volume égal de matériaux libérés par la centrale de Saint-Chamas. En effet, on sait que les volumes de MES rejetées sont déduits des valeurs pondérables expérimentales en adoptant une densité de 1.5. Malheureusement, on

\* L'étude 1980 a été réalisée par le Port Autonome Marseille (Rapport ME.48GR.5148, Etang de Berre-St Chamas: courbes bathymétriques-échelle 1/5 000°).

ne peut attribuer uniformément une telle masse spécifique moyenne à tous les niveaux des dépôts en raison des phénomènes naturels de compaction en surface et de tassement sous le poids des sédiments surincombants. Un volume donné de dépôts ne représente donc pas l'équivalent du volume apporté car la densité moyenne des sédiments est supérieure à 1.5.

Or on sait que les sédiments fins perdent progressivement leur eau interstitielle et passent lentement d'un état fluide à un état plastique puis solide. Ainsi, leur concentration moyenne superficielle  $C_s$  varie comme le logarithme du temps de dépôt  $t$  selon la relation

$$C_s = A \log t + B \quad (14)$$

les paramètres  $A$  et  $B$  étant liés à la granulométrie, la minéralogie des sédiments ainsi qu'à d'autres propriétés physico-chimiques. De même, il existe un gradient de concentration dans les dépôts entre la surface et une profondeur donnée  $H$  d'enfouissement tel que :

$$C_H = C_s + K \log H \quad (14)$$

On peut ainsi penser que les niveaux les plus inférieurs des dépôts de Saint-Chamas ont une densité plus proche de 2 que 1.5. (15). La prise en compte de ces phénomènes conduit à majorer les données E.D.F. de 10 à 15%, et à admettre que le volume actuel des atterrissements de Saint-Chamas correspond à au moins 4 millions de m<sup>3</sup> de MES rejetées par le canal usinier.

Comme au cours des 14 premières années de fonctionnement les apports solides ont été de l'ordre de 6.8 millions de m<sup>3</sup> (densité 1.5) on voit que, au minimum, près de 2.5 millions de M<sup>3</sup>, soit environ 37%, de matériaux duranciens se sont "échappés" de la zone de sédimentation organisée telle qu'elle est décrite dans les études E.D.F. et ont diffusé dans le reste du plan d'eau.

On notera que ces résultats sont très approximatifs car les variations bathymétriques d'amplitude inférieure à 50 cm ne sont pas mises en évidence. Compte tenu de la précision des sondages, cette détermination aurait été possible. Une telle analyse montrerait sans doute que le domaine réel de dépôt des limons déborde largement de l'aire qui leur était impartie. On peut admettre en première analyse qu'une auréole, dont l'épaisseur diminue régulièrement et tend vers zéro, cerne selon une bande affine l'isopaque 50 de la figure 25. Mais

(14) Voir les articles de C. Migniot (LCHF), La Houille Blanche, n°7/1968 et n°1/1977.

(15) Les résultats d'une étude effectuée en 1975 par CEMERX pour le compte de E.D.F. étayent cette opinion : la densité humide apparente, de 1.1 pour les premiers centimètres superficiels, passe rapidement à 1.6/1.7 pour des sédiments situés à -0.8m du sommet des sondages (figure 26).

le contact entre les matériaux allochtones amenés par le canal usinier et les sédiments naturels de l'étang est, en l'absence d'étude précise, impossible à établir a priori. Nous montrerons dans le paragraphe suivant que le domaine de dépôts privilégiés des limons duranciens déborde largement des limites de la zone de sédimentation organisée et s'étend sur une grande partie des fonds de la moitié nord de l'étang. Il est bien évident que le volume de tels dépôts ne peut être pris en compte dans le calcul des rendements du bassin de délimonage.

Ainsi, en simplifiant à l'extrême et en adoptant avec vraisemblance des paramètres plus "optimistes" que E.D.F., on peut dire que le bassin sous-marin de délimonage retient environ les 2/3 des rejets limoneux du canal usinier de Saint-Chamas.

En adoptant strictement les données E.D.F., le volume de limons soustrait à l'influence immédiate de la zone de sédimentation provoquée est de l'ordre de 3.1. millions de m<sup>3</sup>, soit 45% des rejets solides, et le rendement du bassin de délimonage s'abaisse alors à 55%.

Dans l'hypothèse la plus favorable, le rendement atteint est analogue à celui du récent décanteur de Cadarache ; dans la seconde éventualité, compte tenu des modalités de sédimentation dans un bassin largement ouvert, ce rendement demeure satisfaisant. De toute façon, aucun bassin de décantation à fort débit ne peut retenir la totalité des troubles transportés : les eaux issues du délimonneur de Saint Christophe (Société des Eaux de Marseille) présentent parfois des turbidités résiduelles voisines de 0.03 g/l, ce qui constitue presque la limite admissible pour une eau potable.

Ce sont les raisons pour lesquelles on peut adopter les conclusions E.D.F. dont tous les travaux tendent à montrer que, compte tenu des possibilités et des limites d'efficacités inhérentes à de tels ouvrages, "le bassin de délimonage fonctionne bien" et que "14 années après la mise en exploitation les hypothèses prises au départ ont été confirmées" (G. Fauroux, 1981). On peut toutefois déplorer que ce bassin ne puisse être nettoyé (16) par dragage ou pompe suceuse afin d'en maintenir le rendement au taux atteint dans la première décennie de fonctionnement.

### III.2. SEDIMENTATION ET DISPERSION DES LIMONS DURANCIENS DANS L'ETANG DE BERRE

Les résultats de diverses études sédimentologiques, minéralogiques ou géochimiques des sédiments superficiels de l'étang permettent

---

(16) L'opération n'est pas rentable financièrement : aucun acquéreur agricole en raison du coût du transport des déblais vaseux pourtant fertiles, et aucun terrain suffisamment proche nécessaire au stockage n'a été prévu par E.D.F..

de définir un domaine de dépôts plus particulièrement tributaire des rejets solides E.D.F..

A l'aide de documents IGN (photographies aériennes, thermographies infrarouges) on peut cerner des aires plus lointaines susceptibles d'être atteintes et influencées épisodiquement par des apports turbides atténués.

### III.1.2. Evolution sédimentologique des fonds

Les cartes proposées mettent en relief la migration des aires propices au dépôt des éléments fins en fonction du déplacement corrélatif des sources majeures d'alluvions limoneuses.

**a** La figure 27a schématise l'état des fonds en 1916, reconstitué selon les données fragmentaires de A. Chevallier et les limites granulométriques utilisées par cet auteur. L'Arc débouche de son delta (17) en position latérale : le domaine vaseux (99% de fraction inférieure à 0.113mm) se trouve alors en position axiale, dans le lit du panache le plus probable des crues de cet affluent.

**b** Les figures 27 b et c visualisent respectivement l'état des fonds en 1962, antérieurement aux rejets E.D.F., et en 1976, après dix ans de fonctionnement de la centrale de Saint Chamas et alors que près de 7 millions de tonnes de limons ont été rejetés ( $4.7.10^6 m^3$ ).

Dans la première (b), la vaste extension du domaine de vases à 99% de fraction limoneuse ( $125\mu$ ) s'oppose à la faible étendue de secteurs occupés par les faciès mixtes qui bordent les deltas ou sont d'origine biologique (bancs d'huitres et de moules). L'Arc débouche alors vers le Nord-Ouest, en situation distale : l'aire de vases quasiment pures se présente en position médiane (99.9%). On peut penser que ces dispositions résultent de l'interaction de quatre facteurs :

- ⊙ abri relatif de la moitié nord du plan d'eau,
- ⊙ concentration des sources d'apports dans le secteur septentrional,
- ⊙ rôle de filtre joué par les vastes herbiers de Zostères qui ceinturent le littoral,
- ⊙ dispersion au large des seuls éléments fins et sédimentation dans la zone d'amortissement hydrodynamique liée au maximum local de profondeur.

Dans la dernière carte (c), le domaine le plus riche en éléments fins (99.9%) a migré au droit de la principale source d'apports limoneux et mime les déformations fréquemment observables du panache turbide durancien. Une bande transverse, à teneur en fraction péltique anormale-

---

(17) Après avoir migré du Sud vers le Nord le long de la rive de son delta, du Moyen-Age au XVIIIe siècle (figure 37).



ment faible, correspond approximativement à la frange de fluctuations Nord-Sud du front du "coin salé", de part et d'autre des courbes -8 et -7m. On sait que par suite du déplacement des masses d'eau résultant des marées, divers mécanismes de transferts des particules sont observés dans les estuaires stratifiés. En particulier, les éléments organogènes sont peu à peu repoussés et s'accumulent au front d'extension du coin salé, car les fragments apportés par le flot sont plus difficilement remis en mouvement par le jusant. En outre, la récente mise en place de deux "Pipes" (P) qui traversent l'étang selon des directions très voisines de cette structure sédimentaire, a probablement perturbé les sédiments superficiels en libérant de nombreux débris coquilliers ultérieurement remaniés.

c Les deux exemples de la figure 28 sont tout particulièrement représentatifs de l'influence des rejets solides du canal E.D.F. de Saint-Chamas sur l'évolution des sédiments de l'étang.

En 1962 (carte A), les zones riches à 55% en fraction  $20\mu-2\mu$  s'étendaient soit au large du delta de l'Arc en tête des apports limoneux de cet affluent, soit de part et d'autre du delta de la Touloubre.

En 1976 (carte B), on observe une répartition nouvelle : l'aire à 55% occupe une grande partie du domaine médian septentrional et dessine une figure quadrilobée centrée sur un secteur à forte teneur (60%) qui déborde largement de la zone de sédimentation organisée.

De même, de 1962 à 1976, le diamètre des particules de rang 16 (dans le sédiment inférieur à 31 microns) a paradoxalement augmenté (18). Avant les rejets E.D.F. (carte C), les éléments les plus fins ( $0.9\mu$ ) étaient cantonnés dans une aire triangulaire alimentée semble-t-il pour l'essentiel par les apports de l'Arc, en raison de l'orientation de son grand axe NE-SW. En 1976 (carte D), ces particules sont refoulées à l'Est d'un domaine à  $1.1\mu$  qui épouse manifestement le tracé des écoulements par temps calme des eaux turbides duranciennes (figures 23 et 32). Enfin, au droit des apports dominants, les particules les moins ténues ( $1.3\mu$ ) se concentrent dans un secteur dont les contours évoquent les répartitions de la carte B.

En résumé, les résultats des études sédimentologiques succinctement évoquées ci-dessus concordent et montrent que la moitié nord de l'étang de Berre se comporte comme un piège à sédiments. On peut ainsi penser que la majeure partie des 2.5 à 3 millions de m<sup>3</sup> de limons "échappés" du bassin de décantation E.D.F. sont retenus dans cette zone d'hyper-sédimentation. Malheureusement, ces études ne permettent pas de tracer

---

(18) Dans les deux études (1962 et 1976) les analyses granulométriques en milieu aqueux ont été effectuées par le même chercheur selon des protocoles d'analyse identiques (méthode Mériaux) : la comparaison des résultats est donc valable.

une limite précise entre dépôts d'origine durancienne allochtone et sédiments traditionnels issus du bassin versant naturel de l'étang (figure 2).

### III.2.2. Minéralogie de la phase argileuse des sédiments

Rappelons brièvement (cf. §II.2.3.) que l'Arc et la Touloubre libèrent une association de minéraux argileux à smectite largement dominante qui s'oppose au cortège caractéristique à illite et chlorite du canal usinier de Saint Chamas. Les variations des proportions relatives de ces minéraux dans les sédiments superficiels de l'étang mettent ainsi en évidence l'influence des apports solides E.D.F..

En 1962 (figure 29, cartes A et B), la moitié nord de la cuvette de Berre se caractérisait par sa richesse en smectite, plus particulièrement abondante au débouché même de l'Arc, ou à un degré moindre, dans les aires centrales et orientales des fonds. Par contre, l'illite dominait dans une étroite bande de sédiments cantonnés dans le golfe de Saint Chamas ou le long des rives du delta de la Touloubre. Cette dualité de répartition s'explique facilement : en régime normal et en étiage le cours de cet affluent est alimenté pour l'essentiel par le surplus des eaux d'irrigation prélevées en Durance (figure 7).

En 1976 (figure 29, cartes C et D), l'association à illite et chlorite caractéristique des limons duranciens a remplacé la smectite héritée des paysages sédimentaires du bassin de l'Arc. Exceptions faites pour l'embouchure de cet affluent et les aires de fluctuations du front du coin salé, la substitution est évidente au droit des rejets du canal de Saint-Chamas et demeure perceptible dans toute la zone médiane, là où la smectite dominait jadis.

Ainsi, les minéraux argileux cardinaux, smectite et illite, se comportent comme de véritables traceurs dont le cheminement révèle les modalités de sédimentation des apports E.D.F.. On peut grâce à eux délimiter approximativement les domaines soumis aux influences respectives de l'Arc d'une part, et des vecteurs (canal de Saint-Chamas, de Craonne et des Alpilles) d'eau durancienne d'autre part (figure 30).

### III.2.3. Chimie des sédiments superficiels

Ici encore nous nous bornerons à mettre en évidence, grâce à deux exemples hautement significatifs, la contribution des apports E.D.F. à la pollution des sédiments de l'étang, ou au contraire, leur rôle dans la "décontamination" des fonds. De telles études améliorent notre connaissance des aires majeures de dépôt des matériaux rejetés par les divers affluents locaux.

Les eaux turbinées par la centrale de Saint-Chamas sont dans l'ensemble "propres" et, caractère important, convenablement oxygénées. Néanmoins, drainant un bassin versant à vocation agricole, la Durance en véhicule les polluants caractéristiques. Parmi ceux-ci, le Lindane ( $\gamma$ HCH) est considéré comme le plus représentatif.

En 1976, les sédiments superficiels de l'étang sont plus particulièrement contaminés par cet organo-chloré dans la moitié nord de la cuvette. La figure 31b montre à l'évidence que "l'apport majeur est le fait du canal E.D.F. dont les eaux et le matériel particulaire se sont chargés en Lindane dans le bassin de la Durance" (Arnoux A.). Cet auteur ajoute : "bien que la part des activités rurales soit essentielle dans cette pollution, il ne faut pas pour autant éliminer la possibilité d'une contamination industrielle en relation avec la fabrication de ce produit". Précisons le sens de cette allusion : une telle industrie existe sur le cours moyen de la Durance ; en l'absence de données et d'études précises on ne peut mettre nommément en cause cette usine. La production incriminée ayant été abandonnée depuis 1980, la teneur en Lindane des eaux du canal E.D.F. a diminué de moitié.

A l'opposé, les rejets du canal usinier exercent bien souvent une action bénéfique sur le plan d'eau. Ce phénomène est particulièrement net en ce qui concerne les métaux lourds des sédiments superficiels (Hg, Pb, Cu). Ainsi, la figure 31a traduit bien "l'influence décontaminante du canal E.D.F., nettement marquée pour le plomb" (A. Arnoux, 1976) dont les concentrations sont les plus faibles de tout l'étang dans la zone de sédiments directement tributaires des apports turbides duranciens, au droit de la centrale de Saint-Chamas.

Le lecteur aura certainement remarqué que les limites des zones d'influences, telles qu'elles ressortent des données de la sédimentologie, de la minéralogie et de la molysmologie, ne sont pas superposables. Une telle diversité ne saurait surprendre car les phénomènes mis en cause, nombreux et fluctuant au gré de conditions hydrologiques et météorologiques variées, interfèrent avec la multiplicité des sources d'apports dont les caractéristiques sont parfois très voisines. Il est bien évident que les rejets parasites des affluents locaux masquent les limites d'extension probable des rejets E.D.F. et ne permettent pas de cerner avec précision le domaine réel de sédimentation des limons duranciens. Seules les lignes de forces majeures de la sédimentogenèse sont décelables selon la dominance plus ou moins nette d'un type donné de matériel particulaire dans les dépôts superficiels.

#### III.2.4. Les données de la photodétection

Seuls les documents les plus caractéristiques qui visualisent de manière indiscutable les limites d'extension possibles des rejets E.D.F. sont reproduits ici. De telles données fournissent aux biologistes

des indications sur les diverses zones susceptibles d'être atteintes et soumises à l'influence épisodique d'apports duranciens atténués, sans que l'on puisse pour autant en apprécier l'impact sédimentaire réel.

Les photographies aériennes schématisées par les figures 22 et 23 ou, mieux encore, les thermographies en infra-rouges lointains (figures 32 et 33) traduisent bien ces phénomènes car les eaux turbides et/ou froides amenées par la centrale de Saint-Chamas sont facilement identifiables sur les clichés originaux.

Selon les débits du canal usinier, les eaux rejetées (lentilles superficielles I et II) restent cantonnées dans la moitié nord de l'étang, ou au contraire envahissent la quasi-totalité de la cuvette, n'épargnant que le plan d'eau de Vaïne isolé par la pointe de Berre. Malheureusement, aucune étude de la concentration en MES de ces masses d'eau, de la taille moyenne des particules et de leur nature minéralogique n'a été réalisée à ce jour.

Des variations quotidiennes ou hebdomadaires de débit et de turbidité permettent de distinguer dans le jet flottant plusieurs lentilles emboîtées qui se chevauchent partiellement en se déformant. Elles dérivent alors vers le golfe de Saint-Chamas ou se dirigent plus généralement au Sud ou au Sud-Est selon le vent dominant, à des vitesses qui sont bien évidemment fonction des paramètres météorologiques. En particulier, pour de forts débits de l'ordre de 200 à 250 m<sup>3</sup>/s (20 hm<sup>3</sup>/jour) et pour des teneurs en MES voisines de 0.5 g/l, le panache nettement visible par sa turbidité se retrouve au niveau des Martigues dans un délai de 24 à 36 heures après son émission par la centrale.

En raison de l'éloignement de leur source, les particules en suspension ne peuvent qu'être très ténues (quelques microns) et leur concentration faible ; elles n'en communiquent pas moins une teinte caractéristique au plan d'eau. En outre, la présence du ménisque salé, sur lequel glissent sans se mélanger les eaux douces vectrices de la fraction précolloïdale, semble s'opposer dans ce secteur à la sédimentation des matériaux duranciens, ou tout au moins l'atténuer fortement.

C'est la raison pour laquelle, parvenue dans la moitié sud de l'étang, une part non négligeable de ces apports s'échappe très probablement vers le Golfe de Fos par l'intermédiaire du Canal de Caronte.

### III.3. Dispersion des limons duranciens dans le Golfe de Fos

Afin d'apprécier les perturbations apportées par ses rejets dans le fonctionnement hydrologique du canal de Caronte, E.D.F. a confié l'étude des phénomènes d'échanges des masses d'eau marine, saumâtre

ou douce, entre le golfe de Fos et l'étang de Berre, au Laboratoire National d'Hydraulique. En outre, diverses photographies ou thermographies aériennes ainsi que plusieurs photo-satellites, fournissent des données complémentaires sur les modalités de sortie des eaux superficielles dont les déplacements sont ainsi bien connus.

Par contre, on ignore à peu près tout de l'impact sédimentaire des apports en MES car aucune étude de la charge solide transitant par le canal de Caronte, de la taille des particules en suspension et de leur minéralogie n'a été réalisée.

Néanmoins, en première approximation qualitative, on peut assimiler les domaines soumis à l'influence éventuelle des limons duranciens aux zones d'extension et de déformations des rejets liquides. On notera cependant que la turbidité des eaux issues de l'étang de Berre n'est pas uniquement liée à leur charge minérale, mais résulte également d'une forte productivité organique (zoo et surtout phytoplancton). En outre, les proportions respectives de matériel particulaire attribuable aux éléments allochtones duranciens ou libéré par les bassins versants traditionnels (Arc, Touloubre, etc) ne sont pas connues. Il est donc bien difficile dans ces conditions d'évaluer, même de façon très approximative, les responsabilités de E.D.F. dans d'éventuelles modifications de la sédimentogenèse du golfe de Fos. Enfin, seule une faible partie (10% ?) des 7 millions de m<sup>3</sup> de limons déversés dans l'étang de Berre depuis la mise en route de la centrale de Saint-Chamas a vraisemblablement été rejetée dans le golfe de Fos. On peut douter de l'importance de ce phénomène ou tout au moins penser qu'il est trop tôt pour le déceler facilement.

### III.3.1. Les nappes de dilution dans le Golfe de Fos

A la suite de campagnes de mesures et d'analyses en modèles mathématiques, le LNH Chatou a établi les formes et les positions des fronts des rejets selon les divers paramètres des masses d'eau en présence : débits du canal de Caronte et de la centrale de Saint-Chamas, salinité et niveau de l'interface eau douce/eau salée, direction et vitesse du vent dominant. Ces schémas, reproduits dans les figures 34a et 36, fournissent des indications précieuses. Ils montrent à l'évidence que les eaux issues de l'étang de Berre peuvent éventuellement par gros temps de Sud-Est recouvrir tout l'intérieur du golfe de Fos ou s'avancer par temps calme jusqu'au littoral de la flèche de la Gracieuse.

Au contraire, par fort Mistral, les eaux turbides s'étirent dans le lit du vent et viennent longer les rives de la chaîne de la Nerthe pour sortir du golfe de Fos et s'étaler sur le plateau continental.

On notera que ces extrapolations mathématiques sont en bon

accord avec les données de diverses études hydrologiques et bio-chimiques in situ. De plus, les photographies et thermographies aériennes reproduites dans la figure 34b confirment l'allure générale des déformations majeures des nappes de dilution superficielles issues de la passe de Port-de-Bouc, telles qu'elles ressortent des données LNH.

### III.3.2. Les nappes de dilution au large du Golfe de Fos

Seules les photographies prises par satellites permettent de visualiser les dérives vers le large des eaux turbides et polluées issues du Rhône, du golfe de Fos et de la rade de Marseille.

En dépit d'un grand nombre d'études hydrologiques, molysmologiques et biologiques, on ne possède pratiquement pas de renseignement sur la charge particulaire minérale de ces effluents. Les rares données dont on dispose concernent surtout les sédiments.

Les schémas de la figure 35, établis d'après photographies, décrivent quelques types de situations caractéristiques par vent de Nord-Ouest et particulièrement fréquentes.

Les rejets du canal de Caronte, des installations portuaires et du canal Saint-Louis fusionnent en une large tâche qui recouvre la totalité du golfe de Fos. Entraînés vers le Sud par dérive superficielle, ces apports se fondent dans les eaux turbides rhôdaniennes qui dessinent un vaste éventail au dessus du plateau continental provençal. La limite orientale s'infléchit alors vers le Sud-Est, traverse la rade de Marseille et rejoint ensuite les nappes de pollution issues de cette ville. L'ensemble reste perceptible jusqu'à plus de cent kilomètres du littoral.

En l'absence d'information, on ne peut qu'assimiler les domaines de sédimentation des MES aux zones d'extension des nappes turbides. Dans cette optique, il est bien évident que, malgré un trajet différent de celui de leurs homologues livrés par le bassin versant naturel, les éléments duranciens transitant par l'étang de Berre rejoignent les aires de dépôts traditionnellement soumises aux apports rhôdaniens et retrouvent en définitive la même destinée.

## CONCLUSION

"La défense de la nature ne peut se concevoir ni par un impossible retour au passé, ni en faisant obstacle aux nécessaires progrès de la science et de la technique"

KALINSKY M.

25ème Congrès du Mouvement  
National de lutte pour  
l'Environnement  
25/26 février 1984

Au terme de ce rapport, on peut tenter de hiérarchiser les principaux résultats mis en évidence en les intégrant dans le cadre plus général de l'évolution globale de l'étang de Berre.

Tout d'abord le lecteur notera que l'ensemble des études dont nous avons eu connaissance s'accorde pour considérer l'aménagement de la Durance comme une réussite technique, économique et sociale indéniable. Après plus de vingt cinq années de fonctionnement le bilan apparaît largement positif. Le succès de cette réalisation comparable - toute proportion gardée - à l'équipement de la vallée du Tennessee doit être souligné car il fait honneur à Electricité de France.

Néanmoins, en dépit de sa conception très élaborée, ce complexe présente un certain nombre de points faibles, dont le principal réside dans le choix de l'étang de Berre comme lieu de rejet final des eaux turbinées. En effet, toutes les études d'impact réalisées à ce jour tiennent les apports liquides et solides du canal usinier pour responsables du bouleversement de l'équilibre écologique lentement apparu dans l'étang au cours du siècle dernier lors des approfondissements successifs du chenal maritime de Caronte.

### LES APPORTS LIQUIDES.

Nous avons montré comment le flux liquide, voisin en moyenne de 3 500 Hm<sup>3</sup>/an, est trop important pour pouvoir être "assimilé" par la cuvette. Depuis 1966 l'étang se comporte comme un estuaire de type fortement stratifié, où deux masses d'eau de salinités différentes restent en permanence superposées. Si les formes planctoniques ou nectoniques s'accommodent tant bien que mal de cette situation, il n'en n'est pas de même pour les biocoenoses benthiques, irrémédiablement détruites par l'anoxie des niveaux inférieurs.

Ce phénomène entraîne une raréfaction du stock organogène des sédiments, dont la fraction bioclastique est actuellement représentée pour l'essentiel par les vestiges des tests des thanatocoenoses. Leur disparition inéluctable contribuera, à terme, à accroître l'envasement apparent des fonds.

En outre, les biologistes déplorent tout autant l'irrégularité des débits que leur volume global. Les fluctuations saisonnières, mensuelles, voire hebdomadaires, sont génératrices d'une instabilité permanente des conditions de milieu. Dans la moitié nord du plan d'eau, ces variations, trop importantes, s'opposent à l'installation et au développement de la plupart des formes de vie.

Pour obvier à ces situations, diverses solutions ont été proposées. Selon certains observateurs, la plus simple consisterait à maintenir les débits EDF les plus proches possibles d'un seuil dont la définition précise permettrait de fixer le front du coin salé dans une position stable. Mais selon les responsables de l'exploitation de la chaîne de la Basse-Durance, cette sujétion transformerait une part non négligeable du potentiel de production modulable en production "de base", causant ainsi à EDF des pertes énergétiques et financières considérables, et aboutissant parfois à un véritable gaspillage des réserves en eau du complexe tout entier.

Enfin, les eaux de la Durance renferment divers polluants agricoles ubiquistes et inévitables, et notamment des quantités appréciables de nitrates et de phosphates. La contribution des rejets EDF à l'établissement de conditions favorables à l'apparition des divers phénomènes d'eutrophisation ou de dystrophie qui affectent périodiquement le plan d'eau ne serait donc pas négligeable. Mais, selon les études molysmologiques, ces situations extrêmes sont plutôt imputables pour l'essentiel aux pollutions urbaines, industrielles et agricoles libérées par les agglomérations riveraines ou amenées par les affluents naturels de l'étang. Or les eaux du canal usinier sont convenablement oxygénées et, dans l'ensemble, peuvent être considérées comme relativement "propres". Elles



exercent donc une action plutôt bénéfique et décontaminante sur le niveau de pollution de l'étang grâce à leur effet de dilution.

### LES APPORTS SOLIDES.

Le flux solide moyen apparaît, avec 700 000 t/an dans les années passées et 300 000 t/an dans l'avenir,\* comme la principale source de matériel terrigène, comparé à la masse des alluvions libérées par les réseaux hydrographiques naturels. En raison même de cette disparité, l'influence d'un tel flux solide sur l'évolution de l'étang ne peut qu'être considérable. Selon les biologistes les taux de sédimentation observés sont préjudiciables aux rares espèces benthiques encore présentes dans les petits fonds littoraux, et plus particulièrement aux formes jeunes, incapables de lutter efficacement contre l'envasement accéléré. En outre, la turbidité ambiante induit une diminution générale de l'éclairement des masses d'eau. Le matériel particulaire minéral, par sa seule présence, minimise les possibilités d'échanges verticaux entre les strates liquides. Ces phénomènes accentuent ainsi la détérioration des conditions de vie dans les niveaux les plus inférieurs de l'étang tout entier.

La seconde partie de notre étude a montré comment les caractéristiques majeures des rejets limoneux pouvaient être établies grâce aux données brutes fournies par le Groupe Régional de Production Hydraulique Méditerranée. Les corrélations et résultats mis en évidence permettent de mieux connaître les modalités de détail du régime du canal usinier et de mieux définir les problèmes qui en résultent. Les observateurs scientifiques et les responsables de divers organismes publics seront ainsi à même de dégager plus aisément des solutions satisfaisantes.

En ce domaine, on notera que les efforts de EDF pour répondre favorablement aux préoccupations de ces organismes ou aux demandes du Conseil Général sont loins d'être négligeables. La nécessité de concilier des impératifs opposés, l'obligation de limiter le volume et la dispersion des apports solides ont conduit cette entreprise nationale à aménager, dans un premier temps, le bassin de délimonage sous-marin de Saint-Chamas, puis ultérieurement, le décanteur de Cadarache.

Bien que le fonctionnement de ces ouvrages soit, ou ait été, satisfaisant, aucun de ces palliatifs n'apporte de solution définitive au problème de la turbidité induite dans l'étang. On sait maintenant que plus du tiers des matériaux solides se sont échappés de la zone de sédimentation organisée de Saint-Chamas, actuellement en cours de colmatage avancé. De même, dans la prochaine décennie, les rejets limoneux resteront très probablement supérieurs de près d'un tiers aux estimations retenues lors de la mise en service du bassin de Cadarache.\*

Certes, les limites du domaine principal de sédimentation des matériaux allochtones sont approximativement connues dans leurs grandes lignes. Mais les études EDF ne permettent pas de cerner l'extension maximum possible des dépôts dans le Nord de la cuvette. De plus, les secteurs de dispersion extrême ou de diffusion épisodique dans le reste du plan d'eau du Grand Etang ne sont pas précisés, et les sorties de matériel particulaire dans le golfe de Fos restent à estimer.

### LA SEDIMENTATION.

L'étude sédimentologique et minéralogique des principaux types de dépôts qui recouvrent les fonds de l'étang apporte des informations complémentaires quant à la nature et à l'importance des perturbations liées aux rejets limoneux. On est ainsi conduit à distinguer deux domaines majeurs nord et sud, séparés

\* Les résultats de l'exploitation 1983 confortent la validité de notre estimation: pour un débit liquide de 4 105 l/m<sup>3</sup>, les rejets solides s'élèvent à 340 000 tonnes.

par une bande médiane de sédiments mixtes probablement induits par les fluctuations du front du coin salé et les déplacements d'eaux marines connexes.

Dans le domaine septentrional, au Nord du parallèle Berre-Mont Calaraou, les faciès les plus vaseux dominant et occupent la majeure partie des fonds. Les tailles moyennes inférieures à 10 microns de ces matériaux, la vaste extension des sédiments à plus de 98 % de lutites riches en illite et chlorite, permettent de délimiter les contours d'une aire d'hypersédimentation qui concentre tous les apports limoneux dans le secteur le plus abrité de l'étang.

Par rapport à l'état noté en 1962, ce domaine s'est considérablement enrichi en matériel particulaire  $20\mu-2\mu$  qui apparaît ainsi comme la fraction granulométrique essentielle de ce type de sédiment. A l'opposé, la phase précolloïdale inférieure à 2 microns, bien que présentant toujours les teneurs les plus élevées de l'étang, est proportionnellement moins importante qu'en 1962, sans doute en raison du flux d'eau douce considérable qui assure la dispersion des cristallites.

L'analyse des ségrégations géographiques des diverses fractions pélitiques permet de distinguer plusieurs directions privilégiées dans le champ de distribution des matériaux limoneux. Ces répartitions épousent avec une coïncidence remarquable les extensions et déformations du panache turbide des rejets EDF ainsi que la position la plus fréquente du front du coin salé.

En schématisant un faisceau de phénomènes multiples et complexes on s'aperçoit que les traits dominants de la sédimentogenèse, tels qu'ils apparaissent depuis le début du siècle, demeurent inchangés. En 1976, l'opposition Nord-Sud des paramètres des sédiments était aussi nette qu'en 1962; les dépôts étaient en outre toujours fortement réducteurs et présentaient la même teinte noire. Cette permanence est normale car le cadre morphologique de la cuvette et les agents météorologiques responsables du déplacement principal des masses d'eau n'ont pas varié.

A cette dualité fondamentale se superposent dans chacun des domaines distingués des différences d'ordre secondaire qui sont perçues comme des épiphénomènes modulés par les perturbations anthropiques. La transformation de l'étang de Berre en estuaire de type fortement stratifié et les apports corrélatifs de matériel durancien sont bien évidemment responsables de ces disparités annexes.

On notera que les modifications apparues se rangent dans des séquences d'enchaînement logique. Ainsi, à partir du moment où 500 000 m<sup>3</sup> de limons sont rejetés chaque année dans le secteur le plus abrité de la cuvette, il est normal que près des 3/4 de ces matériaux se déposent sur place et qu'une nouvelle association à illite et chlorite apparaisse. De même il est normal que le panache turbide assure à lui seul la dispersion de la plupart des éléments fins, appauvrissant ainsi les sédiments locaux en précolloïdes, conformément aux phénomènes généralement observés aux embouchures.

#### LA CONTROVERSE.

Nous avons tenté de relater, en le dépassionnant, le débat qui oppose EDF aux élus des villes riveraines de l'étang. Pour ces populations, l'augmentation de la turbidité du plan d'eau constitue une " nuisance majeure et une atteinte grave, inacceptable, à leur environnement quotidien ". Mais, malgré les efforts de EDF pour satisfaire ces revendications, le problème est toujours actuel et les rejets limoneux ne sont tolérés qu'avec les plus extrêmes réserves par les autorités départementales chargées de la sauvegarde des espaces naturels.

Au delà des arguments avancés de part et d'autre, deux grandes constatations se dégagent de ce contentieux.

La première concerne les fins de non recevoir systématiques opposées par EDF à toute demande d'abaissement du seuil de la charge solide admissible. Pourtant nous avons montré comment une limite fixée à 2 g/l aurait diminué les apports solides de la période 1969/1980 de près de 25 %, pour une perte de débit liquide de 1,5 %. De même, depuis l'entrée en service du délimoneur de Cadarache, le seuil légal pourrait être ramené à 1 g/l afin que les rejets limoneux soient amputés de 35 à 45 %, sans que pour autant les pertes énergétiques augmentent. Dans les deux éventualités, le nombre de jours d'arrêt reste voisin de 4, ce qui correspond aux pertes implicitement admises par EDF lors de la signature de la convention.

Dans ces conditions, on peut se demander pourquoi cet organisme se refuse à accepter une baisse de production apparemment aussi minime. La raison en est simple: les centrales de Salon et de Saint Chamas, par leur puissance cumulée, sont capables de satisfaire les besoins en électricité industrielle et domestique d'une ville d'importance moyenne comme Nantes (240 000 habitants), ce qui est considérable. Ainsi, tout arrêt intempestif des usines se traduit par un véritable gaspillage d'une énergie précieuse car indispensable au réseau en période de forte pointe ou vendue à haut prix en régime moyen d'exploitation.

La seconde est relative à l'hostilité croissante des populations concernées par les rejets limoneux. En 1952, la mise en enquête publique du projet d'aménagement ne suscita pas d'objection; le texte fut adopté sans débat passionné par les municipalités locales. Nous avons montré comment, en 1968, ces mêmes communes présentèrent peu de remarques à la demande de non-édification du réservoir de Mallemort. L'avis favorable de divers autres organismes consultés et de la Commission d'Enquête fut alors tout aussi facilement acquiescent. Seul, le Conseil Général des Bouches du Rhône, en 1969, refusa d'entériner le projet. Il s'en suivit une période de confusion, où expertises et contre-expertises tentèrent de préciser les maux dont souffrait l'étang de Berre. En 1974, dans leurs recommandations au Conseil Général, les mêmes organismes et la même Commission d'Enquête émettent des conclusions contraires à leurs avis de 1968, et s'opposèrent dans l'ensemble au projet EDF.

Une telle palinodie ne saurait surprendre car elle traduit une évolution profonde des mentalités consécutive à la propagation dans les diverses couches de la société des notions d'écologie et de respect de la qualité du cadre de vie. En 1952, les nuisances liées à l'expansion économique régionale étaient acceptées par l'homme de la rue comme une fatalité confuse et inéluctable. Quinze ans après, en dépit d'une détérioration manifeste des conditions de milieu, ces perturbations sont encore admises par la plupart des observateurs plus sensibles aux impératifs industriels qu'à la survie des derniers écosystèmes de l'étang et aux doléances des populations locales. Mais à partir de 1970, en raison d'une véritable prise de conscience collective, de telles agressions sont progressivement perçues par les "aménageurs" comme une atteinte intolérable au patrimoine commun dont il convient maintenant de préserver l'intégrité contre toute nouvelle altération.

#### LES RAISONS DU CHOIX DE L'ETANG COMME EXUTOIRE.

A l'évidence, cette décision, cause première des déséquilibres, se révèle particulièrement malencontreuse. De nombreux détracteurs n'hésitent pas à taxer EDF d'imprévoyance et critiquent la "légèreté" des études préliminaires. Le lecteur ne manquera pas de se demander pour quelles raisons un organisme national a pu se fourvoyer de la sorte.

Nous avons montré comment des impératifs techniques et financiers avaient à l'époque motivé l'adoption du tracé actuel, parmi d'autres solutions possibles. En outre, il n'est peut être pas inutile de rappeler que le projet

d'aménagement a été approuvé par l'ensemble des organismes consultés, y compris le Conseil Général des Bouches du Rhône, et par le Parlement français, pourtant aidé par de nombreuses commissions de spécialistes.

On sait maintenant qu'aucun des organismes concernés n'était alors pleinement informé des conséquences probables ou possibles de l'apport des eaux duranciennes sur l'évolution de l'étang. En effet, il était très difficile sinon impossible, dans les années 50, de percevoir tout l'impact des rejets et d'avoir une vision nette de la nature et de la diversité des problèmes qui en résulteraient.

Ce manque apparent de discernement procède de deux principales causes.

La première est liée à l'évolution des connaissances qui n'étaient pas alors ce qu'elles sont actuellement. En outre, les notions aujourd'hui classiques de respect des conditions naturelles de l'environnement et de protection des paramètres écologiques des milieux agressés n'avaient pas encore franchi les limites de certains cercles scientifiques.

La seconde résulte de l'absence totale de réalisation antérieure d'une ampleur comparable pouvant servir de modèle de référence aux experts.

Ainsi, dans les études conduites lors de la mise en enquête publique ou menées au cours de la période 1955-1962, les conséquences éventuelles d'un tel aménagement sur l'avenir de l'étang ne furent presque pas prises en considération. Les analyses prospectives se bornent à décrire une séquence évolutive simple et à évaluer les volumes annuels moyens des apports liquides et solides. Néanmoins, ces résultats parurent alors suffisamment valables et les nuisances possibles suffisamment définies pour que le rejet des eaux turbides dans l'étang soit considéré comme un fait tout naturel, indispensable à l'essor industriel régional et parfaitement justifié par des raisons techniques et économiques. Quelques rares experts tentèrent bien de s'opposer au projet, mais en dépit de leur notoriété, leurs voix ne furent point entendues.

Certes, le Port Autonome de Marseille subordonna son accord à une limitation très énergique des apports limoneux, mais cette demande se heurta à l'opposition des syndicats d'exploitants agricoles utilisateurs d'eau d'irrigation. De même les biologistes pressentaient de profondes modifications des conditions de milieu, mais aucun n'était en mesure d'en préciser la nature exacte.

Il fallut attendre l'année 1963, l'aménagement de la chaîne de la Basse-Provence en cours d'achèvement, pour que le LNH Chatou réalise, à la demande de EDF, une étude sur modèle réduit de l'hydraulique de l'étang de Berre. Dans ces rapports les conséquences " du déversement dans l'étang d'un débit d'eau douce détourné de la Durance " sont pour la première fois abordées sous leurs aspects dynamiques. La stratification stable de masses d'eau de salinités différentes apparaît alors possible sinon probable. En dépit de la qualité de cette enquête, la nature exacte et l'importance des modifications hydrologiques et biologiques ne furent pas définies et leurs répercussions éventuelles sur les écosystèmes restèrent insoupçonnées. Ainsi, lors de la mise en service de la centrale de Saint Chamas, aucun observateur ne pouvait réellement prévoir les conséquences ultimes des rejets sur l'avenir de l'étang.

Seules, les recherches ultérieures in situ confirmèrent la présence permanente du coin salé et révélèrent progressivement, de 1967 à 1972, la complexité et l'ampleur des problèmes qui en résultaient. Il était bien évidemment trop tard pour modifier l'implantation du point de restitution des eaux turbinées.

#### QUEL AVENIR POUR L'ETANG ET QUELLES SOLUTIONS.

Deux grands types d'actions visant à ramener les dégradations physico-chimiques à un niveau acceptable, compatible avec le maintien de conditions de vie quasi-normales dans l'étang, sont en cours de réalisation.

Le premier ne sera pas efficace avant la fin de cette décennie. Il s'agit du second décanteur de Cadarache projeté par EDF. L'ouvrage permettrait d'abaisser les apports solides aux environs de 100 000 à 150 000 tonnes/an, et de réduire par là même la turbidité du plan d'eau.

Le second <sup>★</sup> commence à faire sentir ses effets (Cf. fig. N° 45). Il s'agit de la lutte contre la pollution engagée depuis 1972 dans le cadre de diverses actions concertées par de nombreux organismes (Agence de Bassin, SPPPI). Mais les difficultés sont nombreuses. En raison de ses particularités géographiques la cuvette de Berre se comporte comme un réceptacle, véritable piège qui reçoit, retient, et peut être concentrer une pollution mixte: agricole, industrielle et urbaine. Ces altéragènes résultent à la fois de déversements plus ou moins lointains dans les affluents naturels, des rejets des villes et industries riveraines et des ruissellements directs non négligeables. Ainsi, les normes en vigueur et utilisables dans le cas d'un simple cours d'eau, où la turbulence et la dilution assurent l'élimination des polluants, ne sont pas transposables au bassin versant en raison de la faculté de rétention de l'étang. Seules des mesures drastiques, difficilement applicables et financièrement insupportables par les collectivités concernées, permettraient de ramener rapidement le niveau de pollution général du plan d'eau en son état de 1950. Selon certains responsables de l'aménagement, cet objectif ne sera pas atteint avant plusieurs décennies.

Le lecteur aura certainement remarqué qu'aucune de ces mesures ne s'attaque à la cause fondamentale des perturbations qui résultent de l'incompatibilité des eaux douces rejetées par le canal EDF, et des eaux salées amenées par le chenal de Caronte.

Comme l'on ne peut supprimer les apports EDF, la première solution, évidente, consiste à s'opposer à la pénétration des eaux marines. Une écluse, aménagée dans la passe profonde du Sud de l'flot des Martigues et ouverte lors des jusants journaliers pour permettre la navigation, stopperait efficacement les ondes de marées. Les eaux de vidange de l'étang emprunteraient la passe peu profonde du Nord de l'flot, puis s'écoulant en surface selon les modalités actuelles, rejoindraient le golfe de Fos par le chenal de Caronte.

Ce type d'aménagement, relativement peu onéreux, présente un inconvénient majeur: il transforme la cuvette toute entière en un lac d'eau douce ne répondant pas aux desiderata des populations locales; il condamne la pêche artisanale des espèces marines qui, en dépit des interdictions, se pratique de plus en plus.

La seconde solution consiste à séparer les masses d'eau non miscibles à l'aide d'une digue barrant la cuvette par le travers, selon les dispositions du schéma de la figure 44.

Malgré l'importance des aménagements nécessaires, une telle réalisation mériterait, par ses nombreux aspects positifs, de retenir l'attention des pouvoirs publics: elle apporte des solutions efficaces et définitives à la plupart des phénomènes qui entravent l'évolution naturelle de l'étang.

Au terme de ce projet, la cuvette serait séparée en deux bassins à peu près équivalents et autonomes. Les surfaces d'échanges avec l'atmosphère et les volumes respectifs seraient ainsi suffisamment importants pour leur permettre d'échapper au confinement.

1) Le bassin septentrional recevrait la totalité des apports majeurs en eau douce: Arc, Touloubre, Canaux des Alpilles et EDF. Ainsi exclusivement alimenté, le plan d'eau se comporterait comme un milieu strictement lacustre à flores et faunes uniquement limniques. En effet, un canal longeant le Mont Calaraou (construction d'une seule berge) évacuerait les eaux jusqu'à la passe nord de l'flot des Martigues. Là, elles s'écouleraient en surface selon les modalités actuelles dans le chenal de Caronte pour rejoindre le golfe de Fos.

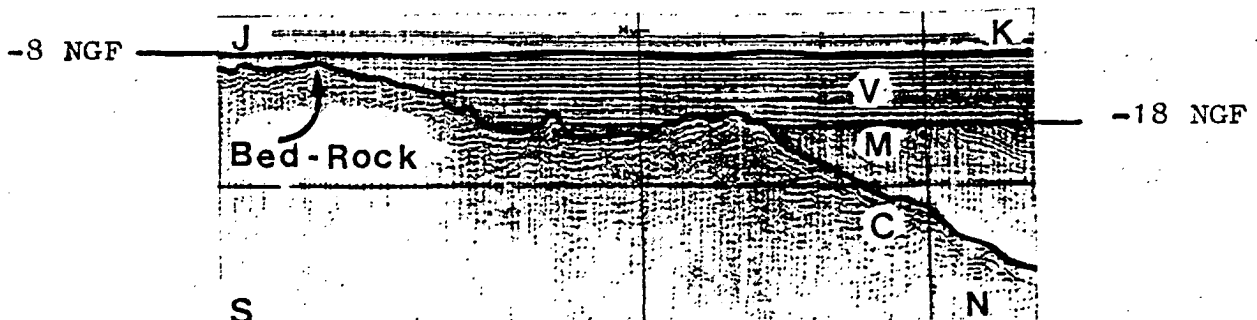
★ Cf. l'article de J.P. Poirier et Ph. Hirtzman, Annales des Mines, 1979, Juillet/Aout, n° 85-08

Dans ces conditions, les rejets liquides EDF seront parfaitement miscibles. Ils exerceront par leur effet de dilution une action non seulement bénéfique mais indispensable au maintien de conditions favorables. En effet, la pollution d'origine allochtone se circonscrit dans un volume d'eau homogène mais moindre et dont le renouvellement par les apports duranciens s'effectuera dès lors plus facilement, accentuant ainsi la vitesse de transit des altéragènes. Des solutions annexes peuvent être envisagées, comme le lagunage plus ou moins poussé des affluents naturels à faible module dans les marais proches des embouchures actuelles (Arc:  $m < 5$  m<sup>3</sup>/s; Touloubre:  $m < 2$  m<sup>3</sup>/s). En outre, diverses mesures\* - cuvelage des branches maitresses des canaux agricoles, incitation à l'arrosage par aspersion ou au goutte à goutte - permettraient de réduire notablement les pertes en eau d'irrigation. Cela augmenterait d'autant les débits turbinés rejetés à l'étang ou accroîtrait les réserves en eau du complexe. Le surplus de potentiel compenserait les pertes énergétiques liées à l'arrêt éventuel des centrales lors des crues turbides, le seuil de la charge solide admissible fortement abaissé.

2) Le bassin méridional serait alimenté exclusivement en eau marine par les ondes de marées fluctuant librement en profondeur dans le chenal de Caronte, conformément aux mécanismes à l'origine de la formation du coin salé actuel. L'étang verrait ainsi sa salinité s'établir aux environs de 30 ‰; en l'absence de stratification l'oxygénation des eaux atteindrait rapidement des valeurs normales, autorisant la réapparition des faunes et flores benthiques marines. Certes la cuvette recevrait l'essentiel de la pollution liée aux industries riveraines. Mais ce type de nuisance est le mieux contrôlé et en forte régression de nos jours (fig. 45). En outre, le bassin serait soustrait à la pollution agricole et aux facteurs d'eutrophisation amenés par les affluents de la cuvette nord.

Quelques aménagements annexes, tels que le creusement de chenaux destinés à faciliter le renouvellement de l'eau de l'étang de Vaïne, accentueraient la vitesse d'élimination de la charge polluante. Enfin, certaines parties limitées des étangs de Bolmon ou de Vaïne pourraient être consacrées à un lagunage complémentaire des effluents industriels et urbains locaux, afin d'assurer une meilleure épuration des rejets.

3) La construction de la digue de séparation serait facilitée par sa localisation géographique même. Dans ce secteur de l'étang - comme le montrent les enregistrements obtenus en sondages sismiques continus et reproduits dans la figure ci-dessous - le bed-rock résistant (Crétacé C) dessine un haut-fond qui barre le tréfonds par le travers. Les épaisseurs des vases récentes (V) sont ainsi faibles et varient de 1 à 4 mètres en fonction du modelé du substratum sous-jacent irrégulièrement érodé à  $-10 \pm 2$  m.



Les difficultés géotechniques seront considérablement atténuées en raison de l'existence de cette morphologie éminemment favorable à la réalisation du projet. Ce fait et la faible importance des phénomènes hydrodynamiques locaux permettent d'envisager un ouvrage léger conciliant efficacité, résistance, rapidité d'exécution et dont le prix de revient n'excéderait peut être pas les possibilités d'un budget régional.

\* Ces mesures sont en cours d'étude et de réalisation préliminaires grâce à la contribution financière de EDF à l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée.

Ainsi, les efforts des Pouvoirs Publics et de EDF pour améliorer les conditions de vie du plan d'eau sont certes méritoires mais à l'évidence trop limités. Ils ne feront sentir leurs effets qu'à plus ou moins longue échéance et ne résoudront que très partiellement les problèmes car ils ne s'attaquent pas à la "racine du mal". Seul un aménagement capable de mettre un terme définitif à la stratification des eaux serait susceptible d'assurer - sinon un impossible retour à l'état des années 1930 - tout au moins une restauration convenable de la qualité du milieu. Si l'on veut sauver l'étang, il faudra tôt ou tard accepter de payer une telle rançon. C'est la raison pour laquelle il conviendrait de soumettre cet avant-projet à l'avis des experts afin de confronter les solutions théoriques et séduisantes exposées ici aux réalités techniques et financières.

Cette opinion est confortée par les résultats d'une étude effectuée en Novembre 1983. Selon les conclusions de ce rapport\* il ne semble pas que la forte régression de la pollution industrielle notée depuis 1972 ait eu une influence bénéfique nettement marquée sur la distribution et la composition des faunes macrobenthiques. Ces formes sont toujours uniquement représentées par des peuplements lagunaires euryhalins et eurythermes qui restent limités dans un mince liseré côtier, car la faible profondeur y autorise une oxygénation convenable des eaux grâce au déferlement des vagues. On observe en outre la réapparition de la phanérogame dulçaquicole Potamogeton pectinatus, dont les colonies sont en cours d'extension dans la frange littorale nord.

Au dessous de 5 m de profondeur, les fonds présentent toujours les mêmes teintes noires ou grises et sont totalement dépourvus de macrofaunes. Les seuls organismes vivants décelés correspondent à des espèces dont la taille est inférieure à 1 mm, et qui se développent dans les 10 cm superficiels du sédiment. Ces peuplements à Nématodes dominants peuvent localement devenir particulièrement denses et atteindre plusieurs millions d'individus au m<sup>2</sup> en certaines stations au voisinage des rejets de l'usine EDF. Une telle meiofaune confirme par sa seule présence la précarité des conditions de vie du milieu.

L'étude a en outre mis en évidence quelques variations mineures de la nature des sédiments superficiels (Fig. 47). Ces modifications localisées étaient d'ailleurs en partie prévisibles et s'intègrent assez bien dans le sens général de l'évolution antérieure des fonds de l'étang.

Dans le Nord du plan d'eau, par rapport à l'état 1976, on note une dilatation de l'aire de dépôt des vases pures, dans un secteur d'hypercimentation traditionnelle et bien connue depuis le début du siècle.

Par contre, le Sud de la cuvette montre, en 1983, des faciès mixtes, plus hétérogènes et riches en bioclastes remaniés, évoquant ainsi certaines distributions observées en 1962 ou décrites en 1916 par Chevallier (Fig. 27 A,B). Enfin, les proportions en fractions inférieure à 20 µ ont augmenté dans l'ensemble des fonds, et cela de façon d'autant plus significative que l'on s'éloigne de la zone directement tributaire des rejets solides EDF.

On notera en outre que, dans la fraction grossière, les seuls bioclastes attribuables à des formes vivant actuellement dans l'étang correspondent à des espèces benthiques soit littorales (Cardium=Cerastoderma; Brachydontes) ou favorisées par la pollution organique (Mercierella=Ficopotamus), soit capables de résister à divers altérages (Foraminifère Ammonia beccarii) ou de supporter de larges variations de salinité (Ostracodes Loxoconcha elliptica et Cyprideis torosa).

Ainsi, en dépit des mesures efficaces qui, depuis 1972, ont sensiblement amélioré la qualité des eaux de l'étang, les fonds de la cuvette se caractérisent toujours, en 1983, par une détérioration poussée de leurs conditions de vie. La forte résorption des principaux facteurs d'altération d'origine industrielle et la nette régression des apports solides EDF n'ont pas eu l'incidence favorable espérée sur l'état des sédiments et leurs peuplements connexes. Ce fait confirme, si besoin en était, le caractère perturbateur majeur des rejets d'eau douce et met en évidence le rôle prééminent de l'impact du coin salé anoxique dans la dégradation de l'écosystème macrobenthique de l'étang de Berre.

\* Etude effectuée en 1983/84 par Mlles Gabrié C. et Mosse R-A., ainsi que MM. Stora G. et Vitiello P., pour le compte de l'IFREMER (CNEOX).

Les ultimes conclusions de cette étude seront simples et bien connues des spécialistes. Les eaux turbides duranciennes ET les divers types de pollutions sont les causes fondamentales, conjointes et simultanées, de la dégradation des conditions de vie dans l'étang de Berre. En raison de la complexité des phénomènes annexes et de la multiplicité des voies d'impact secondaires, il est difficile d'établir un hiérarchie attribuant à un facteur donné un rôle déterminant dans les séquences régressives décelées. Pour les observateurs, la responsabilité de EDF est engagée à des degrés divers dans la plupart des processus d'altération plus ou moins directement induits par les eaux turbinées.

Mais cet organisme national est-il coupable? Ces quelques pages auront peut être aidé le lecteur à acquérir une opinion personnelle!



## ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES, THEMATIQUES ET CHRONOLOGIQUES

### A LA DURANCE

- Cadre géologique et géographique
- Dépôts quaternaires et terrasses
- Correction des torrents
- Déboisements et reboisements
- Aménagement hydroélectrique
- Apports liquides et solides de la Durance

### B DONNEES CLIMATIQUES

### C L'ETANG DE BERRE

- Cadre géologique et géographique
- Aménagement régional
- Etat antérieur aux rejets EDF 1966
- Etat postérieur aux rejets EDF 1966

N.B. Les notes et ouvrages cités renferment de nombreuses références complémentaires

A) LA DURANCE: CADRE GEOLOGIQUE ET GEOGRAPHIQUE

- VAUMAS (Et. de), 1940.- Le Briançonnais, étude géographique. Ann. de Géographie, IL, p. 163-204.
- DEMANGEOT J., 1943.- Note sur la haute vallée de l'Ubaye. Structure, altitude moyenne, tracé du réseau hydrographique. Rev. de Géogr. Alpine, Grenoble, XXXI, p. 535-574.
- VEYRET P., 1945.- Les pays de la moyenne Durance alpestre, étude géographique. Thèse Lettres Grenoble, 1 vol. in-8°, 595 p., 64 fig., 20 tbx., 16 pl. phot.
- CHARDONNET J., 1947.- Le relief des Alpes du Sud. Etude morphologique des régions comprises entre Galibier, Moyenne-Durance et Verdon. Thèse Lettres Paris, 2 vol. in-8°, 397+286 p.
- DEBELMAS J., LEMOINE M., GIDON M. & AL., 1965.- Réunion extraordinaire de la Société Géologique de France en Briançonnais en 1964. C.R.Som.Soc.Géol.France, fasc. 11, p. 433-471.
- DEBELMAS J. & KERCKHOVE Cl., 1980.- Alpes franco-italiennes. Rev. Géologie Alpine, LVI, p. 21-58.
- DEBELMAS J., 1983.- La formation des Alpes. La Recherche, N° 150, Vol. 14, p. 1542-1552.

DEPOTS QUATERNAIRES ET TERRASSES.

- COLLOT L., 1904.- Pliocène et Quaternaire dans la région du Bas-Rhône. B.S.G.F., 4, IV, p. 401-415.
- PENCK A. & BRUCKNER E., 1907.- Les Alpes françaises à l'époque glaciaire (traduction Schaudel). Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble, VIII, p. 111-267.
- " & " , 1908.- Les glaciations des Alpes du Sud (traduction Arbos). Ibid., IX, p. 21-72.
- MARTONNE (E. de), 1910.- L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines. Ann. de Géographie, Paris, XIX, p. 289-317, et 1911, Ibid., XX, p. 1-26.
- KILIAN W., 1922.- Les terrains fluvi-glaciaires des vallées de la Durance et du Buech. C.R. 13° Congr. Inter. Géol., Bruxelles, 3° fasc. (paru 1926), p. 1453-1496.
- MARTIN D., 1926.- Les glaciers quaternaires des bassins de la Durance et du Var. 1 vol. in-8°, Gap, XX+534 p., 28 fig., 1 pl. (recueil posthume articles divers).
- BAULIG H., 1927.- La Crau et la glaciation würmienne. Ann. de Géographie, Paris, XXXVI, p. 498-508.
- BLANCHARD R., 1928.- Les phases du glacier de la Durance à Sisteron. Rev. Géogr. Alpine, Grenoble, XVI, p. 521-525.
- DENIZOT G., 1934.- Note sur l'extension des cailloutis pliocènes dans le Sud-Est de la France. B.S.G.F., 5, IV, p. 613-648.
- BOURDIER F., 1961.- Le bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et Préhistoire. Thèse Sciences Paris 1958, 2 vol. in-8°, C.N.R.S. édit., 364+294 p., 296 fig.
- BONIFAY E., 1962.- Recherches sur les terrains quaternaires dans le Sud-Est de la France. Thèse Sciences Paris 1960, Ném. Inst. Préhist. Univ. Bordeaux, N° 2, 1 vol. in-4°, 194 p., 48 fig. 9 tbx.
- TIERCELIN J.J., 1974.- Le bassin de Laragne-Sisteron. Stratigraphie et Sédimentologie des dépôts pléistocènes. Thèse 3° Cycle, Univ. Aix-Marseille I, 150 p., 32 fig., 12 pl.

- MERCIER H., 1978.- Le Néogène et le Pléistocène inférieur duranciens. Thèse Sciences Grenoble, 2 vol. in-8°, 398 p. + 76 fig., 26 pl., 19 pl. phot.
- DUBAR M., 1983.- Stratigraphie des dépôts du Néogène supérieur et du Pléistocène du bassin de la Moyenne-Durance. Interprétations géodynamiques et paléogéographiques. Thèse Sciences, Univ. Aix-Marseille I, 1 vol. dactyl. in-8°, 428 p.

#### CORRECTION DES TORRENTS

- SURELL A., 1841.- Etude sur les torrents des Hautes-Alpes. Paris 1 vol. in-4°, 283 p., XIX, 6 pl. H.T., 15 fig. et 2° Edition, avec une suite de Cezanne E., Paris 1870-1872, édit. Dunod, t.I 1 vol. in-8°, 317 p., 4 pl.; t.II 1 vol. in-8°, 386 p.
- LORTET (Dr), 1847.- De la formation des torrents dans les Hautes-Alpes, de ses causes et de ses remèdes. Ann. Forestières, VI, p. 270-278.
- DEMONTZEY P., 1894.- L'extinction des torrents en France par le reboisement. Paris, 1 vol. in-4°, 462p., 1 vol. 32 pl. et 127 photo.
- YANKOVITCH T., 1940.- Le reboisement et la correction des torrents dans les Alpes du Sud. Thèse Lettres Nancy, 1 vol. in-4° Paris, 158 p.
- VEYRET P., 1943.- Un centenaire: l'étude sur les torrents des Hautes-Alpes, de Surell. Rev. Géogr. Alpine, Grenoble, XXXI, p. 513-523.

#### DEBOISEMENT ET REBOISEMENT

- ROMAN J., 1887.- Les causes du déboisement des Alpes d'après les documents historiques du XIII° au XVIII° siècle. Gap, 1 vol. in-8°, 285 p.
- MARTIN D., 1889.- Observations sur la marche rétrograde de la végétation dans les Hautes-Alpes. Bull. Soc. Etudes Hautes-Alpes Gap, IX, p. 137-156.
- LENOBLE F., 1923.- La légende du déboisement des Alpes. Rev. Géogr. Alpine, Grenoble, XI, p. 5-116.
- " 1924.- La valeur économique du reboisement des Alpes méridionales. Ibid, XII, p. 5-29.
- MOUGIN P., 1924.- La question du déboisement des Alpes. Ibid, XII, p. 497-545.
- LENOBLE F., 1926.- Remarques complémentaires sur la question du reboisement et du déboisement des Alpes. Rev. Géogr. Alpine, XIV, p. 187-213.
- MOUGIN P., 1931.- La restauration des Alpes. 1 vol. in-8° Paris, 584 p., 47 pl., 2 cartes H.T.
- HARALAMB A-M., 1931.- Le reboisement dans les Alpes françaises. Thèse Lettres Grenoble, 1 vol. in-8°, 214 p.
- SCLAFERT Th., 1933.- A propos du déboisement des Alpes du Sud. Ann. de Géogr., p. 266-277 et p. 350-360.
- " 1934.- A propos du déboisement des Alpes du Sud; le rôle des troupeaux. Ibid, p. 126-145.
- FOURCHY P., 1944.- Remarques sur la question du déboisement des Alpes. Rev. Géogr. Alpine, Grenoble, XXXII, p. 113-128.

- FERAUD-GIRAUD L.J.D., 1893.- Notes sur la Durance en général et spécialement sur son régime administratif entre le Verdon et le Rhône. 1 vol. in-8° Aix-en-Provence, 200 p.
- WILHELM I., 1913.- La Durance, utilisation de ses eaux, amélioration de son régime par la création de barrages. 1 vol. in-8° Paris et Marseille, 360 p.
- BLANCHARD R., 1917.- L'industrie de la houille blanche dans les Alpes françaises. Ann. Géogr., Paris, p. 15-41.
- SIMON M., 1920.- Les Hautes-Alpes industrielles. Bull. Soc. Etudes Hautes-Alpes, Gap, XXXIX, p. 61-85.
- ANONYME, 1921.- Les ressources touristiques et industrielles des Hautes-Alpes; La houille blanche. Chambre de Commerce de Grenoble, 1 vol. in-8°, 40 p.
- VERNET E., 1934.- Notes d'histoire sur les canaux d'irrigation des Hautes-Alpes. Bull. Soc. Etudes Hautes-Alpes, Gap, LIII, p. 50-196.
- ANONYME, 1938.- Statistiques de la production et de la distribution d'énergie électrique en France pour l'année 1936. Ministère des Travaux Publics, 1 vol. in-8° Paris, 72 p.
- DUMONT R., 1949.- Les répercussions agricoles de l'équipement hydro-électrique de la Basse-Durance. Présidence du Conseil, Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, Paris, Rapport 26 p.
- DE JESSE P., 1951.- Aménagement agro-industriel de la Basse-Durance. Union des Maires des Bouches-du-Rhône, Préfecture des B.D. R., Marseille, Rapport 34 p.
- CARRERE M., 1952.- Economie de la région de la Durance vue à travers sa population. Bull. Mens. de Statistiques, supp. Juil.-Sept., p. 64-88.
- ANONYME, 1953.- Rapport général de la Commission d'Aménagement de la région de la Durance. Ministère de la Reconstruction et du Logement, Direction de l'Aménagement du Territoire, Paris, 1 vol. in-8° Imprimerie Nationale (301 801), 274 p.;
- Supplément N° 1, ibid, 1955, 32 p.
- Supplément N° 2, ibid, 1956, 36 p.
- Supplément N° 3, ibid, 1958, 36 p.
- ANONYME, 1953.- Valeur économique de l'aménagement agro-industriel de la Durance (Serre-Ponçon et chaîne de la Basse-Durance). EDF, Service National, REH Alpes III, Rapport 58 p.
- ANONYME, 1954.- La Durance, fleuve de la Provence. 1 vol. in-8° impr. Makaïre, Aix-en-Provence, 20 p.
- ANONYME, 1955.- Aménagement de la Basse-Durance. EDF, REH Alpes III, 1 vol. in-8°, 10 p.
- DECELLE A. & CABANIUS J.M., 1955.- Aménagement de la Durance. Revue Française de l'Énergie, N° 64 (Mai), p. 263-312.
- FARAUD P., 1955.- L'aménagement de la Durance et les exploitants agricoles. Ibid, p. 296-306.
- GIGUET R., 1955.- Originalité de l'aménagement de la Durance. Ibid, p. 264-266.
- ROLLEY R., 1955.- Equipement de la Durance et agriculture de la région. Ibid, p. 284-295.

- SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE, 1958.- Le Canal de Provence et l'aménagement hydraulique régional. Rev. Chambre de Commerce Marseille, N° 692, 24 p.
- CABANIUS J.M., 1959.- Aménagement hydro-électrique de la Durance. Ann. Institut. Tech. du Bâtiment et T.P., 12, N° 134, Série T.P., p. 170-198.
- CABANIUS J.M. & GUELTON M., 1959.- Le barrage de Serre-Ponçon. Le Génie Rural, N° 1, p. 15-30.
- WEINGAERTNER P., 1961.- L'aménagement de la chute de Saint Estève Jançon, sur Durance. Construction, 16/2, p.1-11.
- ANONYME, 1963.- Aménagement de la Basse-Durance: prises et canaux de Mallemort. EDF, REH Alpes III, 1 vol. in-8°, 12 p.
- ANONYME, 1963.- L'aménagement de la Durance. La Houille Blanche, N° 5, p. 561-578.
- ANONYME, 1963.- Aménagement hydraulique et agricole Durance-Verdon et le Canal de Provence. La Documentation Française, N° 3034, 1 vol. in-8°, 36 p.
- ANONYME, 1964.- L'aménagement hydraulique et agricole Durance-Verdon et le Canal de Provence. Technique de l'eau et de l'assainissement, N° 207, p. 49-56.
- ANONYME, 1965.- Aménagement hydroélectrique de la Basse-Durance. Rev. Alpes-Rhône-Méditerranée, N° 3, 40 p.
- ANONYME, 1966.- Chûtes de Salon et de Saint-Chamas. EDF, Service National, REH Alpes Sud, Rapport 26 p.
- ANONYME, 1968.- Equipement hydroélectrique de la Durance. EDF-SPH, 1 vol. in-8°, 76 p.
- DERAMPE P., 1971.- L'aménagement de la Durance et la chute de Mallemort, dernière étape de l'équipement de la Basse-Durance. Le Moniteur, 3 Avril 1971, p. 17-26.
- ANONYME, 1972.- Ouvrages de réalimentation des canaux agricoles de Basse-Provence. EDF-GRPH Méditerranée, plaquette-dépliant.
- ANONYME, 1972.- Extraction de matériaux alluvionnaires dans le lit de la Durance et schéma directeur de l'aménagement de la rivière à l'aval de Pont-Mirabeau. Cabinet Etude Ruby (CERIC), DDE Bouches-du-Rhône et Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, Rapport 65 p.
- RENAUD T., VINCENT-BEAUME P., BOSSY B. & RUBY P., 1974.- L'aménagement hydroélectrique de la Durance et de la nappe alluviale à l'aval de Mallemort. Influence des activités de l'homme sur le cycle hydrométéorologique. 13<sup>e</sup> Journées de l'hydraulique Paris, Soc. Hydro. Fr., p. 1-7.
- PELISSIER F., 1975.- Problèmes hydrauliques en val de Durance. Eau, Aménagement des eaux, N° 4, p. 3-11.
- " 1977.- Esquisse de synthèse régionale (S.E.) sur l'utilisation et l'aménagement des eaux. SRAE Provence-Alpes-Côte d'Azur, Aix-en-Provence, Rapport 200 p.
- JEAN A.M., LEFEVRE J. & PELISSIER F., 1978.- Utilisation et transfert des eaux de la Durance et du Verdon. Comm. Inter. de l'Irrigation et du Drainage, 20<sup>e</sup> Congr. Athènes, 32 p.
- ANONYME, 1979.- Le bassin d'éclusées de Cadarache sur les aménagements EDF de la Durance. Chantiers de France, N° 117, Jan.-Fev., p. 1-8.

- GONDE R., 1981.- Les aménagements du lit de la Durance et l'évolution du milieu naturel. Ministère de l'Environnement et du cadre de vie, Neuilly, Rapport 64 p. + annexes.
- PIERI M., 1983.- Analyse des facteurs dynamiques pouvant modifier le lit d'une rivière et la nappe subordonnée; exemple de la Basse-Durance occidentale. Thèse Doctorat 3<sup>o</sup> Cycle, Université Aix-Marseille II, 2 vol. in-4<sup>o</sup>, 446 p. + 21 pl.

APPORTS LIQUIDES ET SOLIDES DE LA DURANCE

- IMBEAUX E., 1892.- La Durance, régime, crues, inondations. Ann. Ponts et Chaussées, Paris, I, p. 1-200.
- PELLOUX L., 1897.- La Durance. Ann. Basses-Alpes, Dignes, VIII, p. 137-484.
- PARDE M., 1925.- Le régime du Rhône. Etude hydrologique. Thèse Lettres Grenoble, 2 vol. in-8<sup>o</sup>, Lyon, XIV+887 p., 440 p.
- " 1925.- Le calcul des débits du Rhône et de ses affluents. Grenoble, 1 vol. in-8<sup>o</sup>, 168 p.
- RHAM (R. de), 1928.- Le climat des Alpes méridionales; essai d'utilisation des divers éléments météorologiques pour l'évaluation des débits de la Haute-Durance. La Météorologie, Paris N<sup>o</sup> 43, p. 453-508, N<sup>o</sup> 44, p. 509-625.
- " 1938.- Les années humides 1935 et 1936 dans les Alpes méridionales. La Météorologie, Paris, Sept-Octo., p. 314-319.
- ANONYME, 1952.- Etude des conséquences de la dérivation de la Durance sur l'étang de Berre (Apports solides et liquides). EDF, REH Alpes III, Rapport interne, 6 p.
- BONIN M., 1952.- Les débits liquides et solides de la Durance. EDF, SER Hydrauliques, 2<sup>o</sup> Journées de l'Hydraulique, 25-29 Juin, Grenoble, Rapport 25 p.
- HENIN S. & MICHON X., 1956.- Essai d'interprétation des résultats de mesures de débit solide effectuées sur la Durance. Symp. Darcy, Dijon, Ass. Inter. Hydrol., Publi. 2, p. 369-378.
- BARGE M., 1963.- Les transports solides de la Durance. Bull. Fédération française économie montagnarde, Nlle Sér., N<sup>o</sup> 14, p. 495-503.
- ANONYME, 1966.- Aménagement de la Basse-Durance: mesure des débits solides en suspension. EDF, REH Alpes-Sud, plaquette-dépliant.
- BALDY M., 1973.- Les problèmes d'apports solides rencontrés sur l'aménagement agro-industriel de la Durance. Comm. Inter. des Irrigations et du Drainage, IX<sup>o</sup> Congr. Moscou, 30/R/15, p. 207-225.
- PELISSIER F., 1973.- Les effets sur l'irrigation de la forte charge en limon de l'eau de la Durance. Comm. Inter. des Irrigations et du Drainage, IX<sup>o</sup> Congr. Moscou, 30/R/21, p. 293-302.
- FAUROUX G., 1981.- Le délimonage des eaux de la Durance dans le bassin de Cadarache. EDF, SPH-GRPH Méditerranée, Communication Séminaire Propriano 27-29 Mai: La gestion régionale des sédiments, Documents du BRGM 30, p. 125-136.
- ROUX R.M., 1984.- Les apports liquides et solides du canal EDF de Saint-Chamas dans l'étang de Berre. CNEXO, Centre Océanologique de Bretagne, Brest; Laboratoire de Géologie Marine et Sédimentologie appliquée, Faculté Sciences Luminy, Marseille, Rapport 65 p. + 45 fig.

- BENEVENT E., 1926.- Le climat des Alpes françaises. Thèse Lettres Grenoble, Memorial de l'O.N.M. de France, 1 vol. in-8°, 435 p.
- " 1926.- Documents sur le climat des Alpes françaises; études critiques. Rev. Géogr. Alpine, Grenoble, XIV, p. 621-764.
- CORONAT L., 1928.- Le climat des Hautes-Alpes. Bull. Soc. Etudes Hautes-Alpes, Gap, XXXVII, p. 157-163.
- OLLIER L. & TASSON A., 1965.- Climatologie de l'aéroport de Marseille-Marignane. Monographies de la Météorologie Nationale, N° 41.
- GARNIER M., 1967.- Climatologie de la France. Sélections de données statistiques. Mémorial de la Météorologie Nationale, N° 50.
- BORDREUIL C. & FRASSE M., 1980.- Y a-t-il une diminution du Mistral? Comm. Météo., Ann. Météorologiques, p. 16-21.
- ANONYME, 1980.- Météorologie 1980. Comm. Météo., Ann. Météorologie, 119 p.

C) ETANG DE BERRE: CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.

- DENIZOT G., 1938.- La Crau, la Camargue et l'étang de Berre. Ann. Fac. Sc. Marseille, (2), XI, fasc. 1, p. 3-159.
- GOVERNET C., 1960.- Evolution géologique des relations Bas-Rhône/Basse-Durance pendant les temps pliocènes et quaternaires. Ann. Fac. Sc. Marseille, XXIX, p. 273-279.
- CORNET C., 1966.- L'évolution tectonique et morphologique de la Provence depuis l'Oligocène. Thèse Sciences Paris, Mém. Soc. Géol. Fr., Nlle Ser., XLIV, fasc. 2, N° 103, 252 p., 8 pl. phot., 4 cartes.
- LEENHARDT O. & ROUX R-M., 1967.- Morphologie du substratum de l'étang de Berre. B.S.G.F., 7, IX, p. 88-92.
- CATZIGRAS F., COLOMB E., GOVERNET C. & ROUX R-M., 1968.- Le Miocène de Provence. L'étang de Berre, la Crau et les étangs. Guide excursion géologique en basse Provence occidentale, in Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. Marseille, I, p. 43-55.
- AMBERT P., 1973.- Géomorphologie de l'étang de Berre et de ses bordures. Thèse 3° Cycle, Univ. Aix-Marseille, 465 p.
- COLOMB E. & ROUX R-M., 1978.- La Crau. Données nouvelles et interprétations. Géologie Méditerranéenne, V, N°3, P; 303-324.
- CARTE GEOLOGIQUE DE LA FRANCE A 1/50 000°, BRGM édit., Eyguières, XXX-43, N° 993, Istres, XXX-44-45, N° 1019, Martigues-Marseille, XXXI-44-45, N° 1020-1043.

AMENAGEMENT REGIONAL.

- MOREL G., 1959.- La région de l'étang de Berre, réussite sociale et économique ? Rev. Chambre de Commerce Marseille. N° spécial, 200p.
- CULTIAUX D., 1975.- L'aménagement de la région Fos-Etang de Berre. Notes et études documentaires, N° 4 164-4 165-4 166, 129 p.
- ANONYME, 1975.- Fresque du développement économique et démographique dans la région de Fos et de l'étang de Berre, 1975-1985. MIAFEB, Rapport et cartes.

ETAT ANTERIEUR AUX REJETS EDF 1966

- GOURET P., 1907.- Topographie zoologique des étangs de Caronte, de Labillon, de Berre et de Bolmon. Ann. Mus. Hist. Nat. Marseille, 27, II, XI, 166 p.
- CHEVALLIER A., 1916.- L'étang de Berre. Ann. Inst. Océanogr., VII, fasc. 4, 91 p., 1 carte.
- MOLINIER R., 1948.- La végétation des rives de l'étang de Berre. Bull. Soc. Linéenne Provence, XVI, p. 19-42.
- MARS P., 1961.- Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. Thèse Sciences Paris, C.R.D.P. Aix-en-Provence, 270 p. et Vie et Milieu, sup. N° 20, 1 vol. in-8° Masson édit., 369 p. (paru 1966).
- BONNEFILLE R. & BRACONNOT P., 1963.- Modèle hydraulique de l'étang de Berre. Lab. National Hydraulique Chatou, Rapport T264: 9 p., 33 fig., Rapport T285: 29 p., 89 fig., Rapport T319: 4 p., 52 fig., Rapport T353: 23 p. 87 fig.
- BRACONNOT P. & DAUBERT A., 1965.- Etude sur modèle réduit des conséquences du déversement dans l'étang de Berre d'un débit d'eau douce détourné de la Durance. La Houille Blanche, N° 1, p. 33-38.
- FEBVRE J., 1966.- Etude bionomique des substrats meubles de l'étang de Berre. Thèse 3° Cycle, Univ. Aix-Marseille, 113 p. et Rec. Trav. St. Mar. Endoume, 1968, Bull. 44, fasc. 60, p. 297-355.
- FEBVRE J. & MARS P., 1966.- Données nouvelles sur l'hydrologie de l'étang de Berre. Ibid., Bull. 41, fasc. 57, p. 7-23.
- BOURGOIN J., 1966.- Etang de Berre. Oscillations du plan d'eau et variations du Niveau moyen. - Cahiers Océanogr., 18, (2), p. 95-122 ; et: Mission hydrographique dans l'étang de Berre, Annales Hydrographiques, 1967, T. 13.

ETAT POSTERIEUR AUX REJETS EDF 1966.

- KIENER A. & LONGUEMARE R., 1967.- Evolution de l'étang de Berre en fonction des grands travaux d'équipements de l'Electricité de France sur la Durance. La Houille Blanche, N° 5, p. 507-513.
- BLANC F., COSTE B., MINAS H.J., & SZEKIELDA K.H., 1967.- Distribution des principaux facteurs hydrobiologiques dans un milieu de forte production organique: l'étang de Berre. Marine Biology, 1, (1), p. 43-55.
- KIENER A. & LONGUEMARE R., 1968.- Une année très particulière pour l'évolution de l'étang de Berre: 1967. La Houille Blanche, N° 8, p. 725-735.
- KIENER A., 1969.- Premières données relatives à l'évolution hydrobiologique de l'étang de Berre avec la mise en service du nouveau canal de la Durance: branche Mallemort-St Chamas. Rapp. Comm. Int. Médit., 19, N° 5, p. 859 et sq.
- MINAS M., 1970.- Résultats d'observations hydrologiques sur l'étang de Berre (années 1965, 1966, 1967). Modification du régime hydrologique par suite du déversement des eaux apportées par le canal de dérivation de la Durance. Cahiers Océanogr., 22, (1), p. 73-88.



- PERES J.M., 1972.- Réflexions de synthèse sur le devenir de l'étang de Berre. In: SITUATION DITE DU POINT ZERO DE L'ETANG DE BERRE, Station Marine d'Endoume et SPPPI, Marseille, 3 p.
- LEUNG-TACK K.D., 1972.- Bibliographie et état des connaissances sur les peuplements benthiques de l'étang de Berre. Ibid., 36 p.
- MINAS M., 1972.- Situation présente et évolution hydrologique de l'étang de Berre depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Ibid., 36 p.
- ROUX R-M., 1972.- Etude géologique et sédimentologique des fonds de l'étang de Berre. Ibid., 17 p.
- GRAUBY A., FOULQUIER L., & PICAT P., 1972.- Etude bibliographique et interprétation des rapports relatifs à l'étang de Berre. Nature et incidence des apports d'eau douce dans l'étang sur le niveau de pollution. CEN Cadarache, Labo. de Radio-écologie continentale, Ibid., 53 p.
- RIOUALL R., 1972.- Contribution à l'étude de la Flore des étangs de Vaïne et de Berre. Thèse 3<sup>e</sup> Cycle, Univ. Aix-Marseille II 528 p., 59 pl.
- BOULOT F., 1973.- Hydraulique de l'étang de Berre. Lab. National Hydraulique Chatou, Rapport C/40/73/43, 31 p., 11 fig.
- ANONYME, 1973.- Conséquences de la dérivation des eaux de la Durance dans l'étang de Berre. EDF, GRPH-Méditerranée, Rapport De 11-Sb 15, 27 p., 2 pl. phot.
- MINAS M., 1973.- Sur la synthèse et la dégradation de la matière organique dans l'écosystème de l'étang de Berre. Dynamique et bilan. Rapports avec le régime hydrologique. Thèse Sciences Marseille, Univ. Aix-Marseille II, 339 p.
- HUVE H., KIENER A. & RIOUALL R., 1973.- Modifications de la flore et des populations ichtyologiques des étangs de Berre et de Vaïne en fonction des conditions hydrologiques créées par le déversement de la Durance. Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille, XXXIII, p. 123-134.
- LEPETIT J.P. & MOREAU S., 1974.- Hydraulique du Canal de Caronte. Lab. National Hydraulique Chatou, Rapport C/42/74/41, 18 p. 13 fig.
- ANONYME, 1974.- Rapport bibliographique sur les conséquences écologiques du rejet des eaux de la Durance dans l'étang de Berre par l'usine hydroélectrique de St Chamas. CERBOM, mission N° 251, Rapport 24 p.
- MINAS M., 1974.- Distribution, circulation et évolution des sels nutritifs, en particulier du Phosphore minéral, dans l'étang de Berre. Influences des eaux duranciennes. Inter. Rev. Ges. Hydrobio., 59, 4, p. 509-542.
- SCHUHL A., 1974.- Rapport d'expertise pour la délibération du Conseil Général des Bouches-du-Rhône sur le déversement dans l'étang de Berre des eaux dérivées de la Durance et sur le bassin de délimonage de St Chamas. Conseil Général des BDR, Rapport 11p. et annexes 3 p.
- ANONYME, 1974.- Schéma d'assainissement des bassins versants de l'étang de Berre et du golfe de Fos. Bureau SETUDE-DARAGON, Rapport de synthèse N° E 72-69/30b, 79 p. + 3 annexes et 2 cartes.
- RAMADE F., 1974.- Etang de Vaïne, étude du milieu et vocation des zones littorales. MIAFEB, Rapport 62 p.
- STORA G., 1974.- Etude de l'évolution des peuplements benthiques de l'étang de Berre. Première Partie. Station Mar. Endoume, Rapport 16 p.

- FOULQUIER L. & GRAUBY A., 1974.- Enquête sur l'importance économique de la pêche des anguilles dans l'étang de Berre. CEN Cadarache, Lab. Radioécologie continentale, Rapport 21 p.
- LEPETIT J.P. & MOREAU S., 1975.- Hydraulique du système Etang de Berre/ Canal de Caronte/ Golfe de Fos. Lab. National Hydraulique Chatou, Rapport C/42/75/45, 18 p., 1 fig., 3 pl.
- RAMADE F., 1975.- Etang de Berre: état du milieu, recueil de cartes. MIAFEB, Rapport N° 26/75.
- ANONYME, 1975.- Carte des pollutions: rejets dans l'étang de Berre et le golfe de Fos. IGN, Service Télé-Interprétation, 2 cartes.
- STORA G., 1975.- Etude de l'évolution des peuplements benthiques de l'étang de Berre. Deuxième Partie. Station Mar. Endoume, Rapport 14 p.
- MINAS M., BONIN MC., COSTE B., DAVID P. & MINAS H-J., 1976.- Caractère particulier du mécanisme de l'eutrophisation dans l'étang de Berre. Ann. Inst. Océanogr. Paris, 52, (2), p. 153-164.
- STORA G., 1976.- Evolution des peuplements benthiques d'un étang marin soumis à un effluent d'eaux douces. Bull. Ecol., 7, (3), p. 275-281.
- ARNOUX A., AIRAUDO C.B., MONOD J.P., & BOUCHARD P., 1976.- Etude Physico-chimique et bactériologique des sédiments superficiels de l'étang de Berre. SPPPI, et Lab. Molysmologie Fac. Pharmacie, Marseille, Rapport 27 p., 23 fig.
- CHAMLEY H., 1976.- Etude minéralogique des sédiments superficiels de l'étang de Berre. SPPPI, et Lab. Geol. Mar. et Sedin. Ap., Fac. Sc. Luminy, Marseille, Rapport 18 p., 7 fig., 100 fiches.
- ROUX R-M. & WEYDERT P., 1976.- Etude sédimentologique des sédiments superficiels de l'étang de Berre. Ibid., Rapport 41 p., 35 fig.
- RIOUALL R., 1977.- Evolution de la flore benthique des étangs de Berre et de Vaïne, de 1971 à 1975. Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille, XXXVII, p. 141-147.
- PICARD J., 1978.- Impact sur le benthos marin de quelques grands types de nuisances liées à l'évolution des complexes urbains et industriels de la Provence occidentale. Oceanis, 4, (3), p. 214-251.
- ARNOUX A., 1979.- Etude de l'état des eaux de l'étang de Berre et du golfe de Fos. SPPPI, et Lab. Molysmologie Fac. Pharmacie, Marseille, Rapport 77 p., 5 annexes.
- ANONYME, 1979.- Etude écologique de l'étang de Bolmon, annexe de l'étang de Berre. SPPPI, et ECOPOL, Rapport U9/2/0, 2vol., 90 p.+ 70 p., 1 pl.
- RAMADE F., 1979.- Bassin versant de la Touloubre (état 1979). Schéma assainissement des eaux superficielles et de protection des milieux aquatiques- Pollution urbaine. Bureau Etude GERIM, Rapport 38 p.
- " , 1980.- Bassin versant de l'Arc (état 1980). Schéma assainissement des eaux superficielles et de protection des milieux aquatiques-Pollution urbaine. Ibid., Rapport 20 p.
- DEIMAS D., 1980.- Minéralisation de la matière organique des sédiments de l'étang de Berre. Oceanologica Acta, 3, (3), p. 347-356.

- CATSIKI Av., 1980.- Contribution à l'étude de la contamination des peuplements benthiques de l'étang de Berre par les métaux (Hg, Cu, Zn, Pb). Thèse 3<sup>o</sup> Cycle Univ. Aix-Marseille II, 181 p.
- ARNOUX A., MONOD J.L., BOUCHARD P. & AIRAUDO Cb., 1980.- Evolution et bilan de la pollution des sédiments de l'étang de Berre. C.R. V<sup>o</sup> Journées Etude Pollution, Cagliari, CIESM, p. 433-446.
- FAUROUX G., 1981.- Le délimonage des eaux de la Durance dans le bassin de Cadarache. La gestion régionale des sédiments, Séminaire National, Propriano, 27-29 Mai, Document du BRGM N<sup>o</sup> 30, p. 125-136.
- BOUCHARD P., 1981.- Etude de l'état de pollution des sédiments (1976) de l'étang de Berre; I- La pollution Organique. Thèse Doctorat Pharmacie, Univ. Aix-Marseille II, 184 p.
- GIORGETTI C., 1981.- Etude de l'état de pollution des sédiments (1976) de l'étang de Berre; II- La pollution inorganique. Ibid., 149 p.
- BERNAT M, CHASSEFIERE B., MONACO A., & THOMMERET J., 1981.- Etude du rôle des prodeltas dans le transit continent-oceans à l'aide du comportement de certains radioisotopes et des particules supports: le prodelta artificiel de la Durance dans l'étang de Berre. Groupe Recherches Sédimentologiques, Univ. de Nice, Rapport état avancement travaux ATP 048, 7 p., 21 fig.
- PERES J.M., LEVEAU M. & Coll., 1981.- Cartographie dynamique des milieux littoraux soumis à des pollutions telluriques et à des aménagements par l'homme. CNRS (PIREN), ASP N<sup>o</sup> 3: Gestion Ecologique des ressources en eaux, 2 vol. in-8<sup>o</sup>, fasc. I: 118 p. (cf. Etang de Berre p. 64-74), fasc. II: 208 p. (fig. et tbx).
- KIM K.T., 1981.- Le phytoplancton de l'étang de Berre: composition spécifique, biomasse et production. Relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin. Thèse Sciences Marseille, Univ. Aix-Marseille II, 2 vol. in-8<sup>o</sup>, 243 p.+ 229 p. (pl. et fig.).
- STORA G., 1982.- Recherches de bionomie descriptive et expérimentale (in vivo et in vitro) dans quelques biotopes littoraux soumis à des variations naturelles (golfe de Fos) ou artificielles (étang de Berre) des conditions de milieux. Thèse Sciences Marseille, Univ. Aix-Marseille II, 2 vol. in-8<sup>o</sup>, 197 p.+ 197 p. (fig. et tbx.).
- BAELDE P., 1982.- Bilan de l'état actuel (1982) de l'étang de Berre. Etude bibliographique. Ministère de la Mer, Délégation régionale à l'aquaculture, Rapport 111p.
- ARNOUX A. & STORA G., 1983.- Effects of large freshwater diversions on benthos of a mediterranean lagoon (Etang de Berre). Estuaries, 6, (2), p. 115-125.
- ROUX R-M., 1983.- Etang de Berre: sédiments et dynamique sédimentaire. CNEXO, COB BREST, Rapport N<sup>o</sup> 82/6990, 2 vol., 64 p.+ 44 fig.
- GABRIE C., 1984.- Etude sédimentologique des sédiments de l'étang de Berre-Etat 1983. Rapport IFREMER (CNEXO), 16 p.
- MOSSE R-A., 1984.- Etude cartographique et quantitative d'une plante aquatique (Potamogeton pectinatus) dans l'étang de Berre. Lab. Ecologie du Benthos, Faculté de Luminy, Marseille, Rapport 18 p.

STORA G., 1984.- Les peuplements macrobenthiques de l'étang de Berre-Etat 1983. Rapport IFREMER (CNEXO), 16 p.

VITIELLO P., 1984.- Evaluation quantitative du meiobenthos de l'étang de Berre. Rapport IFREMER (CNEXO), 15 p.