

INCIDENCES D'UN REJET THERMIQUE EN MILIEU FLUVIAL SUR LES MOUVEMENTS DES POPULATIONS ICHTYOLOGIQUES

G. LEYNAUD et J. ALLARDI

C.T.G.R.E.F. — Division Qualité des Eaux,
Pêche et Pisciculture
14, avenue de Saint-Mandé
75012 PARIS (France)

Avec la collaboration technique
de R. JAMAIN, M. ROGGER, M. SAVARY,
techniciens au Conseil Supérieur de la Pêche.

Communication présentée par Monsieur G. LEYNAUD au Colloque sur les effets physiques et biologiques sur l'environnement des systèmes de refroidissement et des rejets thermiques des Centrales Nucléaires, organisé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique à OSLO du 26 au 30 août 1974.

RESUME

En vue d'évaluer les effets des rejets thermiques sur les populations de poissons, une étude a été réalisée sur la Seine au niveau de la Centrale Thermique de Montereau avec le concours d'E.D.F.

Des captures périodiques ont été réalisées dans le canal de rejet de la Centrale au moyen de l'électricité et de nasses.

Les opérations de marquage et de recaptures en Seine et le concours des pêcheurs amateurs ont permis de préciser certains déplacements.

Les effectifs capturés dans le canal de rejet subissent des fluctuations importantes (maxima au printemps et à l'automne, minima en hiver et en été) ainsi que la structure des populations (augmentation de la proportion de Cyprinidés en période chaude). Le barbeau (*Barbus barbus*) est éliminé pendant la période chaude tandis que le black-bass (*Micropterus salmoides*) se développe à la faveur du réchauffement.

Certains invertébrés (*gammaridés*) sont également éliminés pendant l'été.

Des travaux sont actuellement en cours afin de mieux cerner l'impact écologique global du réchauffement des eaux.

I — CARACTERISTIQUES DU MILIEU ETUDIE

Dans le but d'évaluer l'effet du réchauffement artificiel des eaux dû aux Centrales thermiques sur les mouvements des populations piscicoles, une étude a été entreprise sur la Seine au niveau de la Centrale Thermique de MONTEREAU, avec le concours d'E.D.F.

Cette Centrale a une puissance de 750 MW, elle est située 9 km en aval de la confluence de la Seine et de l'Yonne et à 100 km en amont de Paris. Le refroidissement des condenseurs est effectué sur « eau vive », le débit prélevé est proportionnel à la puissance fournie (maximum 27 m³/sec.) et subit un réchauffement moyen de 7° C. L'eau prélevée par simple dérivation traverse une ancienne ballastière, après utilisation elle est rejetée dans un canal en sol naturel (Sablo-limoneux) de 500 m de longueur, d'une largeur moyenne de 40 m, d'une profondeur maximum de 3 m, rejoignant la Seine ; la vitesse maximum du courant atteint 0,60 m/sec.

La Seine au niveau de la Centrale a une largeur d'environ 110 m, sa profondeur est d'environ 4 m.

Le fleuve est canalisé et utilisé assez intensivement pour la navigation, de jour seulement (2 500 bateaux/mois).

Au niveau du secteur étudié, le débit moyen annuel de la Seine est d'environ 120 m³/sec., le débit minimum d'étiage pendant 30 jours consécutifs avoisine 50 m³/sec., compte tenu des lâchures du barrage réservoir « Seine » et de celles de différents barrages situés dans le bassin de l'Yonne, affluent de la Seine.

Le régime thermique de la Seine à MONTEREAU est caractéristique des zones inférieures des cours d'eau où la température de l'eau est en corrélation étroite avec la température atmosphérique régionale.

L'évolution des températures relevées dans la Seine en amont de la Centrale et dans le canal de rejet de celle-ci pendant la période d'étude est représentée graphiquement à la figure 1.

Pendant la durée de l'étude (Janvier 1972 — Novembre 1973), l'écart thermique maximum enregistré en amont de la Centrale a été de 23,7° C (température moyenne journalière de 2,5° C le 1.02.72 et 26,2° C le 25.08.73).

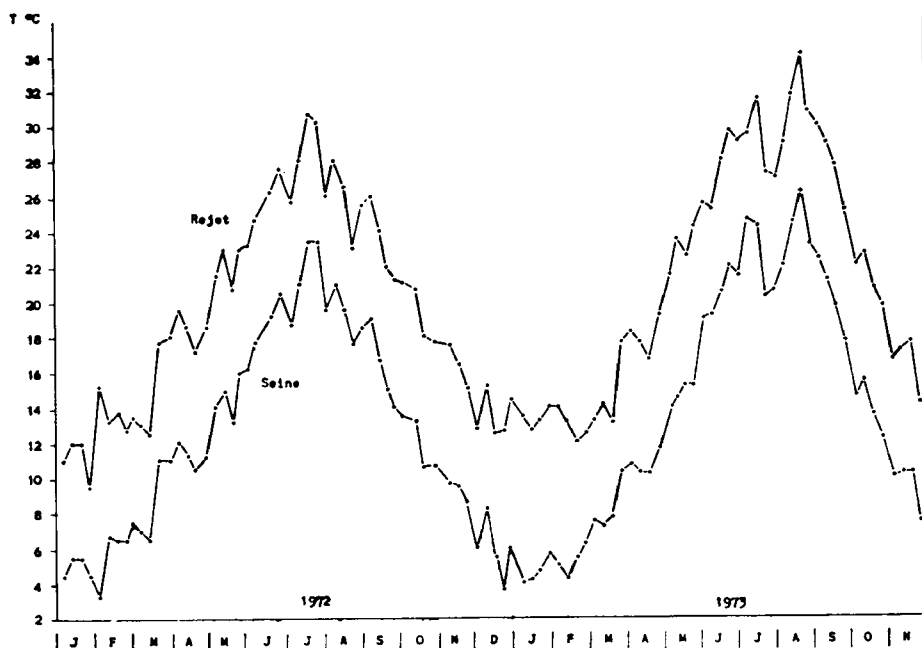
La température maximum enregistrée dans le canal de rejet a été de 34° C le 21.8.73, pour un débit réchauffé de 17,7 m³/sec. ; à cette date, le débit de la Seine au niveau de MONTEREAU était environ de 27 m³/sec. Dans ces conditions extrêmes, l'influence du réchauffement se fait encore sentir à 7 km en aval où l'écart thermique avec la zone non réchauffée est de 2,8° C (26° C en amont et 28,8° C à CHAMPAGNE-sur-SEINE).

2 — MATERIELS, TECHNIQUES ET METHODES

2.1. Capture des poissons

Le choix des modes de capture est limité par des contraintes tenant soit au milieu (obstacles, navigation, vitesse du courant), soit au but de l'étude et à son contexte (nécessité de remettre à l'eau les poissons en bon état après marquage). Après essais préliminaires et perfectionnement du matériel, la pêche à l'électricité s'est révélée le mode de capture le plus satisfaisant.

Figure 1 : Température de l'eau en Seine (amont) et dans le canal de rejet au niveau de La Centrale thermique de MONTREAU



Le dispositif utilisé a été décrit en détail par ailleurs (1); il comprend essentiellement une anode rectangulaire de grande dimension portée à l'avant du bateau et une cathode formée de câbles souples disposée à l'arrière. Le courant, fourni par un générateur (220 V. alternatif, 2,5 KVA), est transformé et redressé (quarts de sinusoïdes), le voltage de crête est réglable et la mise sous tension est commandée par une pédale de sécurité. Un bac de 400 litres dont l'eau est renouvelée par pompe électrique permet de conserver les poissons capturés dans de bonnes conditions pendant les opérations de pêche.

Les indications données par la pêche électrique ont été complétées par les captures réalisées au moyen de nasses en grillage.

2.2. Marquage

Les marques utilisées sont de plusieurs types : « barrette », ou anneau métallique, posée sur la mâchoire inférieure (pour les carnassiers) ou tube en plastique inséré à travers la masse musculaire entre les pièces osseuses intercalaires supportant la nageoire dorsale et ancré au moyen d'une pièce en forme de T (type « anchor-tag », « floy-tag » USA).

Ces marques portant un numéro permettent le repérage individuel des poissons étudiés.

Les opérations de marquage ont été effectuées sous anesthésie des poissons obtenue au moyen d'un bain de M.S. 222 SANDOZ.

Les

2.3. Conduite des études

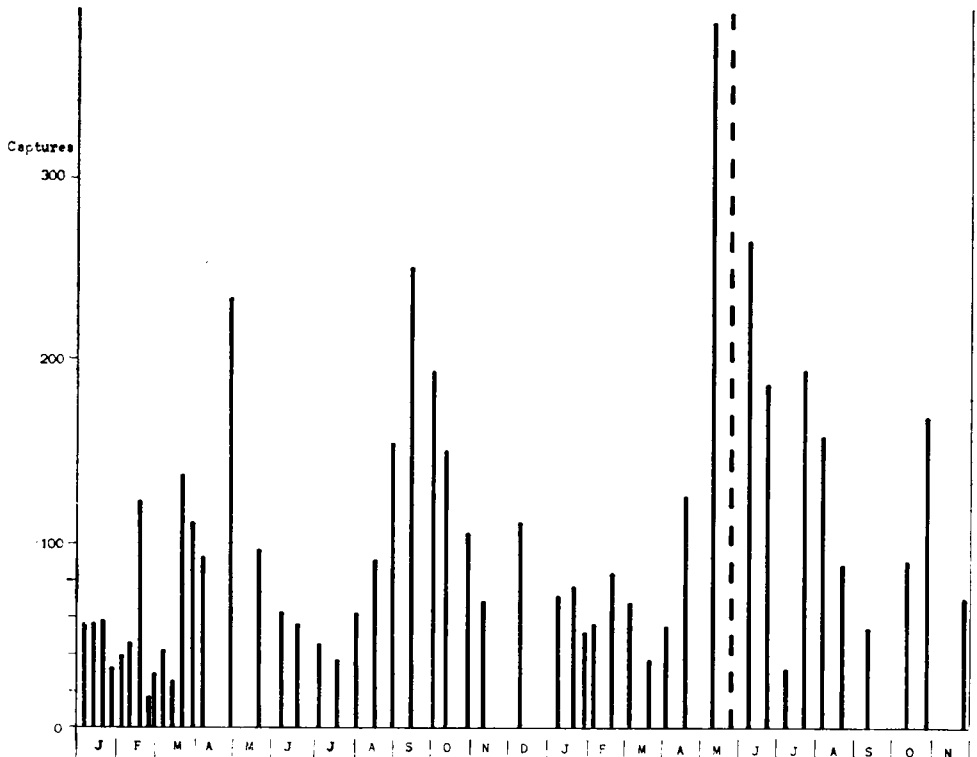
Des pêches à l'électricité hebdomadaires ou bi-hebdomadaires ont été effectuées dans le canal de rejet suivant le même parcours et avec le même réglage des appareils de façon à déployer un « effort de pêche » aussi constant que possible. Des pêches de contrôle plus irrégulières ont été effectuées dans la Seine en amont et en aval du rejet thermique.

Après chaque pêche, les poissons ont été mesurés et pesés (seulement mesurés en Seine), marqués et relâchés dans les secteurs de capture.

Au cours d'un cycle de deux ans, 4 894 poissons ont été capturés dans le canal de rejet ; parmi ceux-ci, 2 768 ont fait l'objet d'un marquage individuel. Au cours de la même période, les sondages effectués en Seine ont permis de marquer 1 808 poissons.

Fig. 2 : Evolution du nombre de captures de poissons (taille supérieure à 12 cm) dans le canal de rejet de la Centrale de MONTEREAU en 1972 et 1973.

Effectifs capturés très importants mais non dénombrés exactement pour éviter des pertes (période de frai des cyprinidés).



Une action d'information a été entreprise auprès des pêcheurs amateurs locaux (il n'existe pas de pêcheurs professionnels dans le secteur étudié) avec le concours des Sociétés et de la Fédération Départementale de Pêche de Seine-et-Marne pour collecter le maximum de retours de marques relevées sur les poissons capturés avec indication du poids, du lieu de capture, de l'état du poisson, etc.

ELECTRICITE DE FRANCE a participé à cette action par distribution de récompenses (sous forme de loterie comprenant les numéros des marques).

Le nombre de retours de marques par les pêcheurs amateurs s'élève à la fin de la deuxième année à 98. Parmi ceux-ci, plus des 2/3 proviennent de poissons marqués dans le canal de rejet et capturés à l'aval immédiat de celui-ci.

Ces retours de marques, malgré leur nombre peu élevé, ont permis d'obtenir des renseignements sur les déplacements et le comportement des différents types de marques employées.

3 — RESULTATS

Les résultats, après deux cycles annuels, portent sur 18 espèces parmi les 25 plus ou moins abondantes peuplant la Seine au niveau de MONTEREAU. (Les espèces de petites tailles, comme l'Ablette (*Alburnus alburnus*), ou peu représentées n'ont pas été retenues).

Bien qu'encore fragmentaires, ils donnent déjà des renseignements intéressants sur les relations poids-longueur, les vitesses de croissance, les déplacements des principales espèces.

En ce qui concerne l'effet du réchauffement des eaux, on observe une grande variabilité saisonnière dans les effectifs et la composition des populations du canal de rejet de la Centrale, d'après les sondages effectués suivant un protocole standardisé (durée, itinéraire...).

Pendant l'hiver, les effectifs sont les plus faibles. Ils croissent rapidement au printemps pour atteindre un maximum lorsque la température de l'eau est légèrement inférieure à la température maxima normale de la Seine (en l'absence de réchauffement).

Pendant l'été, les effectifs capturés diminuent bien que le canal ne soit jamais complètement déserté par les poissons même pour des températures excédant nettement 30° C.

A l'automne, les effectifs augmentent de nouveau et passent par un maximum pour une température voisine de celle correspondant au maximum de printemps.

Parallèlement aux variations d'effectifs en fonction de la température, on a pu montrer également des variations importantes dans les représentations spécifiques des différents échantillons.

La proportion de cyprinidés passe de 62 % en hiver à 87 % au printemps et 91 % en été. Parmi ces derniers, le Gardon (*Rutilus rutilus*) est l'espèce la plus abondante (15,4 %, 53,2 % et 83,5 %).

Il n'a pas été observé de mortalités notables dans le canal de rejet des eaux chaudes, cependant les poissons ont manifesté une grande fragilité se traduisant par des pertes élevées lors des différentes manipulations (anesthésie notamment) auxquelles ils étaient soumis après leur capture au cours de l'étude

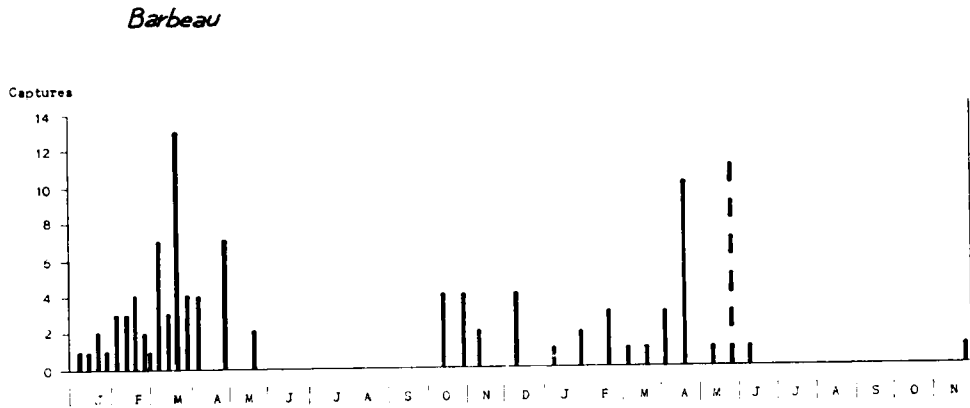
dès que la température atteignait ou dépassait 27° C. De ce fait, pendant les périodes correspondantes, le marquage des individus capturés n'a pu être effectué.

Par ailleurs, une parasitose, bucéphalose due à *Bucephalus polymorphus* (2), sévit depuis plusieurs années sur de nombreuses espèces de poissons dans la région de Montereau et les atteintes relevées sur les gardons capturés dans le canal de rejet paraissent plus importantes que celles relevées dans les zones non réchauffées. Ce point devra être précisé ultérieurement par des observations plus rigoureuses.

Deux espèces : le barbeau et le black-bass, manifestent un comportement particulier.

Le barbeau (*Barbus barbus*), dans la région de Montereau, est l'espèce qui se trouve la plus éloignée de sa zone écologique élective pour des raisons thermiques et hydrauliques.

Fig. 4 : Evolution des captures de barbeau dans le canal de rejet de la Centrale de MONTEREAU en 1972 et 1973.



Dans le canal de rejet, tous les individus de cette espèce ont été capturés dans la zone amont, où la vitesse du courant et les turbulences sont très fortes. Dans ces conditions hydrauliques particulières, il n'a été capturé que des individus de grande taille (44 cm minimum).

Au cours de ces deux cycles annuels, on a pu mettre en évidence une migration du barbeau en dehors de la zone réchauffée. Cette espèce semble la désertter lorsque la température est supérieure à 21° C.

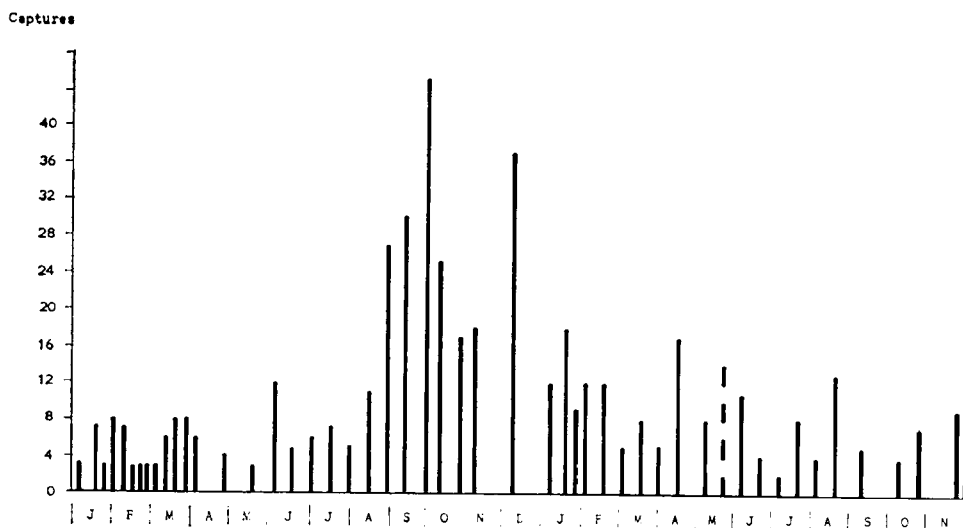
Pendant cette période estivale, des barbeaux marqués auparavant dans le rejet ont été recapturés par des pêcheurs amateurs dans le Loing (affluent de la Seine en aval de la Centrale) et en amont de la Centrale, au niveau du barrage de Varennes.

Le black-bass (*Micropterus salmoïdes*), malgré plusieurs tentatives d'acclimatation (3), est pratiquement absent dans le cours principal de la Seine au niveau de MONTEREAU, qui se trouve au-delà de la limite septentrionale de son aire de répartition (4).

Toutefois, cette espèce est présente en faible quantité dans les eaux calmes des anciennes sablières et ballastières communiquant avec la Seine.

Fig. 5 : Evolution des captures de black-bass dans le canal de rejet de la Centrale de MONTEREAU en 1972 et 1973.

Black-Bass



Des sujets déversés à l'occasion d'opérations de repeuplement se sont installés dans le canal de rejet (malgré une vitesse de courant relativement élevée) et y constituent une population apparemment sédentaire (5), contrairement à la plupart des autres espèces.

Le réchauffement dû à la Centrale (7°C) semble bien être la cause de l'acclimatation du black-bass dans cette zone où sa reproduction a été observée au mois de mai. Au cours de cette période, on constate également l'arrivée de sujets matures (longueur 27-30 cm) provenant vraisemblablement des sablières précitées ; cette migration semble liée à la reproduction.

4 — DISCUSSION ET CONCLUSIONS

En l'absence de mesures précises de l'efficacité réelle des divers modes de capture utilisés et malgré le soin apporté pour maintenir la constance de l'effort de pêche déployé dans chaque opération, les effectifs relevés ne peuvent pour l'instant être considérés que comme des indices d'abondance relative.

Toutefois, il faut souligner la reproduction fidèle, au cours des cycles annuels successifs, des variations des effectifs capturés que confirment les résultats obtenus en 1974 et divers éléments d'information complémentaires (retours de marques, observations directes).

On peut donc raisonnablement conclure que le rejet d'eaux chaudes dans un milieu fluvial induit des mouvements importants et saisonniers des populations de poissons.

Ces mouvements ne sont que partiellement en harmonie avec les « températures préférées » déterminées au laboratoire pour les diverses espèces (6) (7) ; en particulier, on note qu'en période hivernale la zone réchauffée est peu attrac-

tive. Ces données de laboratoire doivent donc être utilisées avec une grande prudence dans la prévision des effets d'un réchauffement artificiel des eaux.

Dans les eaux libres, d'autres stimuli variés se combinent à la température pour déterminer le comportement du poisson ; en particulier dans le cas du site de Montereau, les caractéristiques hydrauliques (courant rapide) et morphologiques du canal de rejet peuvent jouer un rôle non négligeable ; des effets secondaires dus à la température peuvent aussi fournir une explication notamment l'accroissement de la vulnérabilité de certains organismes vis-à-vis de leurs prédateurs à la suite du transit dans les condenseurs (8).

L'influence globale d'un rejet thermique sur la composition des biocénoses intéressées dépend du niveau écologique de la station considérée (9). Les espèces situées à la limite de leur aire normale de distribution manifestent les réactions les plus précoces et les plus importantes. Dans le cas de Montereau, on peut prévoir qu'un réchauffement sur une zone étendue entraînerait l'élimination du barbeau et l'installation et le développement du black-bass. Ces deux espèces sont localement considérées comme intéressantes par les pêcheurs amateurs. D'autres observations, pour l'instant fragmentaires, semblent indiquer que le poisson chat (*Ictalurus melas*) et la perche soleil (*Eupomotis gibbosus*) considérés comme indésirables seraient favorisés par le réchauffement.

L'étude des effets des rejets thermiques ne saurait se limiter aux seuls poissons malgré leur intérêt spécial lié à leur position dans l'édifice trophique aquatique.

Les autres organismes sont susceptibles d'être affectés et, pour certains (algues notamment), ces effets (disparition ou pullulation) sont susceptibles d'intéresser non seulement l'économie des pêches mais l'ensemble des utilisations des eaux.

Sur le site de Montereau, on a pu ainsi notamment observer, dans le canal de rejet de la Centrale, la disparition des gammaridés (*Rivulogammarus roeselii* et *Rivulogammarus pulex*) lorsque la température atteint 28,5° C, constatation confirmant la détermination expérimentale au laboratoire des températures létales pour ces organismes (TL 50 — 96 heures, 28,7 °C pour une température d'acclimatation de 21° C) (10).

Des changements affectant les algues benthiques ont été également notés et les travaux se poursuivent actuellement dans ces différents domaines.

REFERENCES

- (1) ALLARDI, J. DUGUET, C., LEYNAUD, G., et coll., Etude du peuplement ichthyologique d'un milieu fluvial réchauffé artificiellement. Symposium sur les méthodes de prospection, de surveillance et d'évaluation des ressources ichthyologiques dans les lacs et les grands cours d'eau. EIFAC 2-4 mai 1974. AVIEMORE (Scotland)
- (2) DE KINKELIN, P., TUFFERY, G., LEYNAUD, G., et ARRIGNON, J., Etude épizootiologique de la bucephalose larvaire à *Bucephalus polymorphus* (BAER 1827) dans le peuplement piscicole du bassin de la Seine. Recherches Vétérinaires 1 (1968) 77-98
- (3) VIVIER, P., Sur l'extension en France du Black-Bass à grande bouche (*Micropterus salmoides* Lacepède) et de l'Ecrevisse américaine (*Cambarus affinis* Say). Verh. Internat. Verein. Limnol. 11 (1950) 430-436
- (4) WURTZ-ARLET, J., Le Black-Bass en France. Esquisse monographique. Ann. Stat. Cent. Hydrom. Appl. VI (1952) 203-286
- (5) ALLARDI, J., Contribution à la connaissance de la Biologie du Black-Bass (*Micropterus salmoides*) Rapport C.T.G.R.E.F. (D.E.A.) non publié (1973)
- (6) FERGUSON, R.G., The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperate lakes and streams. J. Fish. Res. Bd Can 15 4 (1958) 607-624
- (7) LEYNAUD, G., Les Pollutions Thermiques. Influence de la température sur la vie aquatique. Bulletin Technique d'Information du Ministère de l'Agriculture 224 (1967) 857-881
- (8) COUTANT, C.C., Biological aspects of thermal pollution. I. Entrainment and discharge canal effects. C.R.C. Critical Reviews in Environmental Control 1.3. (1970) 341-81
- (9) VERNEAUX, J., Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse doctorat es Sci. Biol. Anim. Fac. Sci. Univ. Besançon 300 p. (1973).
- (10) BARBIER, B. et CHAMP, F., Résistance des Gammarus de la Seine aux élévations de température. Bulletin Français de Pisciculture 255 (1974) page 67 à 71.