

# BULLETIN FRANÇAIS DE PISCICULTURE

QUARANTE-HUITIEME ANNEE

N° 258

3<sup>e</sup> trimestre 1975

---

## INFLUENCE DE LA CRAIE EN POUDRE SUR LES FONDS EN VASES EN EAU COURANTE

G. ROFES \*

Note présentée lors du XIX<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale de Limnologie (S.I.L.) à WINNIPEG (CANADA) en août 1974.

---

### RESUME

L'étude de l'influence de la craie sur la vase en eau courante a été effectuée au cours d'un traitement réalisé sur un secteur de rivière de Seine-et-Marne, le Lunain. Elle a été suivie d'essais contrôlés en canal expérimental et de différents tests en laboratoire.

L'incorporation de craie à la vase est facilitée par l'activité des invertébrés (Oligochètes notamment) peuplant la surface du sédiment.

L'action de la craie paraît essentiellement imputable aux ions  $Ca^{++}$  qui, après passage en solution, provoquent une floculation des colloïdes et une diminution de la cohésion de la vase. Il en résulte un abaissement des vitesses critiques d'érosion de l'ordre de 40 % favorisant l'entraînement de la vase vers l'aval ; toutefois la présence d'une abondante couverture végétale (*Callitriche Stagnalis*) peut annuler cette action.

### 1. INTRODUCTION

Le problème de l'amélioration éventuelle des milieux aquatiques par déversement de craie a été soulevé en France à la suite de la parution dans la presse halieutique d'articles traduits de F. SAWYER. Cet auteur relate les améliorations considérables qu'il a obtenues en rivière par déversement de craie et en bassin sur fond de craie et de gravier. Son emploi entrainerait l'élimination de la vase,

---

\* Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture. Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts (CTGREF) : 14, avenue de Saint-Mandé, 75012 PARIS.

l'amélioration qualitative et quantitative de la faune benthique et des populations de truite (SAWYER, 1966).

Des essais ont été tentés en France, sur des rivières normandes en particulier (GAGNIARD, 1965), et on a pu noter dans de nombreux cas des dévasements assez spectaculaires (DARASSE, 1968 ; Y. SALES, 1969). G. VAN BENEDEN et P. VAN BENEDEN (1966) signalent l'intérêt du « désembouage des lits de rivière par des laits de craie » et les rôles possibles de ce matériau à l'égard des substances mucilagineuses.

Afin de préciser le mécanisme d'action de la craie, ses meilleures conditions d'emploi et les diverses conséquences de l'introduction de ce matériau dans les eaux, une étude expérimentale a été entreprise dans un cours d'eau de Seine-et-Marne, le Lunain, et des tests de laboratoire ont été menés parallèlement.

## 2. ETUDE EXPERIMENTALE SUR LE LUNAIN

### 2.1. Cadre géographique et caractéristiques des lieux.

Le Lunain, affluent du Loing et sous-affluent de la Seine, est une rivière salmonicole du Gâtinais prenant sa source à la limite des bassins de l'Yonne et du Loing, à 185 m d'altitude (fig. 1). Son cours, long d'une quarantaine de kilomètres, en partie souterrain, est alimenté à partir de Lorrez-le-Bocage par une résurgence et des exutoires de la nappe de la craie. Le débit moyen est de 250 l./sec. à Paley, à 3 km du point d'émergence, de 500 l./sec. à Episy, avant la confluence avec le Loing.

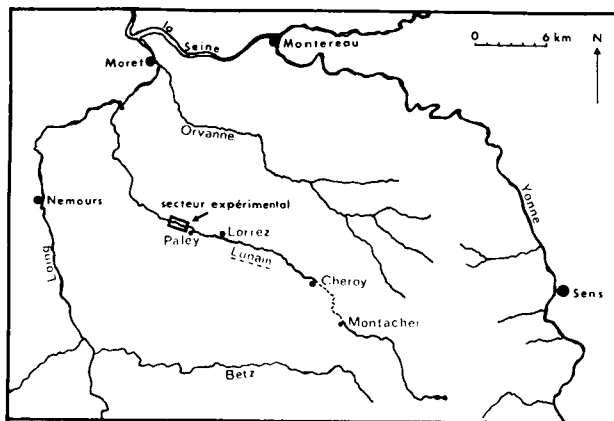


Fig. 1 : Situation du cours d'eau

La profondeur moyenne est de 0,50 m, la largeur de 5 à 6 m. Le fond, caillouteux et sableux dans les parcours rapides, ensasé dans les zones de calme, repose sur un substratum d'alluvions modernes argilo-limoneuses, d'épaisseur variable, superposées à une assise crayeuse Sénonienne.

Le secteur expérimental se situe à Paley, entre le Pont de l'Hôpital et le Moulin de Toussac (fig. 2).

Le parcours long de 560 m est sinueux ; sa profondeur augmente de 0,20 m à l'amont à 1,50 m à l'aval.

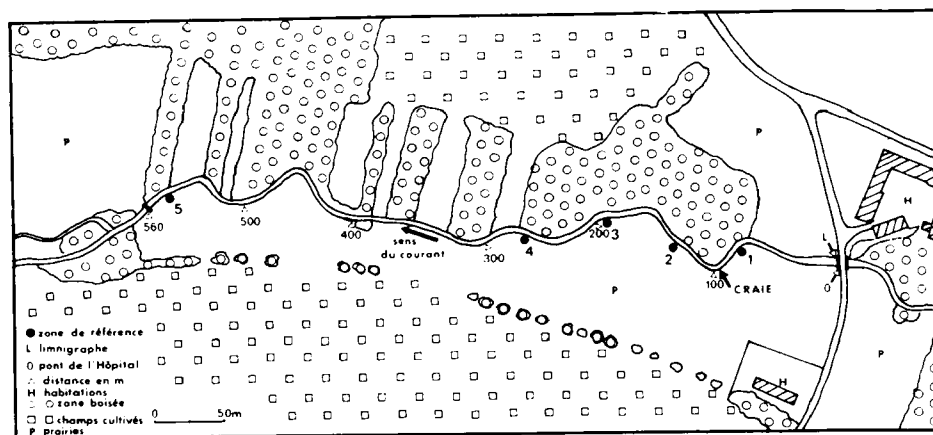


Fig. 2 : Secteur expérimental - Schéma des lieux

Les hauteurs d'eau sont contrôlées par un limnigraphe placé en tête de parcours. Les variations annuelles sont relativement faibles, causées principalement par l'extrême abondance de la végétation aquatique en période estivale. Sa présence freine l'écoulement, rehaussant le niveau de l'eau de 20 à 30 cm.

Les vitesses du courant diminuent le long du secteur, de 50 cm/sec. à 15 cm/sec. en moyenne.

Les accumulations de vase donnent naissance à des bancs dont la position latérale ou médiane change d'une saison à l'autre.

## 2.2. Dispositif expérimental et techniques employées.

Le secteur, jalonné de l'amont vers l'aval tous les 10 m, comprend 5 zones d'étude dans lesquelles ont été effectués les prélèvements et mesures « in situ », la zone amont non traitée servant de témoin.

Sur les profils en travers établis tous les 20 m par rapport à un niveau de référence, a été mesurée l'épaisseur de la vase et du couvert végétal aquatique ; ces mesures ont été effectuées à partir d'une passerelle métallique pour ne pas perturber le milieu.

Dans le but de suivre l'évolution et la dispersion éventuelles des vases sous l'action de la craie, des marquages au moyen de  $^{46}\text{Sc}$  ont été effectués en un point de chacune des zones 1, 2, 3 et 4 par le Commissariat à l'Énergie Atomique (CAILLOT et GOURLEZ, 1974).

La proximité des berges des gites marqués et leur envahissement par la végétation aquatique s'opposant à l'entraînement des sédiments, n'ont pas permis de tirer toutes les informations recherchées.

### 2.2.1. Epannage de craie.

La craie, finement pulvérisée, provient des carrières de Champagne (1). Elle est constituée essentiellement de plaquettes calcaires microscopiques dérivées des coccolithes. Sa teneur en carbonates de calcium est voisine de 99 % ; s'y

(1) Commercialisée sous le nom de NAUTEX par la Société OMYA.

ajoutent quelques impuretés (argile, carbonate de magnésium, silice, oxyde de fer, etc.).

La craie est mélangée à l'eau à partir de sacs immergés en travers du lit (GAGNIARD - 1965) ou déversée sous forme de lait de craie ; elle est entraînée par le courant en nuages denses se répartissant uniformément sur les fonds. Le trouble occasionné disparaît rapidement, sans nuisance apparente.

Une pellicule blanche recouvre les fonds et disparaît au bout de 2 à 3 jours. L'opération est alors renouvelée jusqu'au départ de la vase.

Le traitement du secteur expérimental a débuté le 30 janvier 1973 au point 10, par l'immersion d'une tonne de craie en sacs suivie d'apports de lait de craie à 500 g/l. Au total 3 tonnes de craie ont été déversées en 6 mois.

### **2.2.2. Mesures in situ.**

Les divers prélèvements accompagnés de mesures *in situ* ont eu lieu en janvier (I), mars (II), mai (III) 1973.

Les mesures de pH, rH, Eh dans l'eau et la vase, sont effectuées à l'aide d'électrodes-cannes de 1 m, graduées de dm en dm, comprenant une électrode de verre, une électrode platine, une électrode de référence.

Le faisceau d'électrodes est relié à un pH-rH mètre PONSELLE, type « PVR ».

La température est relevée lors de chaque mesure.

### **2.2.3. Analyses de laboratoire.**

La vase prélevée en surface sur 10 cm d'épaisseur, à l'aide d'un carottier ou d'une drague à main, est convenablement homogénéisée. Une fraction est centrifugée à 3 000 t/mn pour en extraire la phase liquide (eau interstitielle). Celle-ci est aussitôt analysée selon les méthodes classiques (normes A.F.N.O.R.).

Une autre fraction est passée sur tamis à mailles de 2 mm et utilisée pour les tests rhéologiques, l'extraction des matières humiques, la détermination de la teneur en eau et la concentration de matière sèche par litre de vase après séchage à l'étuve à 110 °C. Une part de la vase séchée est finement broyée pour analyse : carbone organique (méthode ANNE), azote KJELDAHL, perte au feu (550 °C), carbonates, calcium ; l'autre est réservée aux mesures granulométriques.

Les débris végétaux sont séparés par densimétrie de la fraction de sédiment supérieure à 100 microns.

Les tests rhéologiques sont réalisés à l'aide d'un viscosimètre à corps tournant, type BROOKFIELD RVT, à 8 vitesses.

Ces tests permettent d'apprécier la cohésion de la vase et sa viscosité relative, par des mesures de la rigidité initiale et du taux de cisaillement (MIGNIOT, 1968).

Ces mesures effectuées en laboratoire à 20 °C n'ont qu'une valeur comparative.

## **2.3. Résultats.**

Les résultats sont résumés dans le tableau I et les figures 3, 4, 5 et 6.

Campagnes	I (22-01-73)				II (8-03-73)				III (16-05-73)			
	pH	rH	Eh (mV)	°C	pH	rH	Eh (mV)	°C	pH	rH	Eh (mV)	°C
Eau courante	7,2	33	+ 355	8	7,5	33	+ 340	8	7,4	33	+ 330	12
Vase (cm sous l'interface)												
Zone témoin 1	7,0	23	+ 70	8	7,1	29	+ 240	8	7,1	23	+ 60	12
	6,7	19	— 35	"	6,9	23	+ 75	"	6,8	21	+ 20	"
	6,6	19	— 30	"	6,5	19	— 20	"	6,6	21	+ 30	"
	6,7	19,5	— 20	"	—	—	—	—	6,5	20	+ 10	"
Moyenne des zones 2, 3, 4, 5	6,9	21	+ 15	8	7,1	26	+ 150	8	7,1	23	+ 60	12
	6,8	20	— 10	"	6,8	23	+ 80	"	6,8	21	+ 20	"
	6,7	19,5	— 20	"	6,6	22	+ 60	"	6,6	19	— 30	"
	6,7	19,5	— 20	"	6,5	19,5	— 10	"	6,7	18,5	— 50	"
	6,6	19	— 30	"	6,6	18	— 60	"	6,5	18	— 50	"

Tableau I : Résultats des mesures in situ au cours des 3 campagnes.

L'eau du Lunain est légèrement alcaline, peu chargée en suspensions (4 mg/l en moyenne). La turbidité en temps normal est voisine de 2 J.T.U. (1) ; en période d'orage, elle s'élève rapidement jusqu'à 20 J.T.U.

Le rH de l'eau, voisin de 33, correspond à des eaux peu profondes (RIVIERE, 1959), au-dessus d'herbiers aquatiques et bien oxygénés.

Le pH de la vase est proche de la neutralité sous l'interface sédiment-eau. Au cours du traitement, il devient très légèrement alcalin. Cette variation de faible amplitude et parallèle à celle constatée dans la zone témoin est peu significative.

L'augmentation des valeurs du rH en mars est générale dans les 5 zones. En mai, les mesures sont voisines de celles de janvier et égales sur l'ensemble du secteur.

Les valeurs du pH, rH et du Eh évoluent peu en profondeur.

L'eau interstitielle est plus chargée en sels dissous que l'eau surnageante, caractère déjà signalé pour les sédiments de lac ou de rivière par différents auteurs (HARRIS 1967, BRUNSKILL et HARRIS 1969, BRUNSKILL et al. 1971, WEILER 1973).

L'eau fraîchement extraite des vases examinées est de couleur ambre.

La figure 3 présente une comparaison des résultats des analyses ayant trait au parcours témoin d'une part, au parcours traité à la craie d'autre part. Dans celui-ci, les résultats propres à chacune des zones sont très voisins et figurent sous forme de moyennes facilitant les comparaisons.

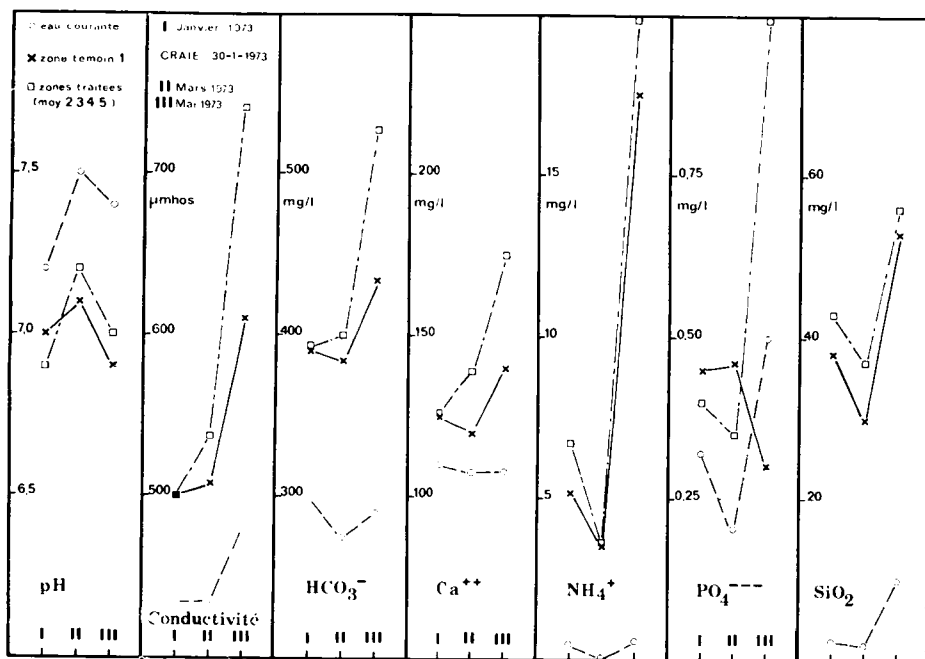


Fig. 3 : Eau interstitielle - Evolution au cours des campagnes I, II, III.

(1) Jackson Turbidity Units.

Le traitement à la craie entraîne une modification de la qualité de l'eau interstitielle, se traduisant par une élévation de la conductivité, des teneurs en bicarbonates, calcium et phosphates. La teneur en sels ammoniacaux augmente sur l'ensemble du secteur entre les campagnes II et III, vraisemblablement en raison de l'accroissement saisonnier de l'activité bactérienne.

L'évolution de la qualité de l'eau courante est parallèle à celle de l'eau interstitielle comme le montre la figure 3.

Le support minéral de la vase est fin, à dominante silteuse (limon - sable fin). Les courbes granulométriques forment un faisceau étroit dont la médiane ( $Md_{50}$ ) est voisine de 15 microns (fig. 4) ; sa composition est la suivante : argile (20 %), limon (35 %), sable fin (40 %), sable grossier (5 %).

L'argile étudiée aux rayons X apparaît constituée essentiellement de Montmorillonite et secondairement de Kaolinite et d'une très faible proportion d'Illite et de Chlorite.

Les résultats des analyses physico-chimiques pratiquées sur l'ensemble du sédiment broyé sont présentés figure 5, identiquement à ceux relatifs à l'eau interstitielle.

Ils mettent en évidence l'évolution suivante du sédiment après l'épandage de craie :

- élévation des teneurs en eau, en carbonates et en calcium ;
- diminution de la concentration.

L'hétérogénéité du sédiment et l'évolution saisonnière des concentrations ne permettent pas de tirer des conclusions nettes concernant la matière organique.

L'évolution des caractéristiques rhéologiques représentée à la figure 6 est beaucoup plus marquée.

Le traitement à la craie entraîne une diminution très importante de la rigidité initiale et du taux de cisaillement.

### 3. ETUDE EXPERIMENTALE AU LABORATOIRE

L'entraînement de la vase par le courant dépend de la force tractrice s'exerçant sur les fonds, de la nature de la vase et de son état de tassement (MIGNIOT 1968).

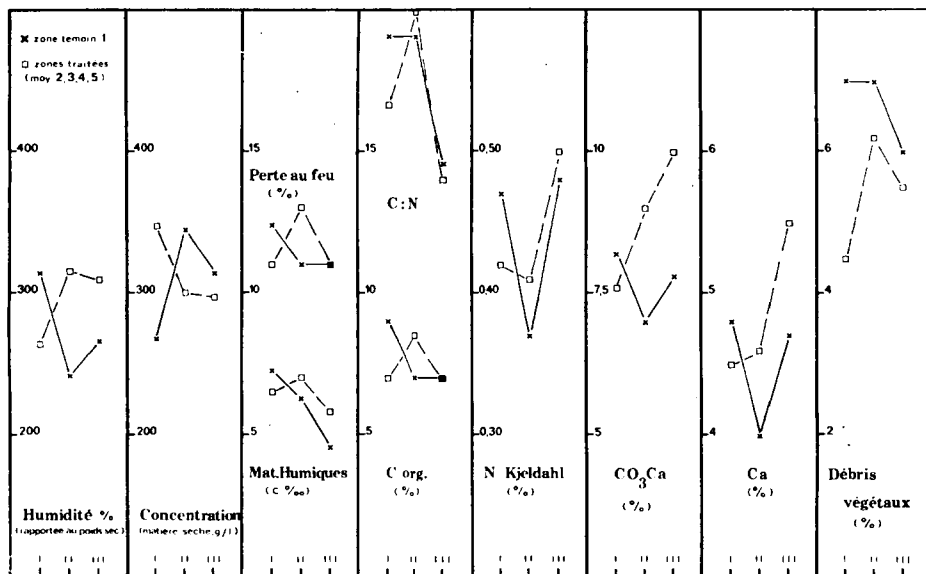
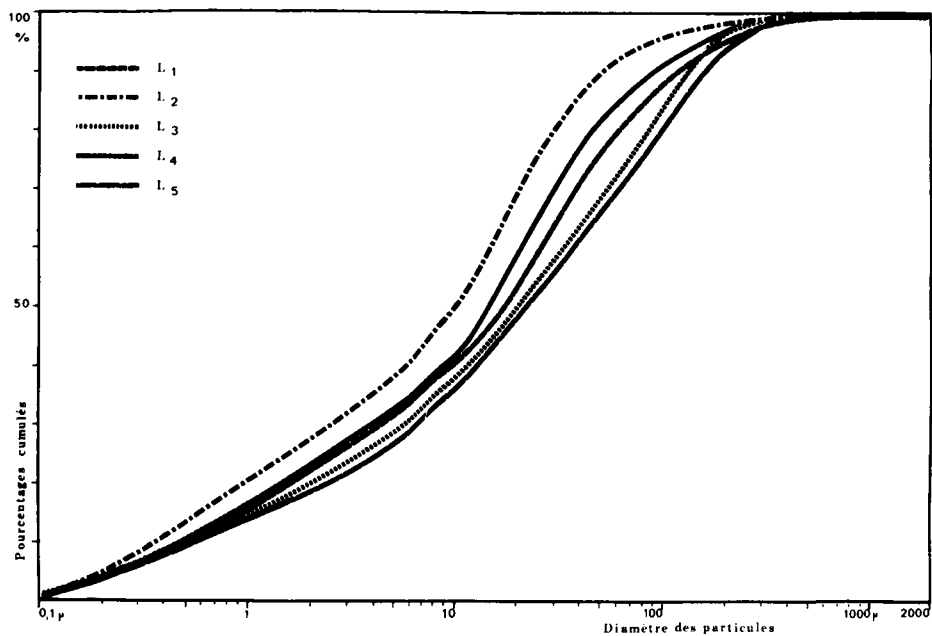
Les essais effectués visent à établir les vitesses critiques de frottement  $U_c$  pour lesquelles la vase est entraînée, avant et après apport de craie.

A cet effet, un canal expérimental de 2 m de long, 0,20 m de large, 0,30 m de profondeur, à parois latérales vitrées, a été construit et installé sous abri.

La vase y est disposée sur une épaisseur de 10 cm et sous 15 cm d'eau.

Une pompe à débit réglable permet d'obtenir des vitesses de courant de 0 à 0,60 m/s ; elles sont contrôlées au moyen d'un courantomètre HYDROTECHNICA.

Après mise en place de la vase, le canal est alimenté par un faible courant jusqu'à équilibre du sédiment et de l'eau (généralement au bout de 3-4 semaines). La vitesse du courant est ensuite progressivement augmentée jusqu'à entraînement de la vase testée, successivement avant et après apport de craie.





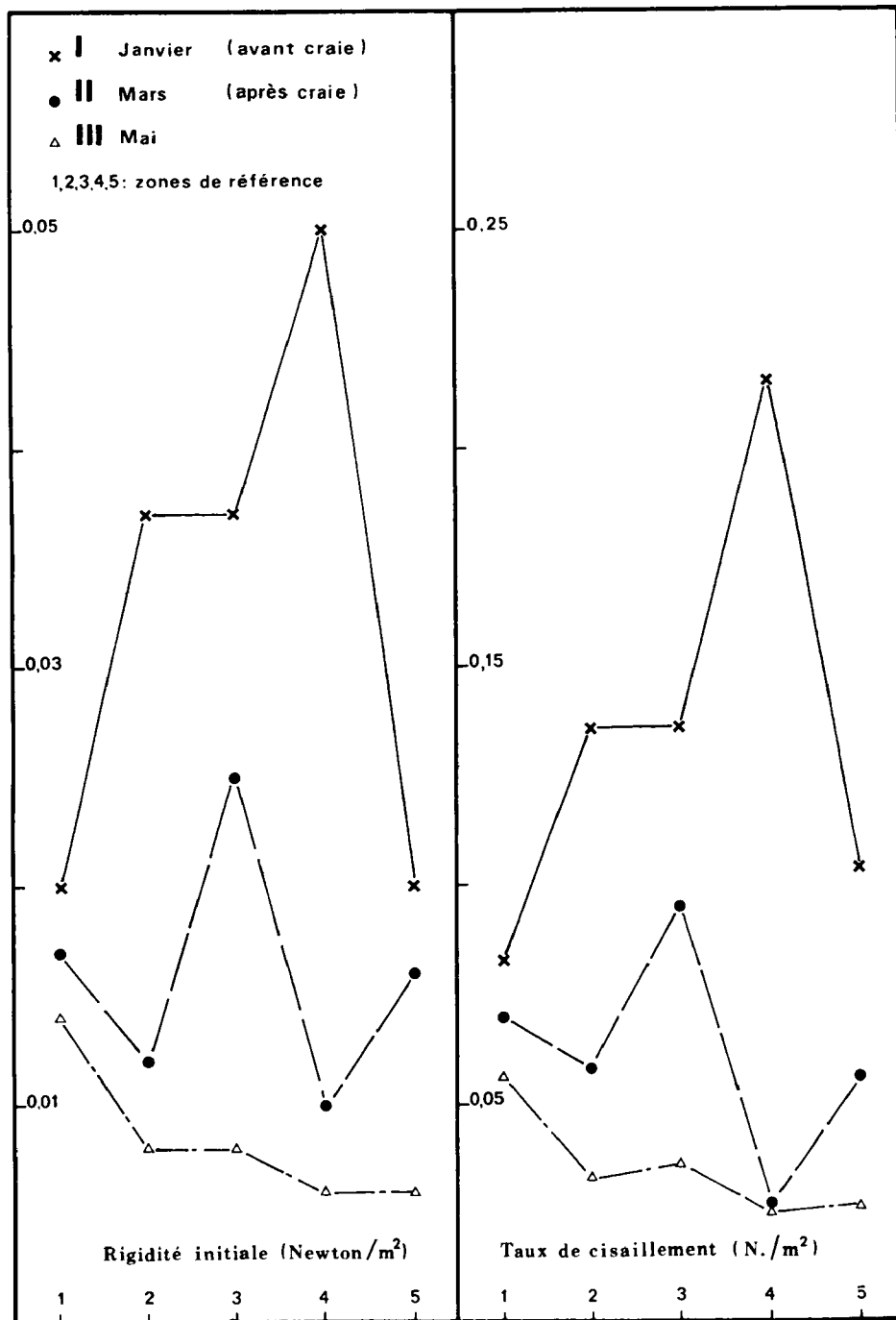


Fig. 6 : Cohésion de la vase. Evolution après traitement par la craie.

Les apports de craie sont effectués sous forme de lait de craie, au même rythme et en même quantité rapportée à la surface traitée que dans la rivière étudiée.

La vase provenant du secteur expérimental est peuplée d'Oligochètes à raison de 70 à 100 individus par  $dm^2$ .

L'activité fécale de certains Oligochètes serait liée à la température du milieu (APPLEBY et BRINKHURST, 1970). La température correspondant à un maximum d'activité varierait d'une espèce à l'autre (14 °C pour *Pelosclex Multi-setosus*, 18 °C pour *Tubifex tubifex* et supérieure à 20 °C pour *Limnodrilus hoffmeisteri*).

Dans la vase ayant servi aux essais en canal, les Oligochètes suivants ont été identifiés : *Limnodrilus hoffmeisteri* (Claparède), *Limnodrilus udekermianus* (Claparède), *Potamothrix hammoniensis* (Michaelsen), *Tubifex ignotus* (Stole), *Psammoryetides barbatus* (Grube).

Leur activité est telle que la pellicule de craie déposée au moment de l'application disparaît entièrement au bout de 24 à 48 h., recouverte par une couche de déjectons de vase de quelques millimètres d'épaisseur.

La craie s'incorpore peu à peu à la vase et lui confère une couleur plus claire sur une épaisseur de 2 cm.

La surface unie de la vase se morcelle peu à peu, prenant un aspect légèrement floconneux. Ce stade, à partir duquel l'entraînement de la vase par le courant est facilité, apparaît au bout de 5 semaines environ.

Les vitesses minimales du courant près du fond, nécessaires pour provoquer un début d'érosion de la vase, sont les suivantes (fig. 7) :

- sans craie,  $U = 23 \text{ cm/s.}$ ,  $U_* = 1,2 \text{ cm/s.}$
  - avec craie,  $U = 14 \text{ cm/s.}$ ,  $U_* = 0,8 \text{ cm/s.}$
- avec  $U =$  vitesse lue sur le courantomètre,  
 $U_* =$  vitesse reliée à la force tractrice.

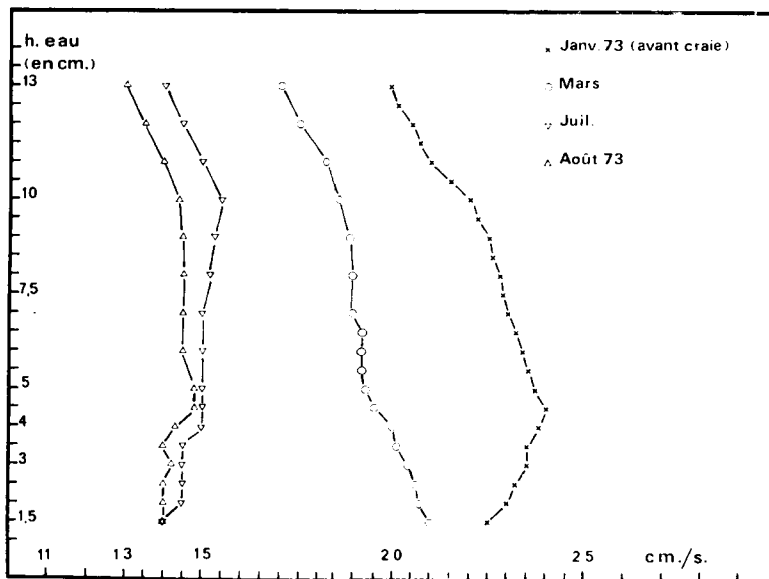


Fig. 7 : Profils verticaux des vitesses de courant en canal (sous 15 cm d'eau) et vitesses limites d'érosion.

La vitesse critique d'érosion de la vase traitée par la craie est donc réduite de 40 %. Des résultats du même ordre ont été observés au cours d'essais sur des vases de provenances diverses (ROFES, 1971).

Les vitesses limites d'érosion recherchées en rivière sur les parcours, traité et non traité (fig. 8), sont, au niveau du fond, voisines de celles observées en canal :

- sans craie,  $U = 26 \text{ cm/s.}$ ,  $U_* = 1,3 \text{ cm/s.}$
- avec craie,  $U = 15 \text{ cm/s.}$ ,  $U_* = 0,9 \text{ cm/s.}$

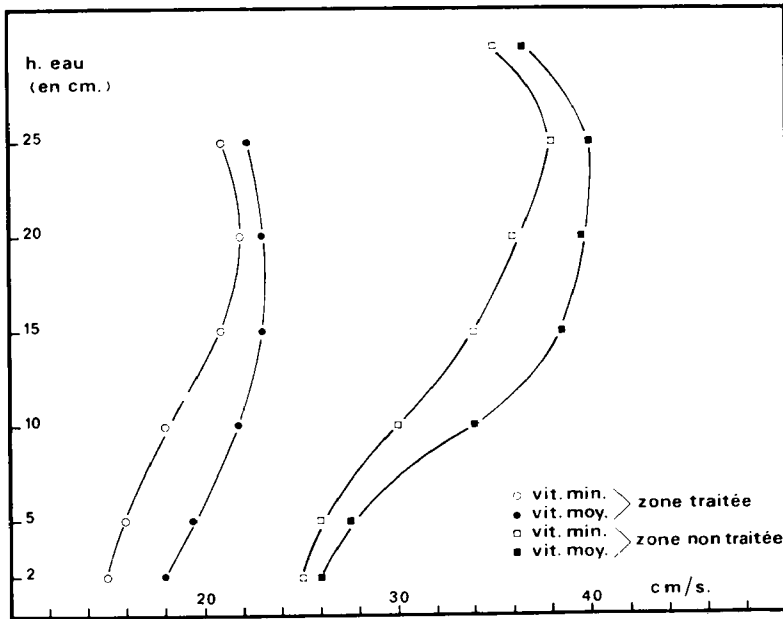
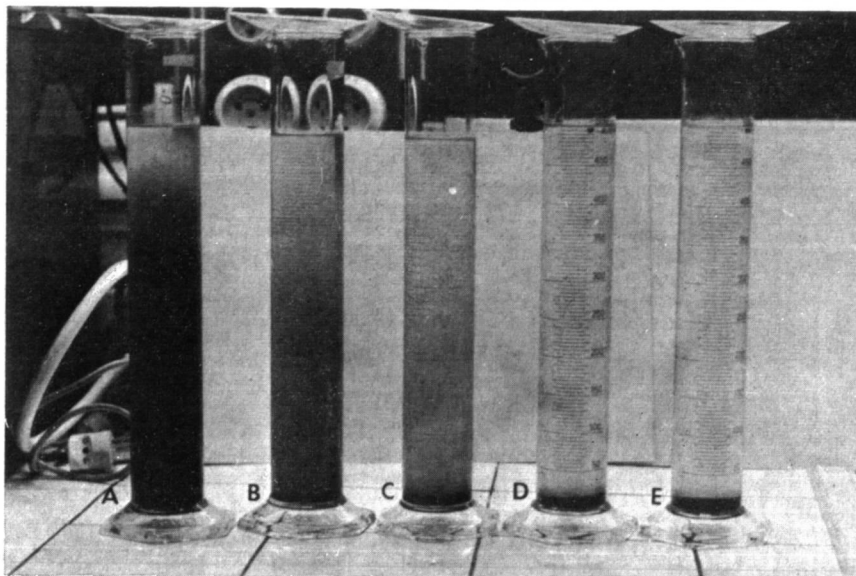


Fig. 8 : Vitesses d'érosion en rivière.

Une expérimentation complémentaire a été réalisée dans le but de préciser l'action floculante des ions calcium sur les colloïdes de la vase. Une suspension de vase en provenance du Lunain, tamisée à 40 microns et d'une concentration de 5 g/l, a été mélangée à des solutions de calcium (à partir de chaux éteinte) titrant respectivement 150 (A), 200 (B), 250 (C), 300 (D) et 350 (E) mg/l et disposée dans des éprouvettes de 1 l. La vitesse de sédimentation a été appréciée en mesurant à divers intervalles de temps l'épaisseur des culots (cf. tableau II et figure 9).

Eprouvettes	A		B		C		D		E	
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%
Temps d'observation										
0 h 15	0,2	1	2,5	22	5	45	8	72	9	81
1 h	1,5	13	5	45	7	63	8,5	77	9,2	83
8 h	3,5	31	8	72	8,5	77	9	81	10	90
24 h	4	36	9	81	9	81	9	81	11	100

Tableau II : Epaisseur des culots de vase en fonction du temps, en cm et % rapporté à E 24 h.



**Fig. 9 : Vitesse de sédimentation**

Cette expérimentation montre qu'un apport suffisant de calcium accélère considérablement la floculation et le dépôt de la vase.

#### **4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS**

Les résultats des essais de laboratoire permettent d'espérer, après traitement à la craie, un dévasement plus ou moins sensible en raison de l'abaissement important des vitesses critiques d'érosion.

Ce comportement des vases paraît beaucoup plus lié à un changement de structure, vraisemblablement sous l'action floculante des ions calcium, qu'à une modification profonde de la composition chimique.

Les observations et mesures effectuées sur le terrain confirment ces résultats, l'entraînement des vases coïncide avec le changement observé dans la structure (formation de flocons) environ 5 semaines après le traitement.

Toutefois, dans le cas du Lunain, l'entraînement des vases a été très limité en raison du développement intensif de la végétation survenant au même moment.

L'évolution des volumes de vase, retracée à la figure 10, montre en effet une diminution par érosion d'environ 13 % des dépôts dans les 200 mètres suivant le point d'application de la craie et une augmentation par dépôt du même ordre dans la partie aval du secteur étudié.

Cette action de la végétation, fonction de l'époque du traitement, le comportement probablement différent des vases selon leur nature et le dosage de craie appliqué, l'influence du régime hydrologique (situation des crues par rapport à l'époque de traitement), permettent d'expliquer la variabilité des résultats effectifs obtenus au cours d'opérations de ce type sur différentes rivières (BERNARD, 1969).

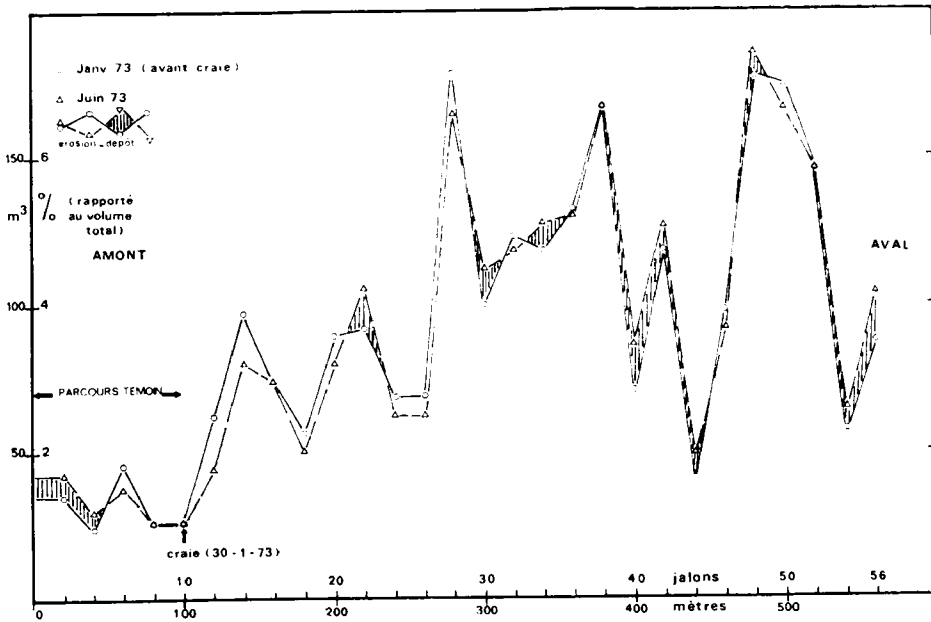


Fig. 10 : Evolution du volume des vases.

Le rôle apparemment prépondérant du calcium dans l'entraînement des vases, permet de supposer l'obtention de résultats analogues avec d'autres sels de calcium.

### REMERCIEMENTS

L'étude du Lunain, actuellement en cours, est réalisée avec la participation des services suivants :

- Direction Départementale de l'Agriculture de Seine-et-Marne ;
- Laboratoire Central d'Hydraulique de France ;
- Section d'Application des Radioéléments du C.E.A. ;
- Laboratoire d'Ecologie Végétale. Faculté des Sciences d'ORSAY ;
- Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture du CTGREF (PARIS).

Nous remercions M<sup>lle</sup> NISBET, M<sup>mes</sup> PARISELLI et RIDET de leur aide dans l'accomplissement des analyses, M. LAFONT pour la détermination de la faune, MM. GATINEAU et JAMAIN de leur précieuse collaboration sur le terrain.

### BIBLIOGRAPHIE

- ADOLPHE J.-P., ROFES G., 1973. Les concrétionnements calcaires de la Lévrière. *Bull. Assoc. Fr. Et. Quat.*, 2, 79-87.
- ARRIGNON J., 1966. Etude hydrobiologique du Lunain. *Cons. Sup. Pêche*, 1<sup>re</sup> Région Piscicole, 49 p. photocopiées.
- BERNARD A., 1969. Opérations de déversement de craie « Nautex » effectuées dans le secteur de Saint-Paer. *Direct. Départ. Agric. Eure. Rapport non publié.*

- BRUNSKILL G. J. et HARRIS R. C., 1969. Fayetteville Green Lake, New-York. IV. Interstitial water chemistry of the sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 6, 918-931.
- BRUNSKILL G. J., POVOLEDO D., GRAHAM B. W. et STANTON M. P., 1971. Chemistry of Surface Sediments of Sixteen Lakes in the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Bd Canada*, 28, 2, 277-294.
- APPLEBY A. G. et BRINKHURST R. O., 1970. Defecation rate of three tubificid Oligochaetes found in the sediment of Toronto Harbour, Ontario. *J. Fish. Res. Bd Canada*, 27, 11, 1971-1982.
- CAILLOT A. et GOURLEZ F., 1974. (Communication personnelle).
- DARASSE F., 1968. Trois années de traitement à la craie sur des rivières de Normandie. *Plaisirs Pêche*, 118, 30-31.
- GAGNIARD A., 1965. Bilan d'une année « de craie ». *Truite-Ombre-Saumon*, 9, 15-17.
- HARRIS R. C., 1967. Silica and chloride in interstitial waters of river and lake sediments. *Limn. Oceanogr.*, 12, 1, 8-12.
- HYNES H. B. N., 1972. *The Ecology of Running Waters*. Liverpool University Press Edt. : 555 p.
- LEYNAUD G., 1969. Possibilités d'amélioration des lacs ou des rivières par immersion de craie. In *Colloque sur la Biologie et l'Aménagement des Pêches*. Stn. Hydrobiol. Biarritz, 27 p.
- MARTY C., 1972. Etude microbiologique de l'influence du Carbonate de Calcium sur la vase de l'étang de Léon. *Dipl. Et. Sup.*, Univ. Bordeaux : 67 p.
- MIGNIOT C., 1968. Etude des propriétés physiques de différents sédiments fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques. *La Houille Blanche*, 7, 591-620.
- RIVIERE A., VERNHET S., 1959. Etats d'oxydo-réduction dans les milieux naturels. Technique de détermination directe du rH. Quelques résultats en milieu lagunaire. *Cahiers C.C.O.E.C.*, 11, 5, 305-314.
- ROFES G., 1971. Amélioration des étangs ou des rivières par immersion de craie. In *Colloque sur la Biologie et l'Aménagement des Pêches*. Stn. Hydrobiol. Biarritz, 16 p.
- ROFES G., 1973. Amélioration des étangs ou des rivières par immersion de craie. In *Colloque sur la Biologie et l'Aménagement des Pêches*. Stn. Hydrobiol. Biarritz, 23 p.
- SAWYER F., 1966. L'amélioration des rivières par déversement de craie en poudre. *Truite-Ombre-Saumon*, 11, 12-24.
- SALES L., 1969. La craie ? Un miracle. *Plaisirs Pêche*, 129, 19-20.
- VAN BENEDEN G. et VAN BENEDEN P., 1966. Le désembouage des lits des rivières par lait de craie et la lutte contre l'eutrophisation. *Centr. Belg. Et. Doc. Eaux*, 270, 227-234.
- WEILER R. R., 1973. The interstitial water composition in the sediments of the Great Lakes. I. Western Lake Ontario. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 6, 918-931.