

2218

These. FR. 1612

FACULTE DES SCIENCES DE MARSEILLE

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE TERRESTRE ET LIMNIQUE

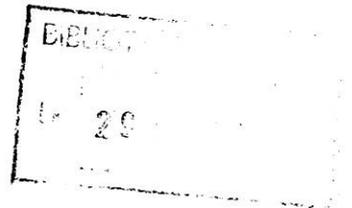
ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CONTAMINATION
DE MARGARITANA MARGARITIFERA (L) PAR LE ¹³⁷CESIUM

Thèse de Doctorat de Spécialité de Biologie Appliquée
(Option écologie terrestre et limnique)

présentée par

Monsieur L. FOULQUIER

69 35 0



Décembre 1966

FACULTE DES SCIENCES DE MARSEILLE
LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE TERRESTRE ET LIMNIQUE

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CONTAMINATION
DE MARGARITANA MARGARITIFERA (L) PAR LE ¹³⁷CESIUM

Thèse de Doctorat de Spécialité de Biologie Appliquée
(Option écologie terrestre et limnique)

présentée par

Monsieur L. FOULQUIER

Décembre 1966

JURY

Président : Mr le Professeur M. ABELOOS
Mr le Professeur René MOLINIER
Mr le Professeur J. TIMON-DAVID
Mme D. SCHACHTER

Invités : Mr le Professeur M. AVARGUES
Mr P. BOVARD

SOMMAIRE

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA CONTAMINATION DE MARGARITANA MARGARITIFERA (L) PAR LE ¹³⁷CESIUM

I - INTRODUCTION.

II - DONNEES GENERALES D'ECOLOGIE.

1. Matériel
2. Chimie de l'eau et du sédiment.
3. La flore et la faune.

III - BASES ET METHODES DE LA CONTAMINATION.

1. Raisons du choix de l'espèce.
 - a) Intérêt biogéographique.
 - b) Intérêt biologique et physiologique.
 - c) Intérêt pour le contrôle sanitaire.
2. Méthodes expérimentales.
 - a) Conditions chimiques.
 - b) Conditions biologiques.
 - c) Méthode de contamination et de comptage.

IV - RESULTATS.

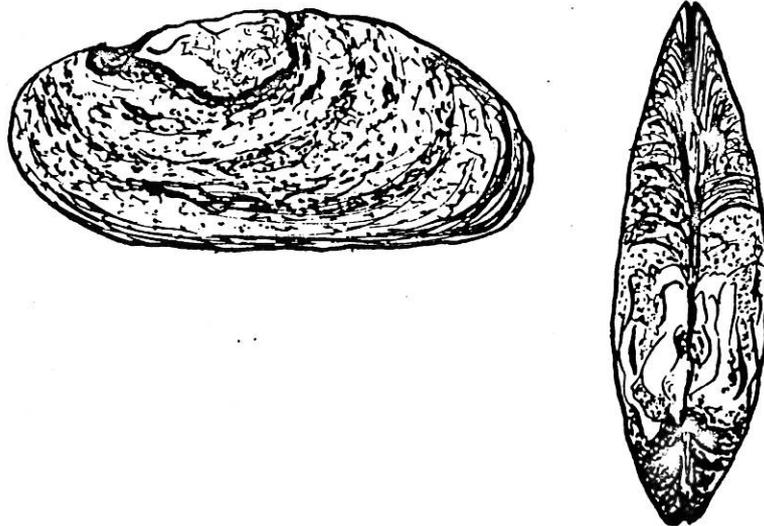
1. Décroissance de l'activité de l'eau.
2. Variations de l'activité de l'animal.
 - a) Coquilles et parties molles.
 - b) Activité des organes.
 - c) Facteurs de concentration.
3. Influence du passage d'une veine liquide non contaminée.
4. L'activité du sédiment et le bilan global.

V - CONCLUSION

VI - RESUME.

BIBLIOGRAPHIE.

ANNEXE : Essai de représentation mathématique des courbes expérimentales.



Spécimen ADULTE DE

Margaritana margaritifera (L)

d'après W. ADAM.



I - INTRODUCTION.

La radioactivité, en dehors de la radioactivité naturelle, provient des retombées après les explosions nucléaires et des différents déchets issus des usines. L'origine multiple de la contamination et les différents milieux rendent complexes ces études. En effet, dans chaque milieu le comportement des radionuclides a des caractéristiques propres. Peredel'sky précise : "La signification particulière de la radioécologie réside dans la possibilité de bien comprendre les chemins de la transmission des radioisotopes, leurs concentrations et leurs dispersions, l'autoépuration biologique des aires naturelles à partir des pollutions radioactives ainsi que l'augmentation du danger pour l'homme due à la chaîne écologique des organismes du milieu ou de culture". Ces données synthétiques vers lesquelles on doit tendre ne peuvent s'obtenir que par une "dissection des phénomènes et un ensemble coordonné d'études analytiques". La radioécologie branche relativement moderne de l'écologie fait donc appel à un grand nombre de disciplines puisqu'elle a pour objet l'étude du cheminement des radioisotopes du milieu jusqu'à l'homme . Elle correspond à un travail d'équipes.

Nous nous proposons d'étudier ici une partie du problème dans le cadre de la protection radiologique des sites. Il importe en effet de connaître les possibilités de fixation de tel ou tel radioisotope à l'intérieur de l'organisme vivant. Le ^{137}Cs produit de fission important et dangereux, à vie longue, fera l'objet de cette première étude. Nous savons que le ^{137}Cs provient des explosions nucléaires de la fission des atomes de ^{235}Pu et de ^{239}U . On le retrouve par conséquent dans les "retombées". Le ^{137}Cs est aussi produit par traitement du combustible irradié dans les réacteurs nucléaires. Ce radioélément rentre donc dans la gamme des "déchets" rejetés en mer ou en rivière.

Mais avant d'étudier la capacité de fixation du ^{137}Cs par *Margaritana margaritifera* (L), je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur Abeloos qui m'a conseillé dans mon travail et qui, tout au long de mes études m'a enseigné la biologie de manière dynamique en ayant soin de m'inciter à réfléchir plutôt qu'à apprendre.

Je remercie Monsieur Molinier, Monsieur Timon-David et Madame Schachter d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse et de continuer à me considérer comme leur élève.

Je remercie très vivement Monsieur Avargues qui a sacrifié une partie de son temps précieux pour assister à cette thèse. Qu'il sache que nous sommes conscients de son effort permanent pour nous aider dans notre travail.

Je tiens à remercier Monsieur Bovard, chef de la section de radioécologie et Monsieur Grauby chef de groupe à Cadarache pour l'aide continuelle qu'ils m'apportent dans tous les domaines.

Qu'il ne soit pas oublié ici, le concours de tous les membres du groupe de radioécologie continentale en particulier celui de Monsieur Lambrechts.

Dans le cadre de la radioécologie le but principal de l'hydrologie est de déterminer la capacité de fixation des radioéléments par les espèces d'eau douce. Nous avons choisi ici un lamellibranche dulcicole vivant en pays cristallin. (L'étude se situe en Bretagne dans le massif du Huelgoat). Ceci dans le but de tendre vers une synthèse sur le problème de la contamination des bivalves par comparaison avec les travaux en cours ou déjà effectués en France comme à l'étranger. Les études ont surtout été menées sur des espèces d'*Unio* et d'*Anodonte*.

Nelson essaye de démontrer que les lamellibranches d'eau douce peuvent servir d'indicateurs de la contamination par le ^{90}Sr Strontium.

La concentration dans les coquilles serait de l'ordre de 2500 à 9000 fois celle de l'eau. Ravera et Merlini n'ont pu détecter le ^{54}Mn des retombées nucléaires qu'en analysant des Unios. Brung avec du ^{85}Sr montre que si la teneur en calcium augmente le niveau de concentration diminue. Ophel donne un facteur de concentration global de l'ordre de 30 pour les lamellibranches contaminés au ^{90}Sr . Poveljagina et Teltchenko montrent cependant que le facteur de concentration pour le ^{90}Sr et pour le ^{89}Sr est plus élevé pour le corps que pour la coquille de *Dreissena polymorpha*, *Anodonta cygnea* et *Unio pictorum*. Pour le ^{137}Cs la majeure partie de l'activité est fixée dans les parties molles. Pour *Mytilus galloprovincialis* (Argiero; Manfredini et Palmas) le facteur de concentration est de l'ordre de 6 pour les parties comestibles. Le ^{65}Zn , le ^{54}Mn , le ^{32}P et le ^{144}Ce sont également retenus par les parties molles des mollusques.

Il est difficile, vu les différentes méthodes d'expérimentation de tirer des conclusions générales. Cependant, il semble, que quel que soit le radioélément, l'activité réellement fixée se situe principalement au niveau des parties molles des mollusques gastéropodes et lamellibranches marins ou dulcicoles.

Nous retiendrons les idées générales suivantes :

- pour les produits de fission :

Le ^{90}Sr se fixe de manière importante dans les parties molles mais également sur la coquille. Le ^{137}Cs se fixe principalement dans les tissus mous. Le ^{144}Ce se retrouve surtout dans les particules retenues par l'appareil filtrant.

Le Ru^{106} est absorbé principalement par les parties molles des mollusques lamellibranches. Cependant cette absorption dépend des formes physico-chimiques que peut prendre le Ruthenium dans l'eau. Il semble que le facteur de concentration soit plus élevé pour le chlorure de Ruthenium que pour le Nitrate de ruthenium. (En milieu marin).

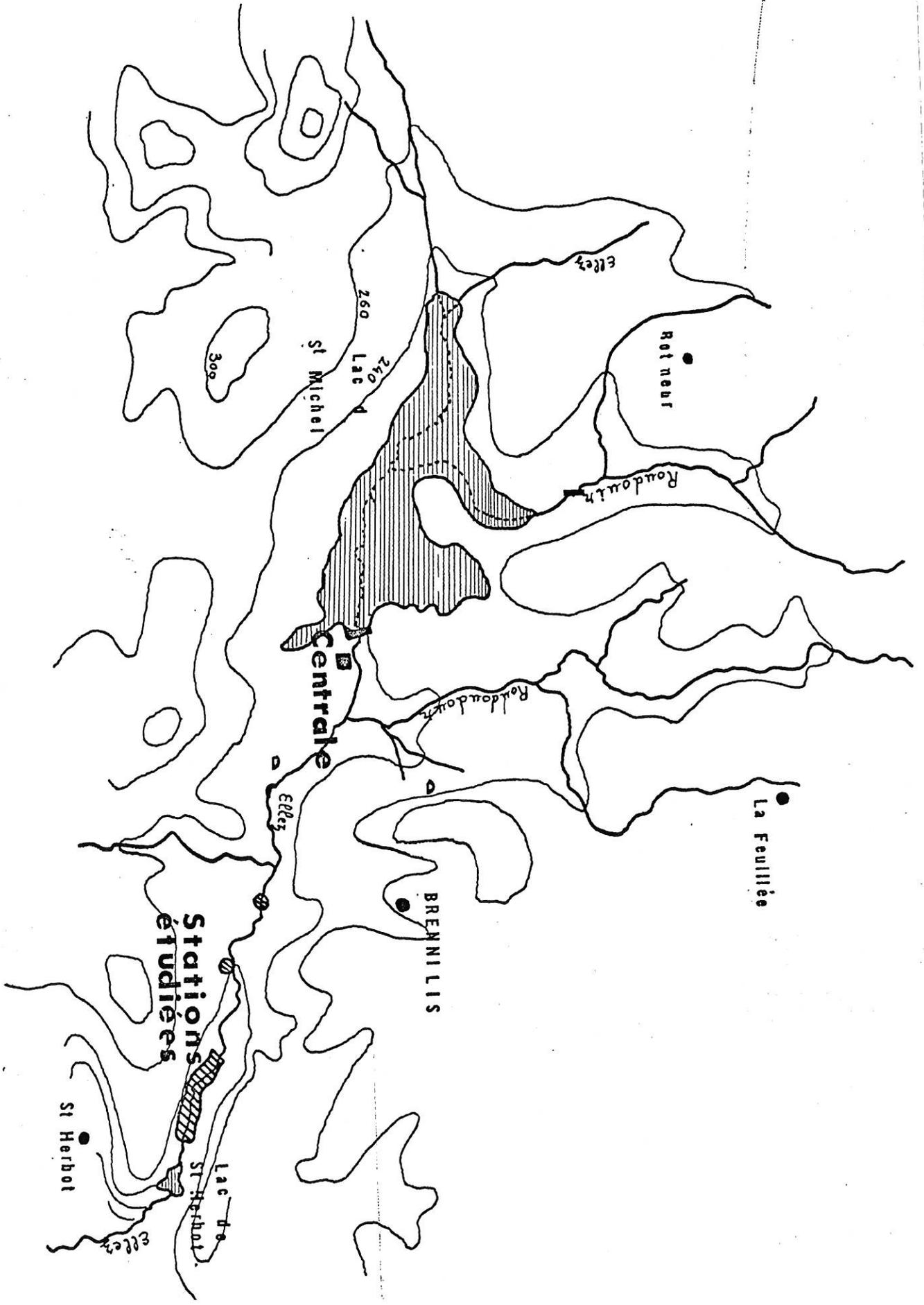
- pour les produits induits :

Le ^{65}Zn et le ^{32}P en dehors des phénomènes d'adsorption finissent par s'accumuler dans les parties molles. (Branchies, manteau, muscles adducteurs)

Le ^{54}Mn est fixé de manière plus importante par les tissus mous que par la coquille.

L'étude que nous présentons concernant la capacité de fixation du ^{137}Cs par *Margaritana margaritifera* (L) fait partie d'une série d'expériences sur les possibilités de contamination des bivalves d'eau douce de différents biotopes.

CARTE n° 1



II - DONNEES GENERALES D'ECOLOGIE.

Nous ne présentons ici que quelques données importantes pour la connaissance du site. La région étudiée s'étend sur les Monts d'Arrée à trois cents mètres d'altitude environ dans le massif du Huelgoat en Bretagne. Une centrale de l'E.D.F. est en cours d'aménagement. Le réseau hydrographique est constitué de deux lacs de barrage intercalés sur le cours d'une rivière. (Carte n°1).

Cette région se caractérise surtout par sa grande humidité -(hauteur normale des précipitations : 1380 mm)- les précipitations sont fréquentes mais dominant en hiver. Cette zone est soumise aux influences océaniques mais l'éloignement de la mer et l'altitude lui confère une certaine continentalité -(la pluviosité est plus accentuée et les températures froides).

L'indice d'aridité de E de Martonne est de l'ordre de 40 à 50.

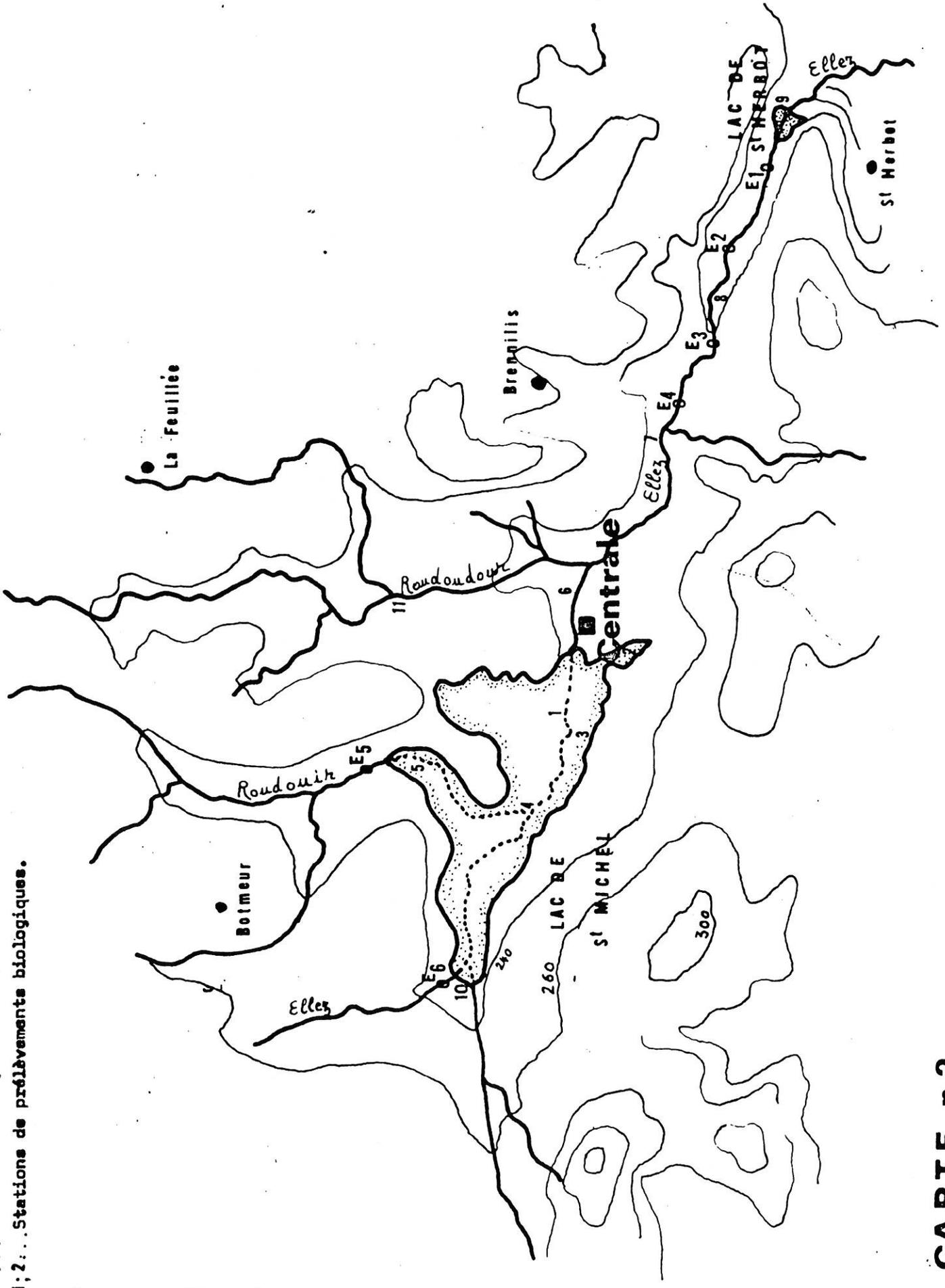
Au point de vue géologique nous sommes en présence d'un massif granitique (Huelgoat) "intrusif dans des terrains sédimentaires d'âge primaire".

II.1. Matériel.

Nous n'insisterons pas sur ce point. Nous utilisons le matériel classique des hydrobiologistes qui est en continuel perfectionnement.

- Les prélèvements d'eau ont été effectués à l'aide de bidons en polyéthylène dans les rivières peu profondes, et de bouteilles à renversement dans les "lacs de barrages".
- Le Ph est mesuré avec un Ph-mètre de terrain (double électrode verre - calomel) ou avec un néocomparateur Hellige).
- Les mesures de température se font à l'aide de thermomètres à renversement qui peuvent être utilisés seuls ou montés sur les bouteilles à renversement; on utilise également des électrothermomètres préalablement étalonnés; on peut également se servir

DE... Stations d'analyses chimiques.
1; 2... Stations de prélèvements biologiques.



CARTE n 2

de thermomètres à contact pour la mesure de la surface des liquides ou des sols. Des enregistrements de variations de la température peuvent être faits à l'aide de thermographes munis de tubes souples.

- Les mesures de la vitesse du courant en rivière sont réalisées grâce à un micromoulinet ou un tube de Pitot. Dans le lac on utilise un moulinet de plus grande dimension.
- On effectue des mesures comparatives de la "Turbidité" à l'aide d'un disque de Secchi.
- Pour la mesure de l'oxygène dissous on peut utiliser des "tubes de Nicloux" ou mieux un doseur automatique d'oxygène étalonné dans l'air.
- Les prélèvements de sédiment ou de vase ont été faits à l'aide d'une "benne d'Eckmann" ou avec des "bones de prélèvement".
- Filets de fond, de surface et tramail sont utilisés pour la pêche. Le benthos est récolté à l'aide de filets traînantstriangulaires, filets fixes munis de différentes grilles, filets fauchoirs et troubleaux. On utilise également la gamme classique des filets à plancton et le filet de Clarke et Bumpus. (On a été gêné pour les mesures quantitatives du plancton à cause du colmatage des filets par les matières en suspension).

II.2. Chimie de l'eau et du sédiment.

Les cours d'eau de par leur courant, leur température et la chimie de leurs eaux représentent le type même des ruisseaux à truites.

Les eaux sont peu minéralisées, pauvres en calcium, le pH très bas est compris entre 5,25 et 6,25 -(les emplacements des stations de prélèvements biologiques et d'analyses chimiques sont notés sur la carte n°2).

Dans le tableau A sont notées les caractéristiques de 6 stations étudiées en Juin 1965.

Le tableau B donne les résultats des analyses de l'eau. On peut constater que nous sommes en présence d'un milieu homogène.

Les analyses de sédiment faites en différents points de l'Ellez présentent une assez grande homogénéité (Tableau C).

Lieu de prélèvement	pH	Température en O.C	Oxygène dissous en mg/l	Remarques
E ₁	6	6,4	9,1	Association de joncs et de potamo. Grande quantité de têtards, d'insectes nageurs et de pontes de mollusques, présence de Margaritana.
E ₂	6,1	6,5	9	Fonds sableux. Nombreuses zones où le courant est cassé par des rochers. Profondeur 20 cm à 1 m. Grande quantité de Margaritana.
E ₃	5,9	6,5	11	Lit de graviers et de sable. Amas de fourreaux de phryganes. Renoncules très abondantes. Ancylus. Larves d'odonates. Prêles. Profondeur 50 cm.
E ₄	6,2	6,8	10,5	Renoncules. Prêles et Limnées.
E ₅	5,4	6,5	9	Zone de Sphaignes. Lit de graviers. Renoncules et Vairons très nombreux.
E ₆	5,8	6,1	9,2	Sphaignes sur les bords. Fonds sablo-graveleux. Renoncules et Myriophylles.

TABLEAU A

Stations	pH	Résidu sec mg/l	Résistivité cm	Dureté totale	matières organiques mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	NH ₄ mg/l	Co ₃ mg/l	HCO ₃ mg/l	So ₂ mg/l	Cl ⁻ mg/l	No ₃ mg/l	No ₂	Po ₄
E 1	6,22	18	15930	0,60	6,7	4	4,8	0,24	0	18,3	4,2	22	0	0	0,15
E 2	6,22	81	16230	0,80	5,5	4	7,2	0,54	0	18,3	12,7	22	0	0	0,13
E 3	6,22	20	16460	0,60	4,5	4	6,8	0,36	0	18,3	14,4	18	0	0	0,17
E 4	6,42	8	14880	0,80	4,2	4	4,8	0,36	0	18,3	11	22	0	0	0,22
E 5	6,24	32	13530	0,80	6,5	4	7,2	0,36	0	18,3	19,8	0	0	0	0,22
E 6	6,22	10	13370	0,40	7	4	2,4	0,29	0	18,3	11	19	0	0	0,15

TABLEAU B

Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile	Matières organiques mg/l	Carbone mg/l	pH eau	pH KCl
14,2 %	43,33	31,5	11,25	17,24	10	5,1	4,4
25,09	36,47	20,5	11,75	13,79	8	4,9	4,1
14,05	15,1	29,6	10	18,69	10,8	4,2	3,5
20,0	16,3	26,5	7,0	13,62	7,9	4,1	3,5
Capacité d'échange	Somme des bases	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l		
29,8	4,62	3,56	0,19	0,48	0,39		
31,1	7,69	6,5	0,37	0,72	0,55		
33,4	3,48	2,35	0,14	0,66	0,33		
25,4	3,08	2,56	0,11	0,22	0,19		

TABLEAU C

II.3. La flore et la faune.

La flore est surtout caractérisée par les tourbières couvrant de grandes surfaces dans une dépression marécageuse.

La carte phytogéographique a été dressée par Mr Pautou.

On distingue principalement : les landes basses humides à *Erica Tetralix* (L), *Molinia Coerulea* (Moench) et les tourbières bombées à Sphaignes; les zones semi-humides mieux drainées caractérisées par *Erica ciliaris* (L) et *Calluna vulgaris* (L).

Parmi les espèces aquatiques, les plus communes sont : *Potamogeton polygonifolius* (Pourr), *Glyceria fluitans* (R), *Hydrocotyle vulgaris* (L); on note aussi *Antipiretica fontinalis* (L) sur les rochers et les parties immergées.

Les campagnes effectuées en Novembre 1965, Juin et Décembre 1966 n'ont pas été assez longues pour permettre d'établir un inventaire faunistique complet.

Nous avons pu cependant noter les principales espèces présentes :

POISSONS :

- *Phoxinus phoxinus* (L).
- *Cottus gobio* (L).
- *Cobitis barbulata* (L).
- *Salmo trutta* (L).

INSECTES :

- Larves de Trichoptères.
- " " Simulides.
- " " Chironomides.
- " " Gerinides.
- " " Odonates. (Agrion)
- " " Ephemeroptères.
- " " Plecoptères.
- *Notonecta viridis*. Delc.
- *Corixa geoffroyi* (Leach).
- *Sigara* sp.
- *Platambus maculatus* (L).
- *Ilybius ater*. Deg.
- *Dytiscus marginalis* (L).
- *Agabus* sp.

CRUSTACES :

- *Asellus aquaticus* (L).
- *Diaptomus* sp.
- *Daphnia* sp.

TURBELLARIES:

- *Planaria* sp.

COELENTERES :

- *Hydra* sp.

MOLLUSQUES :

- *Margaritana margaritifera* (L).
- *Pisidium* sp.
- *Ancylus fluviatilis* (Mull).
- *Limnea glutinosa*.

On peut remarquer la grande homogénéité de la faune le long de l'Ellez et de ses affluents (Les points 1, 2, 3 et 4 ont été étudiés lors de l'assèchement du lac). Ce sont l'Ellez et tous les ruisseaux qui ont la faune la plus riche. Au mois de Juin il existe de nombreuses caches pour les poissons grâce au développement des Myriophylles, des Potamos et surtout des Renoncules formant de grands tapis végétaux tout le long du cours des ruisseaux. Le milieu et la faune d'invertébrés permet donc un développement relativement important des poissons.

Par contre la retenue de St-Michel, en dehors peut-être des zones où coulent l'Ellez et le Roudouir, est pauvre. Toutes les zones recouvrant d'anciens "pâturages" et d'anciennes tourbières sont presque toujours azoïques. On trouve très peu de poissons et le plancton est réduit (Daphnies - Copépodes et Algues microscopiques).

En ce qui concerne la faune piscicole, le Vairon accompagne normalement la Truite; il est omnivore et consomme surtout le plancton et la faune benthique. Des contenus stomacaux ont montré surtout des larves et des débris d'insectes, et des diatomées. Si le vairon pullule il peut concurrencer la truite, c'est donc une espèce à surveiller.

Le chabot de rivière et la loche franche vivent normalement ensemble. Ils se trouvent dans les lits caillouteux et s'abritent dans les graviers. Ils sont caractéristiques des rivières bien oxygénées. Pour les Truites les Eaux et Forêts ont effectué des alevinages en 1963 et 1965. Il semble en effet que la quantité de Truites pouvant vivre dans ce réseau est bien supérieure à celle

existante. (La retenue de St-Herbot semble d'une manière générale plus poissonneuse).

Le nombre de pêcheurs est réduit et la moyenne des prises se situe entre 3 et 20 truites par pêcheur et par journée de pêche. Lors de deux assèchements du lac on a récupéré 600 Truites la première fois et 200 la deuxième. Les Truites remontent le courant pour aleviner.

Signalons également la présence d'oiseaux qui bouclent la chaîne alimentaire : Sarcelles, Hérons, et surtout des Canards.

III - BASES ET METHODES DE LA CONTAMINATION.

III.1. Raisons du choix de l'espèce.

Une telle étude radioécologique doit être précédée d'une étude écologique; celle-ci permet de définir les espèces à étudier et de connaître les conditions abiotiques de notre expérimentation. Les espèces choisies doivent en effet répondre à trois critères : Avoir une répartition géographique se situant dans la zone des rejets; Présenter un intérêt biologique et physiologique sur le plan de la contamination; Pouvoir être utilisé comme élément de référence dans le contrôle du milieu.

III.1.a) Intérêt biogéographique.

Les réservoirs d'eau seront utilisés pour les besoins de l'usine. La connaissance de l'utilisation de ces eaux et les inventaires faunistiques et floristiques nous ont amené à entreprendre deux types de contamination expérimentale. Une première étude a été effectuée sur les sphaignes très largement répandues autour du lac de St-Michel formant de grandes tourbières. (Ce sujet est en cours de publication).

La deuxième étude porte sur *Margaritana margaritifera* (L) assez répandue dans l'Ellez. Ces bivalves d'eau douce occupent de petites zones bien localisées de la rivière en aval de l'usine. (Carte n°1).

Ils vivent en grand nombre enfoncés dans le sédiment sablo-graveleux et caillouteux. (On peut en compter vingt au m²). Ils supportent de fortes vitesses de courant. Cependant, on les trouve dans des bras où vitesse et débit ne sont importants qu'en période de crue. Ils se mettent à l'abri de rochers plus ou moins volumineux, sous une hauteur d'eau n'excédant jamais deux mètres. (Photo n°1).

III.1.b) Intérêt biologique et physiologique.

L'espèce trouvée correspond parfaitement à la description donnée par ADAM.



Photo n°1
Biotope des Margaritana

Il règne encore une grande confusion dans la systématique des lamellibranches d'eau douce. Nous pensons que le nombre des espèces est trop grand et ne correspond pas à la réalité. On trouve par exemple dans les archives des documents signalant un grand nombre d'espèces d'Unio et d'Anodonta dans le bassin Rhodanien. L'étude biogéographique et radioécologique que nous menons permettra peut-être une simplification.

Nous avons ramassé entre Avignon et le nord du Vaccares 2000 individus environ; il semble qu'il n'y ait que 3 espèces :

- Anodonta Cygnea L.
- Unio Requièni L. (ou Pictorum)
- Unio Littoralis (Cuvier)

Il semble en être de même pour le genre Margaritana.

Nous rappellerons brièvement l'historique de la systématique de cette espèce d'après Germain.

- Mya margaritifera (L) 1558
- Unio margaritiferus (philipson) 1788
- Unio margaritifera (Rossmassler) 1835
- Unio elongata (Lamarck) 1819
- Unio roussyi (Michaud) 1831
- Unio brunnea (Bonhomme) 1840
- Margaritifera elongata (Locard) 1889
- " Roissyi
Michaudi (Locard 1889-93
brunnea
- Margaritifera margaritifera . Dupuy 1850
. Locard 1889
. Geyer 1927

Germain signale Margaritifera margaritifera dans les rivières torrentueuses des régions montagneuses et sub-montagneuses (Vosges, Auvergne).

Adam la signale dans les ruisseaux et rivières des Ardennes.

Chemin parle d'*Unio margaritifer* en Bretagne et dans les Vosges.

En Bretagne il semble que *Margaritana margaritifera* se trouve en grand nombre dans de petites zones bien localisées.

On signale également *Margaritana auricularia*. Le plus souvent il y a confusion "avec *Margaritana margaritifera* ou avec certaines formes d'*Unio crossus*".

Dans le traité de zoologie de Grasse la famille des Margaritiferidae Ortmann 1912 est classée dans la superfamille des Unionidea Flemming 1828.

Les auteurs Américains et Anglais (Needham - Ward - Whipple - Pennak - Mellamby) signalent *Margaritana margaritifera* L.

Dans le livre de Germain et Seguy : Faunes des lacs étangs et marais, il y a une distinction entre deux espèces de margaritana; *Margaritana auricularia* Splengler se trouve dans les fleuves et les rivières où elle vit dans le sable : Somme - Rhin - Seine - Loire - Allier - Garonne - Charente - Dordogne.

Margaritana margaritifera (L) vit dans "les fonds sableux des eaux froides et torrentueuses des cours d'eau des pays montagneux (Vosges - Jura - Cévennes - Pyrénées - Alpes)".

C'est par une étude biogéographique d'ensemble que l'on pourra vérifier l'existence de deux espèces de *Margaritana*.

Cette espèce vit enfouie dans le sédiment filtrant l'eau pour récupérer les matières organiques ou le plancton. Elle se trouve donc en contact permanent avec les composants du milieu les plus susceptibles d'être contaminés. "La capture de la nourriture est passive, c'est-à-dire que les particules en suspension dans l'eau ambiante se trouvent attirées vers l'animal par un courant d'eau provoqué par le mouvement ciliaire. Cette eau filtre à travers les branchies et la nourriture engluée dans du mucus est dirigée vers

la bouche par le mouvement synchrone des cils Vibratils".

Les travaux de Wilbur et Yonge nous indiquent tout l'intérêt physiologique de cette espèce. La quantité d'eau filtrée est importante et les phénomènes d'osmorégulation montrent qu'elle est en continuel échange avec le milieu extérieur. Toute modification de la composition chimique de ce milieu peut entraîner une modification de "perméabilité" et permettre l'entrée massive d'un élément.

L'animal est constitué de deux parties bien distinctes : la coquille d'une part, les parties molles d'autre part. Le métabolisme de la coquille est lent. La longue durée de vie de cette espèce pourra, peut-être, "exprimer l'historique" de la radioactivité dans une station. (Pour ^{90}Sr en particulier suivant le même métabolisme que le calcium). Les parties molles au contraire ayant un métabolisme beaucoup plus rapide répondront de manière plus directe aux fluctuations de la radioactivité du milieu.

Nous n'avons pas de données précises sur la physiologie de Margaritana. On peut cependant donner quelques idées générales sur les problèmes de filtration et de nutrition des lamellibranches à partir des oeuvres de Wilbur et Yonge, de Grasse, de Fischer et de Pelseneer.

"C'est de l'eau introduite dans la cavité palléale et qui vient au contact des branchies que la grande majorité des bivalves extraient leurs aliments." Nous avons dans un premier temps un pompage de l'eau ambiante dans la cavité palléale. En général il y a un triage sommaire au niveau des siphons; (le problème ne se pose pas pour les Margaritana qui sont asiphonnées). Certains parlent de capture passive, d'autres font intervenir des récepteurs, point de départ d'un tri permettant une réaction de rejet de certaines particules. Un fait est certain : c'est qu'il y a un premier triage au niveau des branchies. "La branchie est un appareil collecteur de nourriture corpusculaire et de petites particules".

"Par leur différenciation, le revêtement ciliaire des filaments branchiaux joue un rôle de filtre". A ce stade il peut y avoir une sélection des différentes particules, soit par une deuxième filtration au niveau des palpes, soit par gravité, les particules trop grosses ne pouvant être entraînées par le courant ciliaire. En résumé, les petites particules engluées dans du mucus vont vers la bouche, les plus grosses sont rejetées par l'orifice exhalent. Il y a donc une différenciation entre les grosses et les petites particules. Les lamelibranches sont microphages. Les particules servant de nourriture sont essentiellement constituées d'algues planctoniques, (diatomées en particulier), de spores, d'oeufs, de matières organiques et de particules minérales en suspension. Fischer pense que le choix de ces particules est restreint ou nul. Par conséquent, les grains de sable, la vase et les détritrus sont introduits dans le tube digestif. "Ces grains de sable que l'on peut trouver en grande quantité dans le tube digestif serviront à la trituration du reste de la nourriture en particulier les diatomées." Ceci est d'un grand intérêt du point de vue de la contamination et de l'irradiation interne puisque ce sont les particules les plus fines qui fixent le plus les radioéléments se trouvant dans l'eau. Il faut donc lier le problème de la contamination des lamelibranches au débit solide de l'eau. De plus le volume d'eau filtrée est très grand. Ce grand pouvoir filtrant est fonction des divers facteurs écologiques tels que le pH, la turbidité, la densité des organismes et la température. Ces différents facteurs vont influencer sur les processus de la contamination. Cependant, il est difficile de connaître les rôles respectifs que jouent les microorganismes, les particules en suspension et les matières dissoutes. Il peut y avoir en effet passage de substances dissoutes directement par les branchies. D'après Fischer "le passage dans le milieu intérieur se fait au niveau de l'intestin pour les aliments qui ont suivi la voie digestive mais il peut se faire également par la peau qui absorbe de l'eau des sels minéraux et proba-

blement même des substances organiques dissoutes." Nous avons donc une absorption directe des substances dissoutes et une absorption par l'intermédiaire de l'alimentation.

Les premiers travaux que nous présentons donnent une idée globale de la contamination et de la répartition de l'activité à l'intérieur de l'organisme. A la lumière de ces quelques données physiologiques on pourra envisager de nouvelles possibilités d'expérimentations permettant de séparer les processus de contamination directe et indirecte et mettant en relief le rôle des principaux facteurs écologiques. On peut par exemple étudier la contamination de Margaritana dans une eau ne contenant que des sels dissous. Il est possible par ailleurs de provoquer la contamination par la voie alimentaire en amenant dans un milieu non contaminé soit des algues planctoniques soit des particules minérales contaminées. Des modifications de la température et de la turbidité de l'eau influenceront sur le métabolisme et sur le pouvoir filtrant et permettront peut-être d'observer des niveaux de contamination différents.

III.1.c) Intérêt pour le contrôle sanitaire.

De ces quelques remarques découle tout l'intérêt de l'étude de cette espèce : elle vit dans des stations à sédimentation active; elle filtre les particules qui sont le support le plus important de la contamination; elle se trouve en grand nombre dans des zones d'accès relativement facile; elle n'a pas de période de vie latente et vit plusieurs années; et, de plus, elle est sédentaire. Il semble, en règle générale, que les organismes benthiques présentent un intérêt majeur pour la protection hydrobiologique. On peut considérer, dans ce cas, la radioactivité d'une station bien précise en aval d'un point de rejet; ainsi, une comparaison avec d'autres stations (dans la zone des rejets ou non) garde toute sa valeur. (Une étude similaire est menée dans le bassin Rhodanien sur deux genres de bivalves d'eau douce très répandus : Anodonta

et Unio). Des tentatives ont déjà été effectuées par ailleurs dans ce domaine Nelson a tenté de démontrer que les lamellibranches d'eau douce peuvent servir d'indicateurs de la contamination par ^{90}Sr . Ravera et Merlini ont détecté dans le Lac Majeur la présence de ^{54}Mn venant des retombées par l'analyse des Unios. De nombreux travaux soviétiques traitent de la fixation des radioéléments par les mollusques d'eau douce.

L'ensemble de ces observations sur le terrain permet l'établissement des conditions expérimentales.

III.2. Méthodes expérimentales.

Nous savons que de telles expérimentations sont longues à mettre au point et délicates à mener. Il faut en effet trouver les conditions biologiques propres à la survie des espèces et n'entreprendre qu'ultérieurement l'expérimentation radioactive proprement dite. Nous devons par conséquent nous rapprocher le plus possible en laboratoire des conditions du milieu.

III.2.a) Conditions chimiques.

Margaritana margaritifera (L) vit dans des eaux claires et pures pauvres en sels calcaires. Le pH est acide, toujours compris entre 5,5 et 6,5. La température de l'eau est basse; au mois de Juin pour une température moyenne de $16,5^{\circ}\text{C}$ nous avons un taux d'oxygène dissous de 8,5 mg/l; en Décembre une température moyenne de $6,5^{\circ}\text{C}$ nous donne un taux de 10 mg/l. On a donc des eaux très oxygénées se situant entre 80 et 100 % de la saturation.

Le courant n'est pas constant et il est important de noter que la vitesse du fond est nettement inférieure à celle de la surface. Des mesures faites au micromoulinet nous ont donné une vitesse moyenne de 2 m/s en surface alors qu'au fond les *Margaritana* sont soumises à un courant de 0,2 à 1 m.s.

L'eau a la composition chimique moyenne suivante :

. Résidu sec	: 18 mg/l
. Résistivité	: 15930 Ω cm
. Dureté totale	: 0,60
. Matières organiques	: 6,7 mg/l
. Ca	: 4 mg/l
. Mg ⁺⁺	: 4,8 mg/l
. NH ₄ ⁺	: 0,24 mg/l
. Na ⁺	: 8 mg/l
. K ⁺	: 0,42 mg/l
. CO ₃ ⁻⁻	: 0
. HCO ₃ ⁻	: 18,3 mg/l
. SO ₄ ⁻⁻	: 4,2 mg/l
. Cl ⁻	: 22 mg/l

Le sédiment est constitué par des sables, des graviers et des cailloux provenant de la désagrégation des granites constituant l'assise géologique de cette région.

Dans deux stations de l'Ellez, l'une avec Margaritana, l'autre sans Margaritana nous avons étudié la granulométrie par la méthode de M. MERIAUX. Les pourcentages des particules inférieures à 2000 μ sont équivalents. Ces particules correspondent à des sables très légèrement limoneux. Cependant le recouvrement de ces sables par de gros graviers ou par des cailloux est beaucoup moins important dans les stations à Margaritana. Ce sont ces conditions biotiques et abiotiques que nous avons tenté de reproduire au laboratoire.

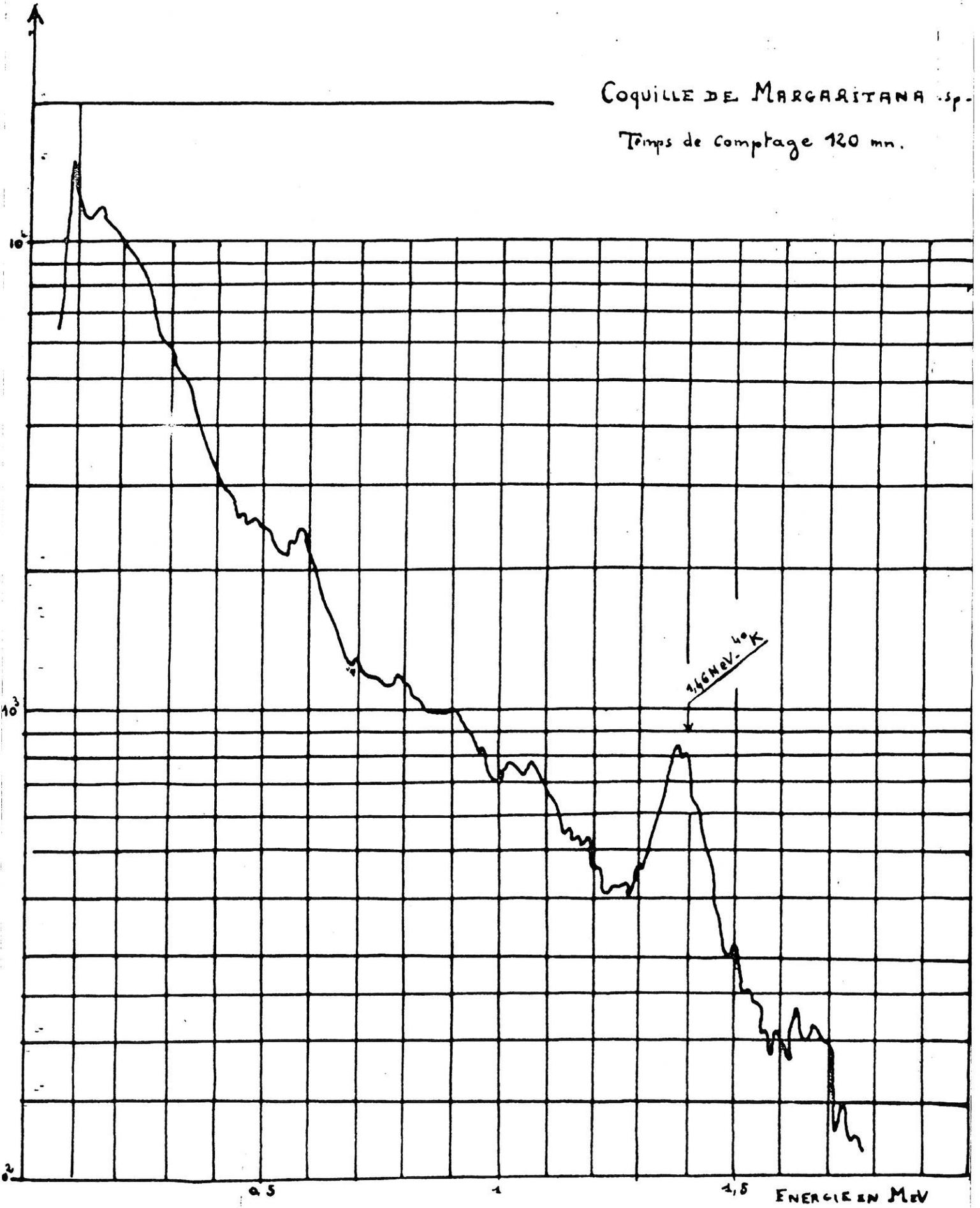
III.2.b) Conditions biologiques.

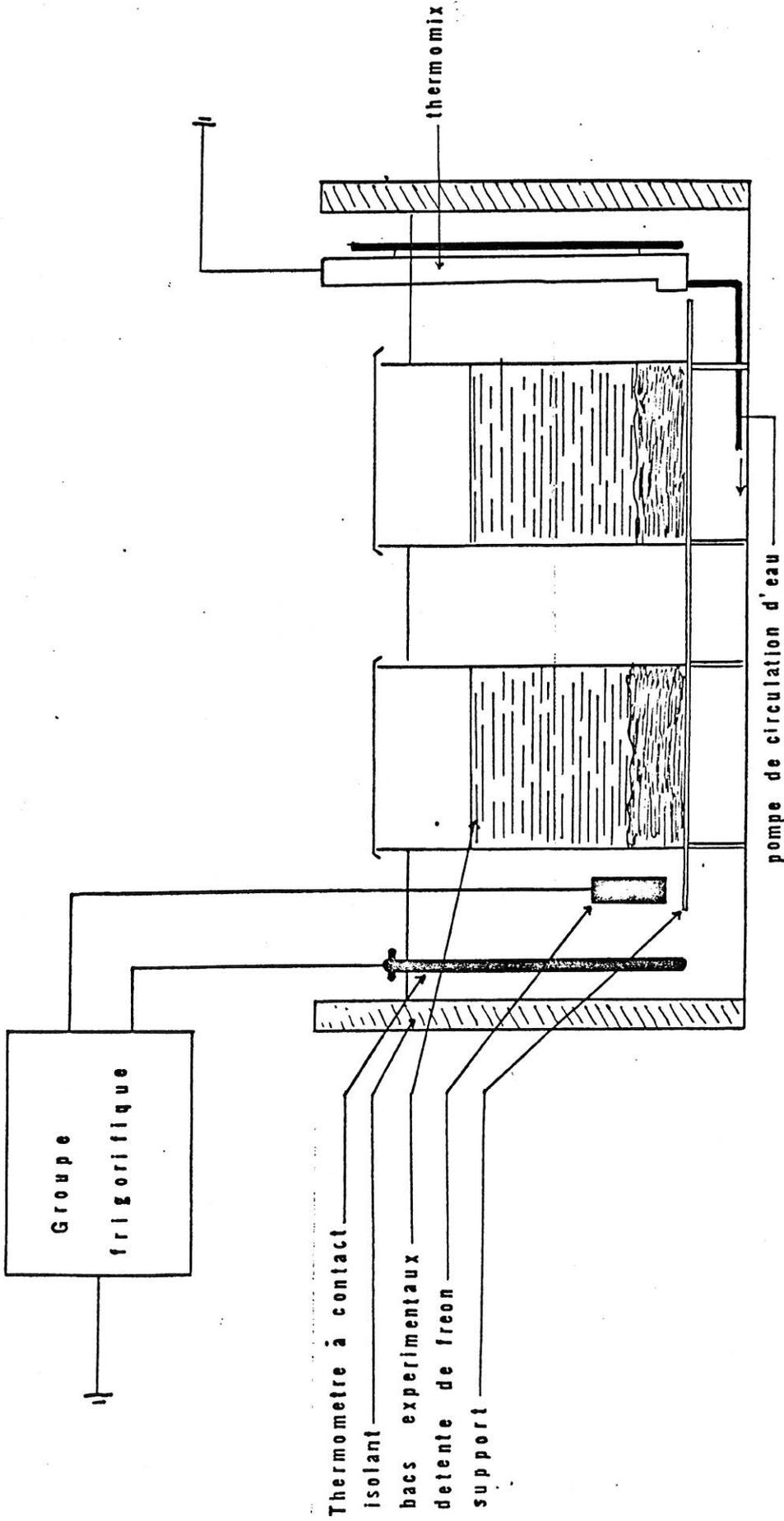
On utilise systématiquement le même sédiment et la même eau dans les aquariums expérimentaux en résine polyester (30 cm x 40 cm x 50 cm). Le taux d'oxygène dissous est maintenu autour de 10 mg/l par des pompes. Il n'y a pas de système de filtration de l'eau, les animaux jouant eux-mêmes le rôle de filtre.

FIGURE N° 3.

COQUILLE DE MARGARITANA sp.

Temps de Comptage 120 mn.





SCHEMA DE LA REGULATION DE TEMPERATURE

Sur la coquille nous avons pu faire une analyse chimique sommaire et un spectre γ de radioactivité naturelle.

On trouve :

. K ⁺	: 0,207 mg/g
. Na ⁺	: 0,934 mg/g
. Ca ⁺⁺	: 361,3 mg/g
. Mg ⁺⁺	: 0,25 mg/g
. Mn néant	
. Azote total	: 8,1 mg/g

Le spectre γ (avec un sélecteur SA40400 canaux) ne décèle aucune activité anormale. (Voir page suivante).

On trouve par l'analyse radiochimique une activité en Cs 137 légèrement inférieure à $3 \cdot 10^{-6}$ μ c/g.

Le problème le plus délicat à résoudre est celui de la température. Elle doit en effet rester constante à $14^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Cette température ne peut être régulée que par contact de manière à ce qu'aucun appareil ne trempe dans le bac contaminé.

Le schéma (page ci-contre) montre le principe adopté. On règle les thermomètres à contact sur 14°C . Chaque fois que la température dépasse 14°C le thermostat s'arrête et le groupe frigorifique s'enclenche et vice versa. L'éclairage se fait avec une lumière du jour diffuse. Le mélange des particules en suspension, des algues vertes et du plancton (en particulier Copepodes) suffit à la nourriture des Margaritana.

L'aquarium expérimental (photo n° 2) est composé de la manière suivante : Poids total du sédiment 22,700 kg qui se répartit comme suit :

Diamètre > 100 mm	: 7,300 kg
100 mm > D > 50 mm	: 3,300 kg
10 mm > D > 2 mm	: 7,200 kg
D < 2 mm	: 0,075 kg

Le volume d'eau est de 34 litres.



Photo n° 2

Position des MARGARITANA dans l'aquarium

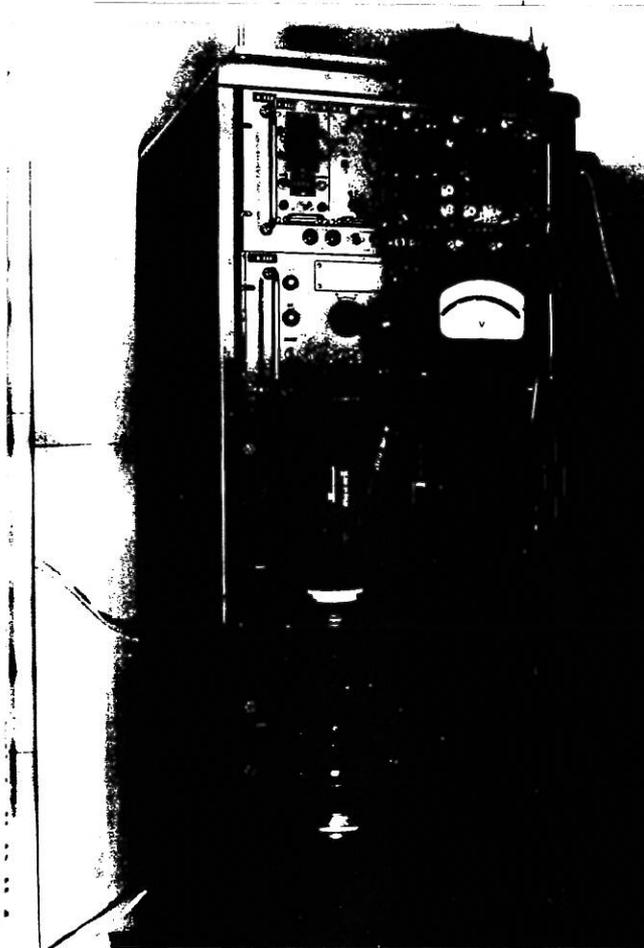
Nous avons mis dans l'aquarium 18 mollusques dont les poids sont compris entre 42 g et 83 g. (Ils ont sensiblement la même taille et correspondent à des individus adultes ; nous n'avons jamais trouvé de jeunes spécimens). Nous avons conservé les échantillons pendant un mois avant d'effectuer la contamination.

III.2.c) Méthodes de contamination et de comptage.

Pour la contamination on utilise une solution composée de $11\mu\text{g/g}$ de CO_3Cs_2 en NO_3H ($N = 0,1$) à $26,9\mu\text{c/g} \pm 3\%$ de ^{137}Cs . On prend 5 cc de cette solution que l'on dilue dans un litre d'eau de même composition chimique que celle de l'aquarium. Après agitation on effectue 10 comptages

de cette solution mère. (Capsules de 1 cc après évaporation sous épiradiateur). La moyenne de ces comptages nous donne une activité de 25.10^7 dés/min/litre. Soit une activité peu différente de $113 \mu\text{c/litre}$. On verse cette solution contaminante dans les 34 litres d'eau de l'aquarium, que l'on agite pendant une heure pour assurer une bonne homogénéisation. Notre aquarium a donc une activité d'environ $3,2 \mu\text{c/l}$. On effectue par la suite de nombreux prélèvements d'eau à différentes hauteurs en fonction du temps. Les animaux sont prélevés à intervalles réguliers en perturbant le moins possible le fond. Ils sont disséqués, (chaque organe est pesé frais) puis ils passent à l'étuve pendant 30 heures. (Chaque organe est pesé sec). Toutes les parties sont ensuite broyées et mises dans des capsules de comptage. Pour ce comptage on utilise un sélecteur d'amplitude monocanal. La sonde est constituée d'un Syntibloc SC_3 N50 $1\frac{3}{4}$ 2". Le temps de comptage est fonction de l'activité. (Photos n° 3 et 4).

PHOTO n° 3



Ensemble de mesure
de radioactivité γ

PHOTO n° 4



Vue de détail du
château de plomb et
de l'ensemble de dé-
tection.

IV - RESULTATS.

Dans notre aquarium le césium reste sous forme ionique simple, la teneur en potassium de l'eau est faible et ne modifiera pas la répartition possible du césium. Instantanément après la contamination un ensemble de phénomènes se produit que nous pouvons résumer ainsi.

- Dans l'eau : . Fixation du Cs sur les particules en suspension puis décantation lors de l'arrêt de l'agitation.
 . Adsorption mécanique du Cs sur le plancton. (Qui sera suivie d'une incorporation).
- Dans l'animal : . Absorption du Cs sous forme ionique par de l'eau
 . Absorption du Cs par la chaîne alimentaire. (Le plancton servant de nourriture).
- Sur le sédiment : . Dépôt des particules en suspension.
 . Fixation du plancton (phytoplancton surtout) sur les cailloux.

Nous avons trois compartiments : l'eau, le sédiment et les animaux. D'ores et déjà nous pouvons dire que dans l'aquarium il s'établit un équilibre au bout de trente jours environ. On retrouve à peu près 1 % de l'activité initiale dans l'eau 1% dans les Margaritana et 98 % dans le sédiment. La même expérience menée sans les mollusques ne modifie pas sensiblement les valeurs à l'équilibre. Le rôle joué par les lamelli-branches en tant qu'épurateurs de l'eau est donc minime, par contre ils peuvent permettre de donner des indices de pénétration des radio-éléments dans le matériel vivant. Cette détection pourra s'effectuer pendant une période relativement longue après un rejet surtout en ce qui concerne les parties molles. Margaritana, en effet, ne perd que 10 à 15 % de son activité au niveau des parties molles après sept jours de présence dans une eau non contaminée. Dans la nature nous avons une alternance de périodes de rejets et de périodes de circulation d'eau non contaminée. La faune et la flore subiront ce même cycle à des distances plus ou moins longues du point de rejet. (Le ¹³⁷Cs se fixe très vite dans le sédiment, le ⁹⁰Sr migre plus loin dans l'eau). Certaines espèces, en particulier les végétaux (Potamogeton, Ceratophyllum ...) pourront

former un véritable écran à la circulation des radioéléments tout de suite après le rejet ; par contre l'arrivée d'eau inactive "décontaminera" très rapidement les végétaux. D'autres espèces, au contraire, retiennent plus solidement les radioéléments et permettent d'observer un niveau de contamination même pendant une période où l'eau est inactive.

IV.1. Décroissance de l'activité de l'eau (Courbe 1)

Nous observons dès le début de l'expérience une décroissance rapide de l'activité de l'eau. Nous atteignons au bout de 30 à 35 jours environ un "palier" où l'activité de l'eau se stabilise autour de 1,3 % de l'activité initiale ce qui correspond à environ $6 \cdot 10^{-2} \mu\text{c/l}$. (Nous avons tenu compte de la diminution du volume d'eau due aux prélèvements en cours de manipulation et à l'évaporation). Il est intéressant de noter que, dans ce cas précis, le palier n'est obtenu qu'au bout de 30 jours.

Les animaux vivent pendant une période relativement longue (3 à 5 jours) dans un milieu où l'activité de l'eau est élevée. Ceci provient de la nature même du sédiment (sables, graviers et cailloux) dans lequel nous constatons surtout des phénomènes d'adsorption liés en grande partie à la couverture biologique (algues sessiles - bactéries) qui se fixe sur les surfaces exposées à la lumière ; le zooplancton, (copépodes et daphnies en particulier) quant à lui, véhicule la radioactivité dans toute la masse liquide. Des expériences similaires de contamination effectuées dans notre laboratoire avec des sédiments vaseux montrent une décroissance beaucoup plus rapide de l'activité de l'eau. Dans ce cas en effet, les phénomènes chimiques prédominent ; adsorption et sorption des ions Cs dans les feuillets alumino-silicatés des argiles et dans la matière organique. Il y a donc des liaisons rigides qui provoquent une fixation irréversible du Cs dans le sédiment. Au contraire, dans notre cas, une partie importante de l'activité peut être rendue à l'eau. (Influence du courant provoquant le roulement des graviers). En remuant un caillou dans de l'eau inactive, on récupère dans cette eau $31 \cdot 10^2$ dés/min. On peut également racler les algues vertes qui se sont développées. Pour 3,43 g d'algues sèches nous obtenons $138 \cdot 10^3$ dés/min. Soit $\frac{138 \cdot 10^3}{3,43} = 40,2 \cdot 10^2$ dés/min/g. Elles ont été prélevées lors de l'équilibre. L'activité de l'eau était alors de 100 dés/min/cc environ. Ce qui nous donne un facteur

de concentration de 400. ($FC = \frac{\mu\text{c/g de poids sec}}{\mu\text{c/cc d'eau}}$). Ce facteur est très grand si l'on remarque que ces algues se sont développées au fur et à mesure de l'expérience et que, par conséquent, elles n'ont jamais été soumises à des activités élevées de l'eau

Nous voyons donc toute l'importance qu'il y a à bien connaître le milieu dans lequel les rejets sont effectués. Si le sédiment est formé de boue et de vase avec un courant modéré, nous aurons un dépôt rapide du Césium non loin du point de rejet.

Par contre, et c'est notre cas, avec un sédiment formé de sable et de graviers et un courant fort nous pourrions avoir une dispersion du Césium beaucoup plus grande. Dans le premier cas il faudra d'abord contrôler les espèces dans les zones proches du point de rejet, dans le deuxième cas il faut les contrôler également dans des stations relativement éloignées.

IV.2. Variations de l'activité de l'animal.

Pendant trois à cinq jours les Margaritana vivent dans une eau à radioactivité élevée qui décroît ensuite rapidement. Quelle est leur capacité de fixation du ^{137}Cs ?

IV.2.a) :

Regardons dès maintenant ce que représente le compartiment vivant dans notre aquarium. (Graphique 1). Ne perdons pas de vue que l'évaluation de la quantité d'individus reste importante étant donné que son augmentation fait croître les chances de contamination de l'espèce et fait également croître la quantité de radioéléments retenus.

Sur le tableau I sont portées les indications nécessaires concernant le poids de chaque individu.

N° de l'échantillon	Poids Total (en g)		Coquille		Parties molles	
	Poids frais	sec	frais	sec	frais	sec
1	62,30	13,14	23,90	11,10	15,40	2,04
2	-	13,11	19,17	11,02	15,83	2,09
3	-	27,41	18,17	23,64	28,56	3,77
4	-	35,45	37,88	33,90	31,65	1,55
5	82,42	36,81	37,66	33,92	23,76	2,89
6	65,57	31,54	31,80	29,25	18,77	2,29
7	73,39	28,60	27,44	25,93	25,95	2,67
8	73,52	31,36	31,07	28,58	17,95	2,78
9	68,81	30,31	30,32	28,00	16,49	2,31
10	70,91	31,35	31,80	29,19	17,21	2,16
11	56,30	24,68	24,07	22,57	14,23	2,11
12	42,61	19,28	19,60	18,10	9,01	1,18
13	53,79	24,24	24,39	22,53	12,60	1,71
14	56,18	24,37	24,22	22,42	14,06	1,95
15	70,72	31,29	31,33	28,99	15,79	2,30
16	78,40	35,48	35,69	33,28	15,91	2,20
\bar{x}	65,80	27,40	28,65	25,15	18,30	2,25

TABLEAU I

Dans la recherche de l'évolution et de la répartition de l'activité à l'intérieur de l'animal nous allons du simple au complexe. On considère d'abord les activités totales et spécifiques de l'animal pris dans son ensemble en séparant coquilles et parties molles. On étudie ensuite ce qui se passe au niveau des organes.

Le tableau II nous indiquant la répartition globale de l'activité sur l'ensemble des organismes nous permet déjà de dégager un certain nombre de données générales.

N° de l'échantillon	Nombre de jours après la contamination	ACTIVITE TOTALE TROUVEE EN des/minute		
		Animal total	Coquille	Parties molles
1	3	144 857	20 272	53 828
2	8	-	20 159	28 899
3	8	-	57 607	82 619
4	27	-	61 605	34 049
5	36	232 880	48 593	165 965
6	37	157 017	25 700	124 627
7	43	76 296	30 042	42 047
8	57	194 873	46 441	138 710
9	63	178 599	32 789	131 075
10	65	146 465	35 935	103 560
11	76	184 581	25 428	143 379
12	83	81 241	15 429	53 583
13	91	122 862	34 166	75 063
14	94	150 070	22 658	107 404
\bar{x}		152 000	34 000	91 800

TABLEAU II

Remarque : la différence que l'on observe entre l'activité de l'animal total et la somme des activités de la coquille et des parties molles provient de l'activité des liquides internes qui n'est pas figurée ici.

- L'organisme a effectivement fixé une certaine quantité de radiocésium.
- Cette quantité a été rapidement absorbée. Nous avons, en effet, dès le 3ème jour, une activité élevée qui est comparable à la moyenne effectuée sur l'ensemble des individus.
- Cette activité moyenne persiste durant toute l'expérience et semble d'ores et déjà indiquer que l'individu conserve un niveau d'activité lors de la décroissance de l'eau.
- Nous constatons que l'activité des parties molles est toujours nettement supérieure à l'activité de la coquille. Les parties molles représentent donc une zone de fixation préférentielle où doivent intervenir des phénomènes métaboliques. Ce sont probablement ces phénomènes métaboliques qui expliquent les différences d'activité que l'on observe dans les parties molles de chaque individu. La coquille au contraire présente des valeurs plus constantes.

Ces premiers résultats concordent avec ceux déjà obtenus dans différents laboratoires.

Polikarpov et Fontaine trouvent avec ^{144}Ce une fixation plus élevée dans les parties molles que dans la coquille chez les gastéropodes. Ravera, Merlini, Vido font les mêmes constatations avec ^{54}Mn sur *Viviparus ater* et *Unio pictorum*. Timofeyeva-Resovskaya le démontre avec ^{137}Cs sur *Limnaea stagnalis*, *auricularia*, *ovata* et *Bithynia leachii*.

L'évolution précise des phénomènes ne peut se comprendre qu'en considérant les activités spécifiques. N'envisageons toujours que le cas de l'animal total, des parties molles et de la coquille. Le tableau III nous donne les valeurs et la courbe 2 les représente en fonction du temps parallèlement à la décroissance d'activité de l'eau.

Remarque : Dans le tracé de la courbe nous n'avons pas tenu compte de l'activité des parties molles du n° 7. Cette valeur en effet

s'éloigne trop de la valeur moyenne à l'équilibre. Cette valeur faible peut s'expliquer par une déficience du métabolisme, l'animal restant le plus souvent fermé.

N° de l'échantillon	JOURS	ACTIVITES SPECIFIQUES (des/mn/gramme de poids sec)		
		Animal total	Coquille	Parties molles
1	3	11024	1826	26 438
2	8	-	1829	13 827
3	8	-	2437	21 880
4	27	-	1817	21 967
5	36	6326	1433	57 427
6	37	4978	878	54 422
7	43	2667	1158	15 748
8	57	6214	1624	49 895
9	63	5892	1171	56 742
10	65	4671	1231	47 944
11	76	7479	1127	67 952
12	83	4213	852	45 409
13	91	5068	1516	43 896
14	94	6158	1010	55 080
\bar{x}		5400	1200	49 400

TABLEAU III

Nous voyons apparaître de nouvelles données. Les activités spécifiques des parties molles, de la coquille (ainsi que de l'animal total) atteignent un palier au bout de trente cinq jours environ. On peut donc considérer qu'à cette date l'équilibre est atteint dans l'aquarium.

Nous vérifions que l'activité spécifique de la coquille est nettement inférieure à celle des parties molles.

Il faut également remarquer, que, quelle que soit la courbe, les points se rapprochent d'une valeur moyenne lors de l'équilibre. Par contre, pendant la première période, les valeurs obtenues diffèrent assez notablement. Ceci s'explique facilement si l'on considère que pendant cette période les "chances" de contamination ne sont pas identiques pour chaque individu. Or, c'est à ce moment là que l'activité de l'eau est la plus élevée et ce, pendant une période relativement courte. Si l'homogénéisation de l'eau est mauvaise, si l'animal se trouve dans une zone de faible activité ou s'il ne filtre pas pendant cette période, la quantité de radiocésium absorbée sera faible et inversement. Par contre, lorsque l'activité de l'eau est homogène (à l'équilibre) et que l'on prélève sur une période plus longue; les différences observées ne sont dues qu'aux erreurs de manipulation (erreurs de pesée et de comptage en particulier) et aux caractéristiques individuelles.

Nous pouvons également noter la rapidité de la fixation du ^{137}Cs ; dès le troisième jour nous avons des activités spécifiques élevées. Mais le plus important réside dans la différence des formes des courbes des parties molles et de la coquille.

Cette dernière atteint au bout de sept jours une activité maximum puis décroît progressivement vers un palier se stabilisant à environ 1200 des/min/g soit $5,3 \times 10^{-4}$ $\mu\text{c/g}$ de poids sec. Il y a donc, en quelque sorte, une désactivation de la coquille.

Nous n'avons pas, à proprement parler, de phénomène de fixation mais principalement une adsorption sur les parois de la coquille; De nombreux microorganismes ont adsorbé ou métabolisé le ^{137}Cs et sont fixés sur les parois de la coquille.

Au début de l'expérience, nous avons laissé deux coquilles vides plus ou moins enfouies dans le sédiment. Les microorganismes végétaux se développaient donc moins bien par manque de lumière, par contre il pouvait y avoir dépôt de particules ou présence de bactéries et de protozoaires. En fin d'expérience (donc après 94 jours) ces coquilles ont été traitées séparément ; la première a été comptée telle que, la deuxième a été lavée et brossée avant le comptage.

Les résultats sont les suivants :

N°17 sans lavage	Poids sec (en g)	Activité totale (des/min)	Activité Spécifique (des/m/g poids sec)
	28,05	9312	332

Nous voyons déjà que l'activité spécifique est quatre fois inférieure à la moyenne des autres. (332 au lieu de 1200). Elle est très inférieure à l'activité spécifique de chaque individu pris séparément.

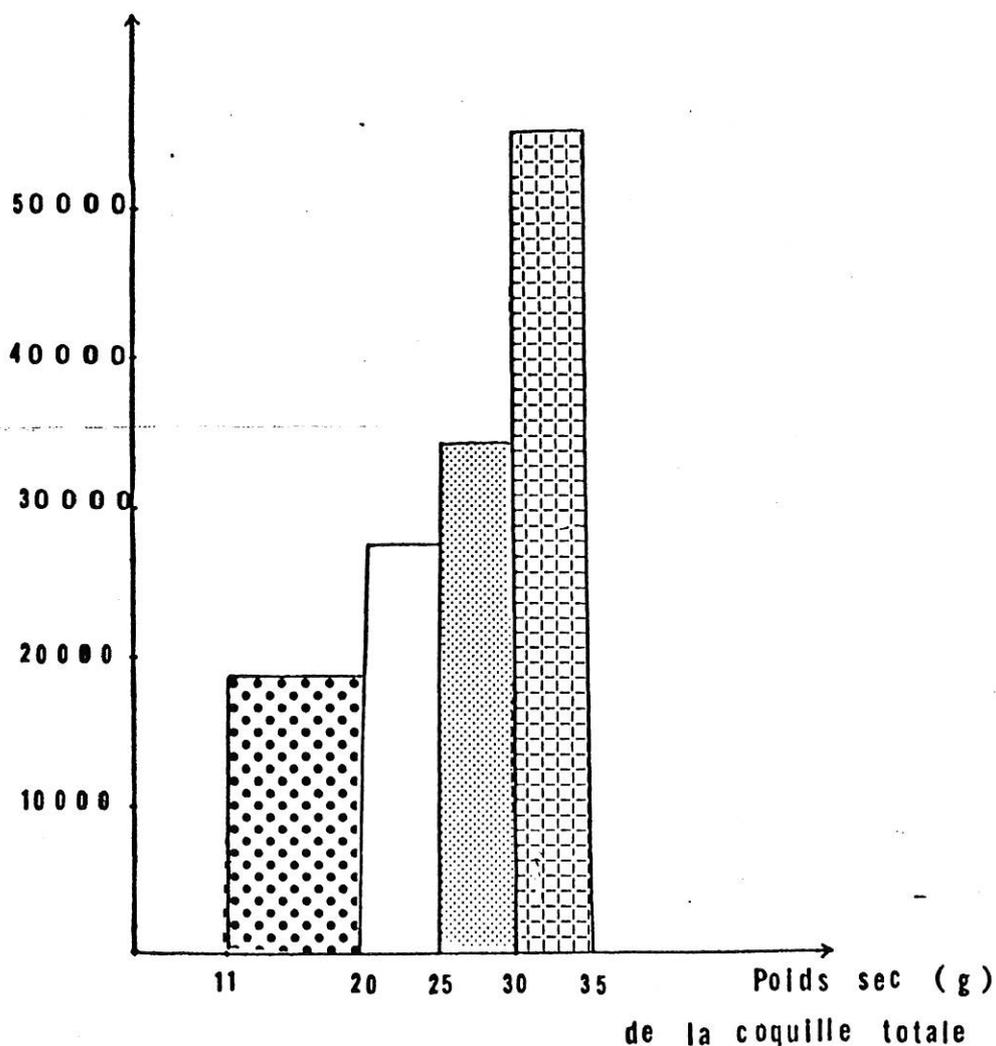
Pour l'autre échantillon on a :

	Poids sec (en g)	Activité totale (des/min)	Activité Spécifique (des/m/g poids sec)
N° 18 avec lavage	26,49	3219	121

Nous constatons que le lavage fait perdre encore les 2/3 de l'activité. En résumé, entre une coquille vivante bien exposée à la lumière et une coquille morte, non exposée à la lumière et brossée, nous avons des activités qui passent environ de 1200 des/m/g poids sec à 120 des/m/g poids sec. Les travaux de Leandri avec ^{131}I ont déjà signalé ce phénomène sur *Mytilus galloprovincialis*. Il faut donc considérer que le brossage a fait disparaître la majeure partie de la couverture biologique qui a une activité spécifique élevée.

On peut alors penser que l'activité de la coquille est fonction de la surface et, par conséquent, de la taille de l'animal. Nous n'avons pas étudié suffisamment de spécimens pour répondre affirmativement. (Les expériences en cours tiennent compte de la biométrie étudiée sur un grand nombre). Cependant, après avoir vérifié que la taille et le poids de la coquille varient dans le même sens nous obtenons effectivement une moyenne des activités totales qui augmente en fonction du poids (Voir graphique ci-dessous).

Activité (des/mn)



Il semble donc que la fixation du ^{137}Cs sur la coquille soit un simple phénomène d'absorption lié au développement des microorganismes sur des parois plus ou moins grandes selon la taille. Lors de la mort de l'animal, si l'activité du milieu reste constante, cette coquille, loin de se décontaminer, offrira une surface double au développement des microorganismes et par conséquent une possibilité de plus grande contamination. Ceci a déjà été observé sur les tests d'*Australorbis glabratus*.

Après avoir prélevé les parties molles au bout de huit jours de contamination, la coquille de l'échantillon n°3 a été laissée vide dans l'aquarium. D'après son poids sec 23,64 g on doit trouver une activité totale de l'ordre de $27 \cdot 10^3$ des/min. Or on trouve une activité de $57 \cdot 10^3$ des/min ce qui est un peu plus du double. Dans ce cas, la coquille s'est contaminée par développement des microorganismes sur sa face externe et interne.

En ce qui concerne l'ensemble des parties molles le phénomène est différent ; il est progressif et continu. L'activité spécifique augmente très vite avec des valeurs assez variables d'un individu à un autre, puis atteint un palier assez constant au bout de 35 jours. (Timofeyeva-Resovskaya donne trois semaines pour atteindre l'équilibre avec des gastéropodes). Ce palier donne une moyenne de 50 000 des/m/g de poids sec soit $0,022 \mu\text{c/g}$ poids sec, ce qui correspond à une activité spécifique 10 fois supérieure à celle de la coquille. Il est à remarquer que Polikorpov signale sur une espèce du genre *Bithynia* une fixation du ^{144}Ce dix fois plus grande dans les parties molles que dans la coquille. Si l'on considère les moyennes des activités totales trouvées la répartition de l'activité d'un individu s'effectue comme l'indiquent les graphiques 2 et 3.

Si l'on peut expliquer en grande partie le palier d'activité de la coquille par des facteurs externes et passifs, pour les parties molles il faut faire intervenir des phénomènes de transport actif. Il est possible qu'au bout d'un temps relativement long l'activité des parties molles décroisse légèrement. Ceci est peut-être dû à la décroissance de l'activité de l'eau qui ne contamine plus la nourriture. Mais comment expliquer que pendant 65 jours l'activité spécifique des parties molles reste constante et élevée alors même que l'activité de l'eau est très faible ? Il y a semble-t-il deux

possibilités pouvant jouer conjointement. L'activité des parties molles augmente régulièrement au début de l'expérience puis reste constante, l'animal absorbant une eau peu contaminée et rejetant une eau de même activité. Il se serait donc produit au début un "stockage" de l'ion Cs dans les organes. Dans ce cas, c'est l'activité initiale de l'eau qui est importante.

Remarque : si l'on considère l'activité de chaque individu pris séparément, il semble ici également que les plus gros accumulent le plus. Ceci est peut-être dû à leur capacité de filtration plus grande.

L'activité des parties molles reste constante grâce à la nourriture, l'animal rejetant une certaine quantité de ^{137}Cs et en absorbant une quantité équivalente par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire. Ce qui devient important dans ce cas c'est l'activité de l'eau au moment du prélèvement. (On tentera plus loin de donner une réponse en faisant séjourner des animaux contaminés dans de l'eau pure).

Mais auparavant il faut essayer de saisir la répartition de l'activité à l'intérieur de l'organisme dans les différents organes.

IV.2.b) Activité des organes.

Mis à part le liquide palléal nous n'avons étudié ces activités que lorsque nous pensions être à l'équilibre. Chaque animal est disséqué ; on récupère en premier lieu le liquide palléal et extrapalléal ; puis on sépare le manteau, les branchies, le pied avec les viscères.

Le tableau IV nous donne les poids respectifs de chaque organe.

N° de l'échantillon	Poids en grammes					
	Pied+Viscères		Manteau		Branchies	
	Frais	Sec	Frais	Sec	Frais	Sec
7	11,12	1,86	7,35	0,35	7,48	0,46
8	12,08	2,07	3,05	0,39	2,82	0,32
9	10,68	1,59	3,55	0,33	2,26	0,39
10	10,68	1,43	3,55	0,33	2,97	0,39
11	9,14	1,49	2,95	0,32	2,13	0,29
12	5,44	0,78	1,62	0,14	1,95	0,25
13	8,05	1,16	2,27	0,24	2,27	0,30
14	9,08	1,38	2,73	0,25	2,25	0,32
15	10,07	1,55	2,96	0,36	2,76	0,39
16	10,63	1,48	3,18	0,35	2,10	0,36
\bar{X}	9,70	1,48	2,96	0,31	2,90	0,35

TABLEAU IV

Les activités totales (voir tableau V) nous permettent d'établir une répartition moyenne de l'activité à l'intérieur de l'organisme (Graphiques 4 et 5).

Nous pouvons seulement constater une contamination assez importante de l'ensemble de l'organisme. Il faut aussi remarquer que le "compartiment liquide" représente un pourcentage d'activité non négligeable.

N° de l'échantillon	ACTIVITES RETROUVEES en des/min				
	Pied+Viscères	Manteau	Branchies	LP	LEP
7*	26 485	6758	8 804	2862	1345
8	89 852	29 724	19 134	5765	3957
9	83 612	23 130	24 333	7962	6773
10	64 738	15 381	23 441	4104	2866
11	87 272	25 914	30 191	8897	2877
12	38 804	4 885	9 894	4823	7406
13	47 027	12 773	15 263	8183	5450
14	63 204	16 037	28 163	-	-
\bar{X}	67 800	19 000	21 500	6600	5500

* Nous constatons de manière plus précise une "déficiência métabolique" de la part de cet individu.

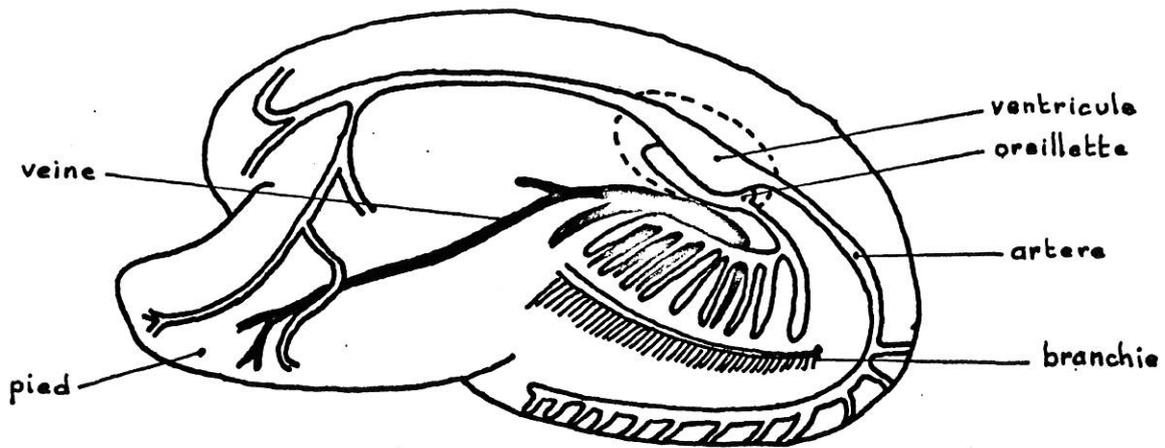
TABLEAU V

Mais, là encore, nous ne pouvons comparer qu'en fonction des activités spécifiques. (Tableau VI - Courbe III)

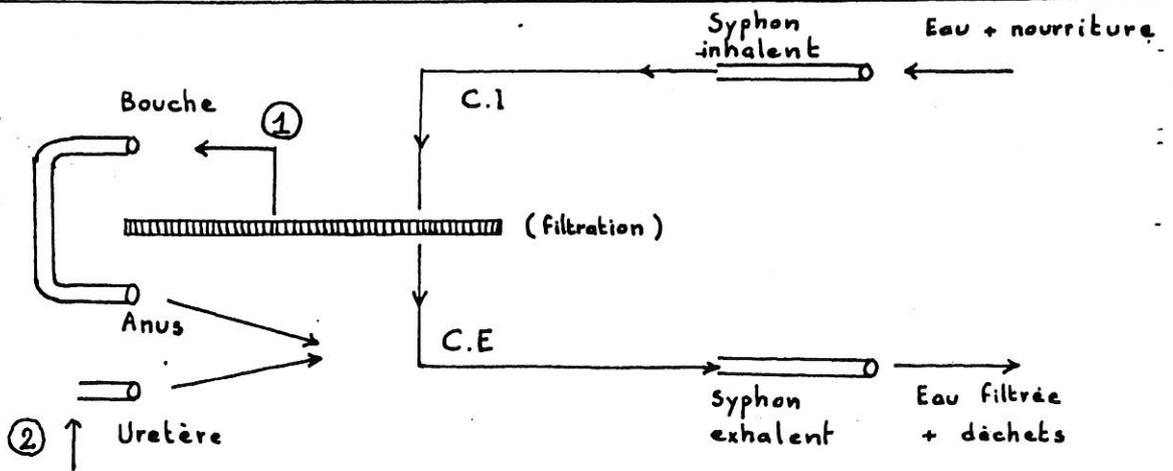
N° de l'échantillon	Temps (en jours)	ACTIVITES SPECIFIQUES en des/min/g poids sec				
		Pied + Viscères	Manteau	Branchies	Liquide palléal	Liquide extrapalléal
7	43	14 239	19 308	19 180	190	269
8	54	43 406	76 746	58 964	349	494
9	63	52 586	69 563	62 746	663	677
10	65	45 271	46 665	58 837	270	427
11	76	58 571	79 296	103 934	877	917
12	83	49 748	33 713	38 633	561	1371
13	91	40 540	52 092	50 623	772	879
14	94	45 800	64 045	86 976	-	
\bar{X}		48 000	60 000	66 000	580	790

TABLEAU VI

On constate alors que ce sont les branchies qui, par rapport à leur taille, ont fixé le plus de ^{137}Cs puis le manteau et enfin le pied avec les viscères. Il est également important de noter que l'activité spécifique du liquide extrapalléal est toujours supérieure à celle du liquide palléal. La courbe 3 montre comment les activités de ces deux compartiments liquides se suivent. Nous voyons également qu'il y a un équilibre assez constant des activités du sac viscéral et du manteau mais les variations semblent beaucoup plus grandes en ce qui concerne les branchies. Pour tenter de résumer le mécanisme de la contamination interne schématisons l'ensemble des phénomènes métaboliques et physiologiques qui se produisent. (Schémas page ci-après). Il y a deux circuits à considérer : celui de la chaîne alimentaire (donc de l'eau) et celui du sang.



SYSTEME CIRCULATOIRE
(d'après LANG)



- ① passage de la nourriture dans la bouche par l'intermediaire d'un mucus.
- ② décharge d'excretion du sang dans le rein avant les branchies.

C.I = chambre inhalante
C.E = " exhalante

SCHEMA DES CIRCUITS
D'EAU ET DE
NOURRITURE

Les animaux d'eau douce doivent maintenir une concentration ionique supérieure à celle du milieu. "Les gastéropodes et les lamellibranches maintiennent une très basse concentration ionique. La régulation hyperosmotique est effectuée par une active absorption d'ions à partir de l'eau. Ces mollusques remplacent les ions perdus par diffusion ou excrétion." L'animal rejette une urine hypoosmotique et la réabsorption se fait au niveau des tubules excréteurs. On ne pourra comprendre ces phénomènes précis qu'après avoir effectué un ensemble de dissections très fines. On peut cependant tenter d'établir une explication générale. Au début de l'expérience l'animal vit dans une eau très active ; il se remplit par conséquent d'eau très active ce qui explique que l'activité totale retrouvée dans l'animal est très forte dès le début. (Le liquide palléal a une activité de 3.10^3 des/min/cc au bout de trois jours, et l'on en récupère environ 20 cc).

Instantanément après la contamination se produisent des phénomènes de diffusion à travers les membranes et des échanges au niveau des branchies par l'intermédiaire du sang. Le sang va ensuite irriguer toute la masse viscérale et le pied d'une part, le manteau d'autre part. (Or le sang représente un volume important).

Parallèlement, l'animal absorbe par le syphon inhalant de l'eau et de la nourriture contaminée ; l'eau est filtrée par les branchies. La nourriture reste accrochée aux filaments branchiaux pour être ensuite dirigée vers la bouche et de là passée dans le tube digestif. L'eau filtrée ressort par le syphon exhalant. Les aliments digérés sont ensuite véhiculés par le sang.

Ceci explique peut-être pourquoi l'activité spécifique des branchies est supérieure à celle des autres organes. Ici s'ajoutent en effet l'activité de l'organe proprement dit et celle des particules déposées. Il y a donc au niveau des branchies un échange ionique et une absorption des microorganismes. On comprend alors pourquoi les mollusques dulcicoles branchiaux ont toujours des activités spécifiques supérieures aux pulmonés ; ces derniers, en effet, ne peuvent se contaminer que par des phénomènes d'adsorption ou par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire. La nourriture peut contaminer le tractus digestif mais ceci ne semble pas être le

phénomène majeur. Il pourrait se produire à l'intérieur de la cavité palléale un circuit fermé où perte et réabsorption se compensent sans que l'animal perde de l'activité (donc Cs^+) au profit de l'eau. Nous avons simplement voulu donner quelques idées sur un mécanisme qu'il faut essayer de "démonter".

Ce mécanisme est en effet capital sur le plan de la protection car c'est de lui que dépend la contamination interne de l'animal à partir de son milieu et, par conséquent, l'irradiation et ses effets sur chaque organe.

L'autoradiographie donne une idée de cette contamination interne. (Photos page ci-après). Nous pouvons remarquer une répartition uniforme et anarchique de l'activité dans les branchies (particules fixées et réseau sanguin très dense). Par contre, dans le manteau, nous avons des zones d'activités plus intenses les unes que les autres. Elles se situent dans la région des insertions musculaires et principalement sur toute la partie externe du manteau qui joue un grand rôle dans la formation de la coquille.

Nous savons donc que *Margaritana margaritifera* (L) fixe par adsorption du ^{137}Cs sur la coquille et en absorbe par la nourriture et par échange ionique dans les parties molles.

Nous allons essayer d'évaluer et d'exprimer le taux de cette contamination sur le plan de la protection sanitaire.

IV.2.c) Les facteurs de concentration.

On a pris l'habitude d'exprimer la capacité de fixation d'un radioélément par un organisme vivant sous forme de rapport. On appelle facteur de concentration le coefficient, à l'équilibre, entre l'activité par gramme de poids sec et l'activité par cm^3 d'eau exprimé avec la même unité. $FC = \frac{\mu c/g \text{ poids sec}}{\mu c/cc \text{ d'eau}}$

Le tableau VII donne les facteurs de concentration calculés ainsi pour tous les organes. (On trouve en annexe les correspondances en $\mu c/$).

Dans notre cas, nous avons les facteurs de concentration moyens suivants :

Coquille	:	FC =	9 ± 2
Parties molles	:	FC =	321 ± 100
Animal total	:	FC =	38 ± 7

(La courbe 4 nous donne les variations de ces facteurs de concentration en fonction du temps). Nous voyons que les parties molles en particulier ont des facteurs de concentration assez variables.



AUTORADIOGRAPHIE DU
MANTEAU



AUTORADIOGRAPHIE D'UNE
BRANCHE

Autoradiographies faites 54 jours après la contamination.
Film : Kodak Regulix
Temps de pose : 145 heures.

N° de l'échantillon	Temps (jours)	Animal total	Coquille	Parties molles	$\frac{\mu\text{c/g poids sec}}{\mu\text{c/cc d'eau}}$				
					Pied + Viscères	Manteau	Branchies	LP	LEP
1	3	5,8	0,97	14					
2	8	-	1,6	12,2					
3	8	-	2,1	19,4					
4	27	15,8	10,7	129,2					
5	36	45,2	10,2	84,1					
6	37	35,5	6,3	388,7					
7	43	19,1	8,3	112,4	101,7	137,9	137,0	1,4	1,9
8	57	44,4	11,6	356,4	310	548,1	421,2	2,5	3,5
9	63	42,1	8,4	405,3	375,6	496,9	448,2	4,7	4,8
10	65	33,4	8,8	342,5	323,4	333,3	420,3	1,9	3,0
11	76	53,4	8,0	485,4	418,4	566,4	742,4	6	6,5
12	83	30,1	6,1	324,3	355,3	240,8	275,9	4	9,8
13	91	36,2	10,8	313,5	289,6	372,1	361,6	5,5	6,3
14	94	43,9	7,2	393,4	327,1	457,5	621,3	-	-
\bar{x}		38	9	321	313	394	428	4	5

TABLEAU VII

En effet, les chiffres avancés ne sont vrais que statistiquement car les réactions sont différentes d'un individu à l'autre et les variations d'activité de l'eau (même à l'équilibre) ne sont pas négligeables.

Les facteurs de concentration des organes confirment ce que nous avons déjà remarqué. Ce sont les branchies qui ont le facteur de concentration le plus élevé, puis le manteau et enfin de pied et les viscères. On constate également une légère différence entre le liquide extrapalléal et le liquide palléal.

Branchies	: FC = 430
Manteau	: FC = 395
Pied et viscères	: FC = 313
Liquide palléal	: FC = 4
Liquide extrapalléal:	FC = 5

Ces coefficients peuvent, dans une certaine mesure, servir d'éléments de comparaison entre les différents travaux. Mais, pour être utilisable en matière de protection, il faut connaître exactement les conditions expérimentales qui ont permis l'établissement de ce facteur de concentration. De plus, ce rapport ne rend pas compte du niveau d'activité réel de l'organisme.

Une discussion doit donc s'engager sans prétendre pour autant résoudre ce délicat problème. Elle a d'ailleurs déjà été abordée par S. WLODECK et Y.A. FONTAINE en particulier.

Dans nos expériences au laboratoire, en aquarium, nous avons un "milieu fermé". Cette condition expérimentale permet d'atteindre un "état d'équilibre" et par conséquent, permet d'avoir un facteur de concentration constant. Que se passe-t-il si nous diminuons fortement l'activité initiale de l'eau ? Sans changer les autres conditions expérimentales on va tendre vers un nouvel équilibre ; les courbes auront la même forme mais l'équilibre sera déplacé. On aura un nouveau facteur de concentration peu différent du premier et, cependant, l'activité de l'animal est dans le premier cas bien

supérieure à son activité dans le deuxième cas. Ceci est important pour la "protection" de l'animal puisque les taux d'irradiation interne changent. L'activité propre de l'animal dépend de l'activité initiale mise dans l'eau de l'aquarium. Ceci n'est valable que dans des zones d'activité relativement faible. Au dessus de la "capacité radiogénique" l'animal à l'équilibre perd autant d'activité qu'il en gagne. (Cette "capacité" pourrait être calculée en maintenant l'activité de l'eau constante). Si, sur des animaux ayant véritablement absorbé une certaine quantité de radioéléments on fait passer un courant d'eau inactive, l'activité de l'animal décroît peu et l'eau passe d'une activité nulle à une activité λ très faible. (Voir plus loin). Donc le facteur de concentration augmente beaucoup, bien que l'animal ait perdu une certaine activité. Il faut donc tenir compte de l'activité initiale de l'eau contaminante.

Dans la nature on a toujours des activités très faibles. Le circuit est continuellement ouvert avec des alternances de périodes de rejets et de périodes d'écoulement d'eau non contaminée. L'équilibre est "instable". Si on prélève un animal à l'instant t il peut avoir fixé une quantité de radioélément alors que l'activité de l'eau au même instant est presque nulle.

D'où FC \longrightarrow ~~sc~~

L'animal s'est donc contaminé à partir de rejets antérieurs à la date du prélèvement. Si, au contraire, on prélève en période de rejets l'animal n'a peut-être pas encore accumulé de radioéléments alors que l'activité de l'eau est forte. Le facteur de concentration sera dans ce cas très faible ou même négatif.

N°	Jours	Moule totale	Coquille	Parties molles	Muscles Viscères	Manteau	Branchies	LP	+ L extrapal.
1	3	1,499	0,248	3,596				0,418	
2	8		0,248	1,880					
3	8		0,331	2,975					
4	27	0,367	0,246	2,987					
5	36	0,860	0,195	1,602				0,119	
6	37	0,677	0,119	7,401				0,041	
7	43	0,363	0,158	2,142	1,936	2,626	2,608	0,026	0,036
8	57	0,845	0,221	6,786	5,903	10,438	8,019	0,047	0,067
9	63	0,801	0,159	7,717	7,152	9,461	8,534	0,090	0,092
10	65	0,635	0,167	6,520	6,157	6,347	8,002	0,036	0,058
11	76	1,017	0,153	9,242	7,966	10,785	14,135	0,115	0,125
12	83	0,573	0,117	6,176	6,766	4,585	5,254	0,076	0,186
13	91	0,689	0,206	5,970	5,513	7,084	6,885	0,105	0,119
14	94	0,837	0,137	7,491	6,229	8,710	11,829		
X		0,730	0,163	6,105	5,952	7,504	8,158	0,083	0,094

FACTEURS DE CONCENTRATION CALCULES PAR RAPPORT A L'ORIGINE (3,3 nanocuries/
cc d'eau)

TABLEAU VIII

En résumé, dans un aquarium nous avons des facteurs de concentration constants mais les activités de l'animal dépendent de l'activité initiale de l'eau. Le tableau VIII donne les facteurs de concentration par rapport à l'activité de l'eau contaminante.

On constate que les valeurs des facteurs de concentration moyens sont beaucoup moins élevées. Ces chiffres sont davantage en rapport avec l'activité réelle que représentent les organismes vivants. (Voir plus loin). Les différences que l'on obtient entre les facteurs de concentration de deux individus ne sont dues qu'aux variations spécifiques.

Pour établir dans la nature des facteurs de concentration nous devons considérer l'activité moyenne d'un grand nombre d'individus et l'activité moyenne de l'eau pendant une longue période.

IV.3. Influence du passage d'une veine liquide non contaminée.

Nous avons voulu étudier le comportement d'un individu lorsque les conditions du milieu changent. En fin de manipulation on a prélevé deux Margaritana que l'on a mis dans un bac de cinq litres d'eau non contaminée. Elles ont été prélevées après une période de sept jours dans cette eau inactive. (Tous les résultats se trouvent dans le tableau IX).

L'activité totale de l'eau obtenue par évaporation des cinq litres est de 96.10^3 des/min. Soit une activité spécifique de 20 des/min/cc. Nous ne pouvons pas connaître l'activité réelle des Margaritana que nous avons mis dans l'aquarium non contaminé. La seule chose que l'on peut affirmer est que les deux individus ont perdu pendant 7 jours 96.10^3 des. L'activité totale de chaque individu a donc diminué. L'expérience n'est pas suffisante pour permettre de reconnaître exactement les organes responsables de cette désactivation. On peut cependant faire les remarques suivantes : les deux spécimens avaient des poids à peu près identiques. (Voir tableau I n° 15 et 16). Nous avons vu qu'il existait un rapport entre l'activité totale de la coquille et son poids. D'après leurs poids nos deux échantillons devaient avoir une activité totale des coquilles de l'ordre de 61.10^3 des/min + 35.10^3 des/min = 96.10^3 des/min. On retrouve 27.10^3 des et 23.10^3 des soit 5.10^4 des/min. Chaque coquille a perdu environ 30 % de son activité. Les parties molles ont perdu : $96.10^3 - 46.10^3 = 50.10^3$ des/min. Cette perte est faible si on la compare aux moyennes d'activité des parties molles totales. (Pertes de 10 à 15 %). On constate ensuite que les activités spécifiques du pied et des viscères, du manteau et des liquides ont diminué, par contre l'activité spécifique des branchies a augmenté.

On peut penser que la coquille a perdu une grande partie de son activité et les parties molles une faible partie. Les microorganismes et les particules détachées de la coquille se sont répandus dans l'eau et ont été réabsorbés en partie par la filtration de l'animal.

N° de l'échantillon	Animal total	Coquille	Parties molles	Pied et Viscères	Manteau	Branchies	LP	LEP
ACTIVITES TOTALES (des/min)								
15	167 861	23 049	134 025	81 692	19 175	33 158	5652	5135
16	125 519	27 374	82 768	50 143	13 118	19 507	6645	8732
ACTIVITES SPECIFIQUES (des/min/g)								
15	4731	795	60 920	52 704	53 472	85 790	471	442
16	3538	822	37 621	33 880	36 997	53 370	443	740
FACTEURS DE CONCENTRATION (Activité de l'eau à l'instant t)								
15	225	38	2900	2510	2545	4085	22	21
16	168	39	1800	1613	1762	2541	21	35
FACTEURS DE CONCENTRATION (Activité de l'eau à l'origine)								
15	0,64	0,11	8,3	7,2	7,3	11,7	0,06	0,06
16	0,48	0,11	5,1	4,6	5	7,3	0,06	0,10

TABLEAU IX

IV.4. L'activité du sédiment et le bilan global.

Pour pouvoir représenter la répartition de l'activité dans l'ensemble de notre aquarium, nous devons connaître l'activité du sédiment. En raison des différences de granulométrie et de la nature du sédiment les résultats manquent de précision. Nous avons compté directement les éléments de petite taille ; pour les graviers et les cailloux nous avons compté l'eau de rinçage. Nous savons que l'activité du sédiment est due principalement à un phénomène de surface. Par conséquent, l'activité devrait augmenter en fonction du pourcentage des éléments de petite taille. Nous ne pouvons pas le vérifier car l'activité dans le sédiment n'est pas homogène. (Voir tableau X). Les graviers et les cailloux, quelles que soient leurs tailles sont plus radioactifs en surface qu'en profondeur, la lumière permettant le développement des algues. Un grand nombre de comptages permet cependant d'obtenir des moyennes. Nous trouvons, en définitive, 98 % de l'activité initiale dans le sédiment. Les échanges d'activité les plus importants se font entre l'eau et le sédiment. Nous avons environ 250.10^6 désintégrations dans notre aquarium. En fin de manipulation cette activité se répartit de la manière suivante :

Sédiment	:	244.300.000 des/	97,70 %
Animaux	:	2.250.000 "	0,90 %
Eau	:	1.400.000 "	0,56 %
Algues des parois	:	170.000 "	0,07 %
Lavage de l'aquarium	:	330.000 "	0,13 %
Eau du bac de décontamination	:	100.000 "	0,04 %
		<hr/>	
		248.550.000	

Sur le graphique VI on peut constater que la radioactivité qui revient au vivant est faible. Cependant, rien ne prouve que des activités faibles n'ont pas des effets importants.

ETUDE DU SEDIMENT (Matière organique + cailloux)

Tailles en mm	Poids en g	Activité spécifique des/mn/g	Activité totale des/mn
Matières organiques	24,15	1 580	$3,8 \times 10^6$
< 2	76,9	12 800	1×10^6
2 - 10	7 160	12 500	$89,3 \times 10^6$
10 - 50	4 810	31 000	150×10^6
50 - 100	3 360	3 100	$0,05 \times 10^6$
> 100	7 300	3 100	$0,1 \times 10^6$

TABLEAU X

Par conséquent, à partir d'une manipulation simple où l'on a volontairement diminué le nombre des variables les phénomènes mis en jeu demeurent cependant complexes. On peut tenter de donner une interprétation générale de la capacité de fixation du ^{137}Cs par les mollusques en faisant intervenir la chimie du Potassium.

Le tableau ci-dessous donne la composition chimique moyenne de trois types d'eau. (En g/litre).

		Na	K	Ca	Mg	Cl	Sels totaux	pH
Mer		10,543	0,382	0,403	1,272	19,000	34,4	8,1 - 8,3
Eau	dureté forte	0,021	0,016	0,064	0,014	0,041	0,42	7,7 - 7,8
douce	dureté faible	0,003	traces	0,002	0,001	0,05	0,02	6,7 - 6,8

d'après ROBERTSON (1941) *

Nous savons qu'un mollusque doit dépenser de l'énergie pour maintenir sa concentration en K dans un milieu qui en contient très peu. Ceci représente une différence capitale avec le milieu marin. On voit toute l'importance que peut avoir la teneur en K de l'eau. (cf. travaux de Davis). Nous trouverons donc des différences de fixation du ^{137}Cs entre les mollusques dulcicoles et marins. Polikarpov nous indique que le facteur de concentration d'une coquille marine est peu différent de 0 alors que celui d'une coquille d'eau douce est de l'ordre de 10. Ici les résultats sont peu comparables étant donné le rôle important que joue la couverture biologique.

Par contre, les comparaisons restent valables pour les parties molles.

Les chiffres des facteurs de concentration sont inférieurs à 20 pour les mollusques marins. Cette activité semble ne pas être solidement fixée. (*Mytilus galloprovincialis* voit décroître rapidement son activité si on la transfère dans une eau non contaminée).

* Dans le sang on retrouve ces différences de teneur en K.

Mytilus 0,497 mg/l

Anodonta 0,019 mg/l

Pour les mollusques vivant en eau douce dure les résultats sont très variables (de l'ordre de 100). Nous avons trouvé des facteurs de concentration pour les parties molles de *Margaritana* compris entre 200 et 400.

Ceci prouve que le facteur de concentration décroît si la teneur en Potassium augmente (Travaux de Bryan sur *Potamopyrgus jenkinsi*). Les études entreprises sur des mollusques du Bassin Rhodanien (eau douce dure et plus ou moins salée vers la Camargue) nous permettront peut-être de trouver un ensemble de valeurs intermédiaires.

V - CONCLUSION

Le but de cette étude est d'indiquer quelle est la capacité de fixation du ^{137}Cs par *Margaritana margaritifera* (L). Le facteur de concentration de l'animal total est de 40 environ si l'on considère l'activité de l'eau à l'équilibre et de 0,8 environ si l'on considère l'activité initiale de l'eau. La répartition de la radioactivité s'effectue selon différents mécanismes et dépend des conditions écologiques.

Il faut noter que les échanges principaux se situent entre l'eau et le sédiment. En ce qui concerne le ^{137}Cs l'activité de l'eau baisse très rapidement au profit de celle du sédiment. Dans le cas précis qui nous concerne, c'est-à-dire avec un sédiment sablo-graveleux, l'eau ne contient plus au bout de trente jours que 1 % de l'activité initiale alors que le sédiment représente 98 % de cette activité. L'organisme vivant joue en quelque sorte un rôle de "shunt". Quelle que soit l'activité qu'il absorbe (1 % de l'activité initiale dans notre cas) il reste l'élément critique en matière de protection.

De la contamination expérimentale de *Margaritana margaritifera* (L) se dégagent certaines idées générales.

Nous pouvons constater :

- une absorption relativement faible du ^{137}Cs sur la coquille
- une absorption forte et rapide du ^{137}Cs dans les parties molles par échange avec le milieu extérieur et qui conduit à une irra-

diation interne

- l'importance du métabolisme et de l'état de l'animal expliquent les variations de fixation du ^{137}Cs que l'on observe dans les différents organes
- le rôle important joué par les facteurs du milieu, qu'ils soient abiotiques (influence du courant, de la chimie de l'eau et de la nature du sédiment) ou biotiques (chaîne alimentaire).

Pour nos études il faut choisir des espèces sédentaires vivant longtemps. Il faut s'assurer que l'eau contaminée passe dans le territoire des animaux. Il faut tenir compte du temps pendant lequel les animaux restent en contact avec cette eau contaminée. Il faut également remarquer que la précipitation des particules radioactives se fait dans des zones de faible courant. Un bras mort de rivière qui remplit toutes ces conditions est donc une "zone critique" de contamination.

Margaritana margaritifera possède par conséquent toutes les possibilités de fixer du ^{137}Cs soit par l'intermédiaire de l'eau, soit par la chaîne alimentaire. La quantité de ^{137}Cs solidement absorbée, est faible par rapport à celle rejetée dans le milieu. Cependant, si les conditions de milieu varient peu, le facteur de concentration reste constant. Si l'on considère un cycle d'un an ou plus, *Margaritana margaritifera* pourra servir d'indicateur de la contamination du milieu par le ^{137}Cs .

Nous devons remarquer que, pour chaque espèce et chaque radioélément, on n'obtiendra des résultats précis que par un grand nombre d'expérimentations et par une étude statistique. Un ensemble coordonné d'expériences de contamination sur des espèces isolées permettra de définir la capacité de fixation d'une "communauté complexe" et de comprendre les mécanismes du transfert de la radioactivité à l'intérieur de cette communauté.

VI - RESUME

Les études hydrobiologiques effectuées au sein de la Section de Radioécologie (Groupe de Radioécologie Continentale de Cadarache) nous ont amenés à étudier la capacité de fixation du ^{137}Cs par *Margaritana margaritifera* (L). Ce bivalve d'eau douce a été récolté dans un ruisseau en aval de la Centrale Nucléaire des Monts d'Arrée dans les massifs du Huelgoat en Bretagne. Le ^{137}Cs , produit de fission à vie longue, rentre, en faible dose, dans la composition des rejets issus des Centrales Nucléaires. Les lamellibranches, par leur grand pouvoir filtrant et leur mode de nutrition, présentent un grand intérêt sur le plan de la contamination.

Après une étude physico-chimique et hydrobiologique des stations, des spécimens de *Margaritana* ont été transportés au Laboratoire de Cadarache. Les individus ont été conservés dans des aquariums en résine polyester de 40 litres avec un dispositif de refroidissement. Un aquarium comprenant 18 individus, de l'eau et du sédiment a été contaminé en raison de $2 \mu\text{Ci/litre}$. Pendant 100 jours on a suivi l'évolution de l'activité de l'eau, du sédiment et des animaux. Au bout de 30 jours l'activité de l'eau ne représente plus que 1 % de l'activité initiale, celle du sédiment 98 % et celle des *Margaritana* 1 %. On obtient donc un état d'"équilibre". Ce type de courbe est très général et se retrouve dans presque toutes les expériences de contamination. Les échanges principaux se situent entre l'eau et le sédiment.

Dans l'animal nous avons observé une adsorption relativement faible du ^{137}Cs sur la coquille. Cette adsorption est due en majeure partie aux microorganismes qui ont métabolisé ou adsorbé du ^{137}Cs et qui sont fixés sur les parois de la coquille.

Par contre, on remarque une absorption forte et rapide du ^{137}Cs dans les parties molles. Ce sont les branchies qui ont l'activité spécifique la plus élevée, (activité par gramme d'organe sec) puis le manteau et enfin les viscères. Ceci s'explique si l'on considère que c'est au niveau des branchies que s'effectuent des échanges osmotiques d'éléments dissous et que sont filtrées les particules organiques ou minérales entrant dans la

composition de la nourriture.

En protection sanitaire on évalue la capacité de fixation d'un radioélément par une espèce au moyen du facteur de concentration.

$$\left(\frac{\mu \text{ ci/g poids sec}}{\mu \text{ ci/cc d'eau}} \quad \text{à l'équilibre} \right)$$

Pour *Margaritana margaritifera* (L) on trouve un facteur de concentration de l'ordre de 9 pour la coquille, 300 pour l'ensemble des organes et 38 si l'on considère l'animal total.

Cette étude comparée à celles déjà effectuées par d'autres auteurs permet de dégager des idées générales sur le mode et la capacité de fixation du ^{137}Cs par les lamellibranches. Il semble en particulier que cette capacité de fixation du ^{137}Cs soit liée à la teneur en K^+ du milieu. Plus une eau est pauvre en sel dissous plus le facteur de concentration est élevé. Un bivalve vivant dans une eau pauvre en sels de pays cristallin a un facteur de concentration plus élevé qu'un bivalve vivant en eau dure lequel aura à son tour un facteur de concentration plus fort qu'un lamellibranche marin.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (W.)
Mollusques terrestres et dulcicoles
Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 1960, pp 322 - 330.
- AGRE (Al.) KORODIN (Vi.)
A propos de la distribution des déchets radioactifs dans les réservoirs
d'eau stagnante
Med. Radiol. SSSR, n° 5.I, 1960, pp 67-73
- AIEA - VIENNE
Collection Sécurité n° 10, 1963
- AIEA - VIENNE
Bibliographical, Série n° 5, 1962
- ANCELLIN (J.), MICHON (G.), VILQUIN (A.)
Contamination expérimentale des crevettes roses par le Cs 137
Rapport C.E.A. - R.2818, 1965
- ARGIERO (L.), MANFREDINI (S.), DALMAS (G.)
Absorption de produits de fission par des organismes marins
Health-Physic, vol. 12, 1966, pp. 1259-1265
- BAALSRUD (K.)
The influence of radioactive wastes on biological conditions in a river
Rapport IAEA-TR - 28 - VIENNE, 1964
- BARBREAUX (A.)
Etudes géologiques, hydrogéologiques et géophysiques sûreté du site de la
Centrale des Monts d'Arrée
C.E.A. - S.E.S.R., 1964 Décembre
- BIDWELL (KWE), FOREMAN (E.)
Etude de la contamination d'une communauté animale avec Sr90 et Cs 137
Nature, vol. 180, n° 1195, 1957
- BITTEL (R.)
Quelques aspects de radiohydrologie
D.P.S. - Etude bibliographique n° 9, 1965
- BOCQUET (H.)
Radio-écologie et pollution radioactive du milieu
Produits et problèmes pharmaceutiques, vol. 20, n° 2, 1965

BOVARD (P.), GRAUBY (A.)
Pédologie nucléaire, étude du site de Brennilis. Centrale des Monts d'Arrée
C.E.A. - S.C.R.G.R., 1961

BOVARD (P.), GRAUBY (A.), CATTAN (Y.)
Etude du transfert d'un ion radioactif dans une étendue d'eau faiblement
renouvelée
Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques (CEA), n° 70, 1963

BOVARD (P.)
Solution technique au contrôle permanent de la radioactivité des effluents
liquides et de leurs déversoirs
Féd. Europ. de Protection des eaux, Bull. n° 10, 1964, pp. 53-56

BOVARD (P.)
La radioécologie
Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques (CEA), n° 106, 1966,
pp. 37 et 38

BRUNG (W.A.)
Experimental uptake of ⁸⁵Sr by fresh water organisms
Health Physic, vol. 11-1, 1965, pp. 41-46

BRYAN (GW.)
The accumulation of radioactive Cs by marine invertebrates
J. Mar. Biol. Ass. UK.43, 1963, pp. 519-539
And the accumulation of Cs 137 by brackish water invertebrates and its
relation to the regulation of K and Na, 1966, pp. 541-565

CARTER MELWIN (W.)
Biological uptake of radioactive nuclides by clams
University of Florida L.C. Card. No. Mic. 60 - 6662, 1960

CHEMIN (E.)
Les mollusques d'eau douce
Ed. P Lechevalier, Paris, 1926

CHIPMAN (WA.), HOPKINS (J.G.)
Water filtration by the bay scallop, Pecten irradians, as observed with
the use of radioactive plankton
The Biol. Bulletin, vol. 107, 1954, pp. 80-91

CHIPMAN (WA.)
Symposium on the disposal of radioactive wastes into seas, ocean and surface
waters.
Uptake and accumulation of chromium 51 by the clam, tapes decrussatus on
relation to physical and chemical form
IAEA - VIENNE, 16 - 20 mai 1966

CUSHING (CE.), WATSON (DG.)

Accumulation and transport of radionucleides by Columbia river biota
VIENNE, 1966, mai

DAVIS (JJ.)

Cesium and its relationship to potassium in ecology.

In : Schultz v. and Klement.

Radioecology First National Symposium, 1963

FISCHER (PH.)

Vie et moeurs des mollusques

Payot - PARIS, 1950, p. 94 - p. 158

FITZGERALD (EW.), RANKIN (J.S.)

Zinc 65 levels in oysters in the Thames rives

Science USA, 135 (3507), 1962, p. 926

FLORKIN

Contribution à l'étude de l'osmorégulation chez les invertébrés d'eau douce

Arch. Intern. Physiol. 47, 1938, pp. 113-124

FONTAINE (Y.)

La contamination radioactive des milieux et des organismes aquatiques

Rapport CEA -R-1588, 1960

FORCART (L.)

Mollusques terrestres et d'eau douce

Librairie Payot - LAUSANNE n° 9

GERMAIN (L.), SEGUY (F.)

Faune des lacs, étangs, marais

Ed. par Lechevalier, 1957

GETSOVA (A.B.)

The problem of the excretion of radioactives isotopes by various aquatic in-
vertebrates

Doklady akad. Nauk. SSSR. vol. 133, n° 2, 1960, pp. 459-461

GLASER (R.)

Accumulation of I¹³¹ by the Mussel *Dreissensia polymorpha*
Naturwissenschaften, 47 (12), 1960, pp. 284-287

GRASSE(P.)

Traité de zoologie

T.V. Fascicule II - MASSON et Cie, 1960, pp. 1979-1981

HAWKES (H.A.)

An ecological basis for the biological assessment of river pollution.
Chemistry and Industry, n° 437, 1964, p. 42

KEČEKES (S.), PUCAR (Z.), MARAZOVIĆ (L.J.)

The influence of the physico-chemical form of Ru¹⁰⁶ on its uptake by
mussels from sea water
Congrès de Radioprotection - STOCKHOLM, 1966

LEANDRI (M.); CHARREL (J.), OMEZ (D.)

Etude sur la contamination expérimentale de certains coquillages méditer-
ranéens par des eaux rendues radioactives
Revue Hyg. et Méd. Soc., Tome 11, n° 5, 1963, p. 401-410

LEANDRI (M.), CHARREL (J.),

Essais de décontamination expérimentale des coquillages méditerranéens
pollués par des eaux rendues radioactives.
Rev. Hyg. et Méd. Soc., Tome 11, n° 5, pp. 411-416, 1963

MACAN (T.T.)

A guide to freshwater invertebrates animals
Longmans, 1960

MELLAMBY (H.)

Animal life in freshwater
Methuen L Coltd, 1963

MERLINI (M.)

Application de la radioactivité à la biologie
Euratom 128-i, 1962

MICHON (G.)

Les pollutions radioactives - Evolutions biologiques
Maroc Médical, n° 465, 1964, pp. 167-176

MORGAN (F.)

Journal of the marine biological assoc. of the United Kingdom. The uptake
of radioactivity by fish and shell-fish, vol. 44, n° 1, 1964

NEEDHAM, NEEDMAN

A guide to the study of freshwater biology
Holden day - INC - SAN FRANCISCO, 1963

NEILL (K.G.), OAD TROJAN

The cesium-potassium discrimination ratio
Health Physic, vol. 4 (2), 1960, pp. 109-112

NELSON (D.J.)

Clams as indicators of strontium 90
Science n° 137 (3523), 1962, pp. 38-39

OPHEL (I.L.)

The fate of radio strontium in a fresh water community
In : First Nat. Symposium of Radio Ecology, 1963, pp. 213-216

PELSENEER (P.)

Essai d'éthologie zoologique d'après l'étude des mollusques.
BRUXELLES, 1935, pp. 38-46-54-97-113

PENDLETON (R.C.)

Absorption of Cesium 137 by an aquatic community
Rep. Hw 53-500 on proceeding of the Second International Conference on
the peace use of Atom Energy - NEW-YORK, Paper 392, 1958

PENNAK (R.W.)

Fresh water invertebrates of the United States.
The Ronald Press Company - NEW YORK, 1953

PEREDEL'SKY (A.A.)

Fondements et problèmes de la Radioécologie
Zh. Obschch. Biol. SSSR, n° 18-1, 1957, pp. 17-30

PERRIER (R.)

La faune de la France illustrée
Mollusques - Delagrave, Tome IX, 1954

POLIKARPOV (G.G.)

The accumulation of fission products by marine organisms.
Translated from nauk. Doklady Vyschei. Chkoly.
Biol. n° 4, 1961, pp. 92-98

POVELJAGINA (T.), TELITCHENKO

Concentration of radioactive isotopes of phosphorus and strontium by various
species of freshwater molluscs.
Moskow. Obschch. Isp. Biol. Bull. n° 64(2), 1959, pp. 79-83

QUINIO (R.), ALEVRARD

Quatorze premiers mois de mesures continues. Etude climatologique du site
de la Centrale Nucléaire des Monts d'Arrée.
C.E.A. - S.C.R.G.R., 1960 octobre - 1961 novembre

RAVERA (O.), et AL.

A research program for the study of radioactivity in molluscs as a possible
index to the contamination of a lake
N.S.A. 16, n° 17. 22428, 1962

RAVERA, MERLINI, BERG, TONOLLI

Etudes sur la concentration biologique des produits de fission de certains
mollusques aquatiques.
Contrat de recherches n° 59, CEN-ISPRA et Inst. Hyd. Pallanza, 1960-61

RICE (T.R.), SMITH (R.J.)

Filtering rates of the hard clam *Venus mercenaria* determined with radioactive plankton

Fishery Bull. n° 58, 1958, pp. 73-82

STRESEMANN (E.)

Exkursions - Fauna.

Wirbellase I. Volk und Wissen volkseigener verlag - BERLIN, 1961

TEMPLETON (W.L.)

Transport and distribution of radioactive effluents in coastal and estuarine waters of the U.K.

A.I.E.A. - VIENNE, 1966 mai

TIMOFEYEVA - RESOVSKAYA

Distribution of basic components in freshwater bodies.

Trudy Instituta Biologii.

Academiya nauk Sverdlovs', n° 30, 1963, pp. 1-79

TIMOFEYEVA - RESOVSKAYA

On specific accumulators of separat radioactive isotope among freshwater organisms.

Doklady acad. nauk SSSR 140, 1961

TIMOFEYEVA - RESOVSKAYA

Coefficients of accumulation of radioisotopes of Sr, Ru, Cs and Ce in freshwater organisms.

Zool. Zhur., vol. 39, 1960, pp. 1449-1453

WARD, WHIPPLE'S

Freshwater biology

Edited by W.T. Edmondson, 1959

WILBUR (K.M.), YONGE (C.M.)

Physiology of molluscs, vol. 1

Acad. Press. New-York and London, 1964

WLODEK (S.T.)

Recherches préliminaires sur la migration du césium 137 dans la chaîne alimentaire eau-plantes-mollusques-poissons.

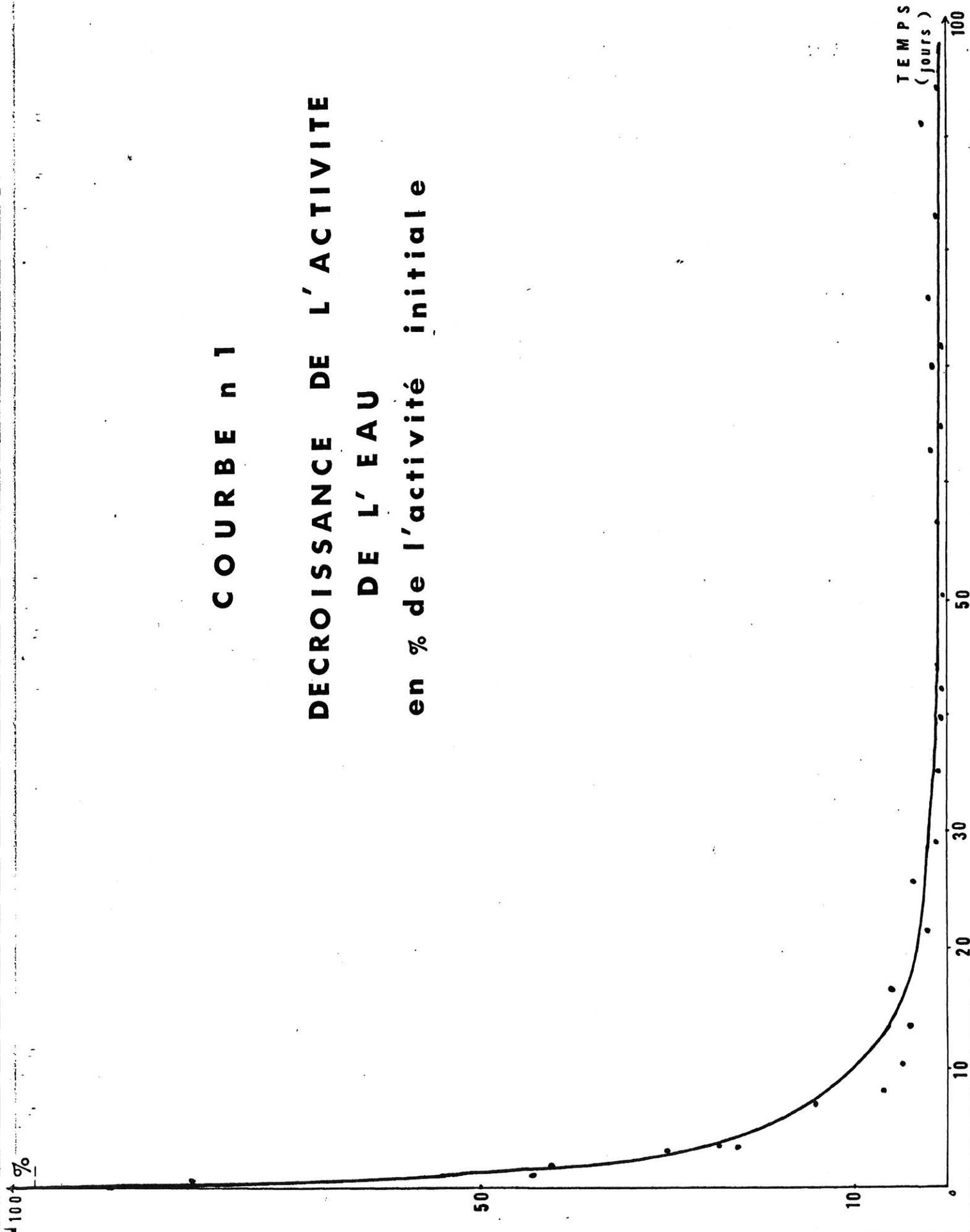
C.E.A. Note biol., 5 - 2 Grenoble, 1965

WORMSER (G.)

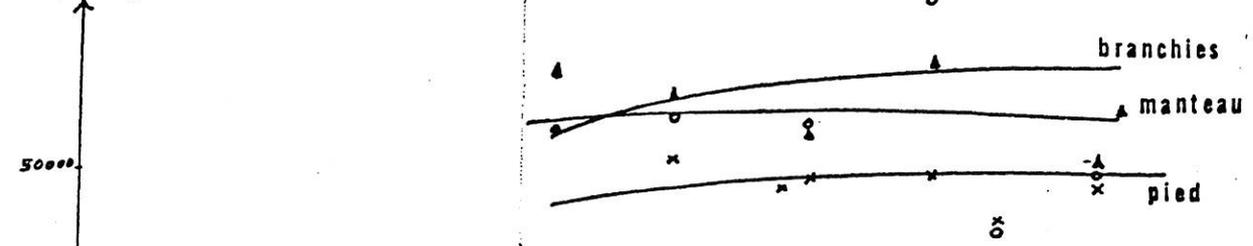
Expériences de décontamination des liquides radioactifs par voie biologique
L'Eau, février 1962, pp. 51-54

C O U R B E n 1

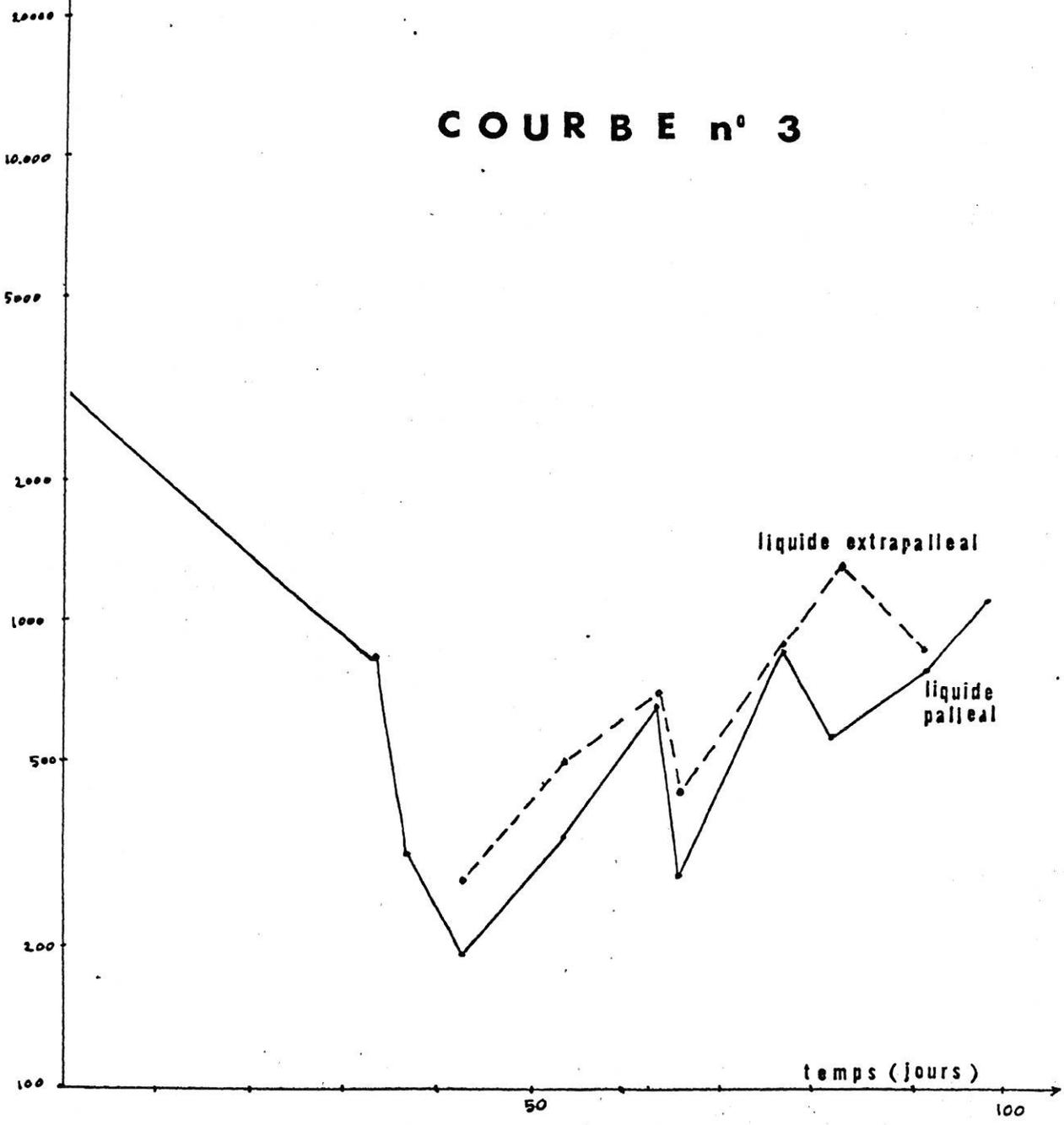
**DECROISSANCE DE L'ACTIVITE
DE L'EAU
en % de l'activité initiale**



des/min/g



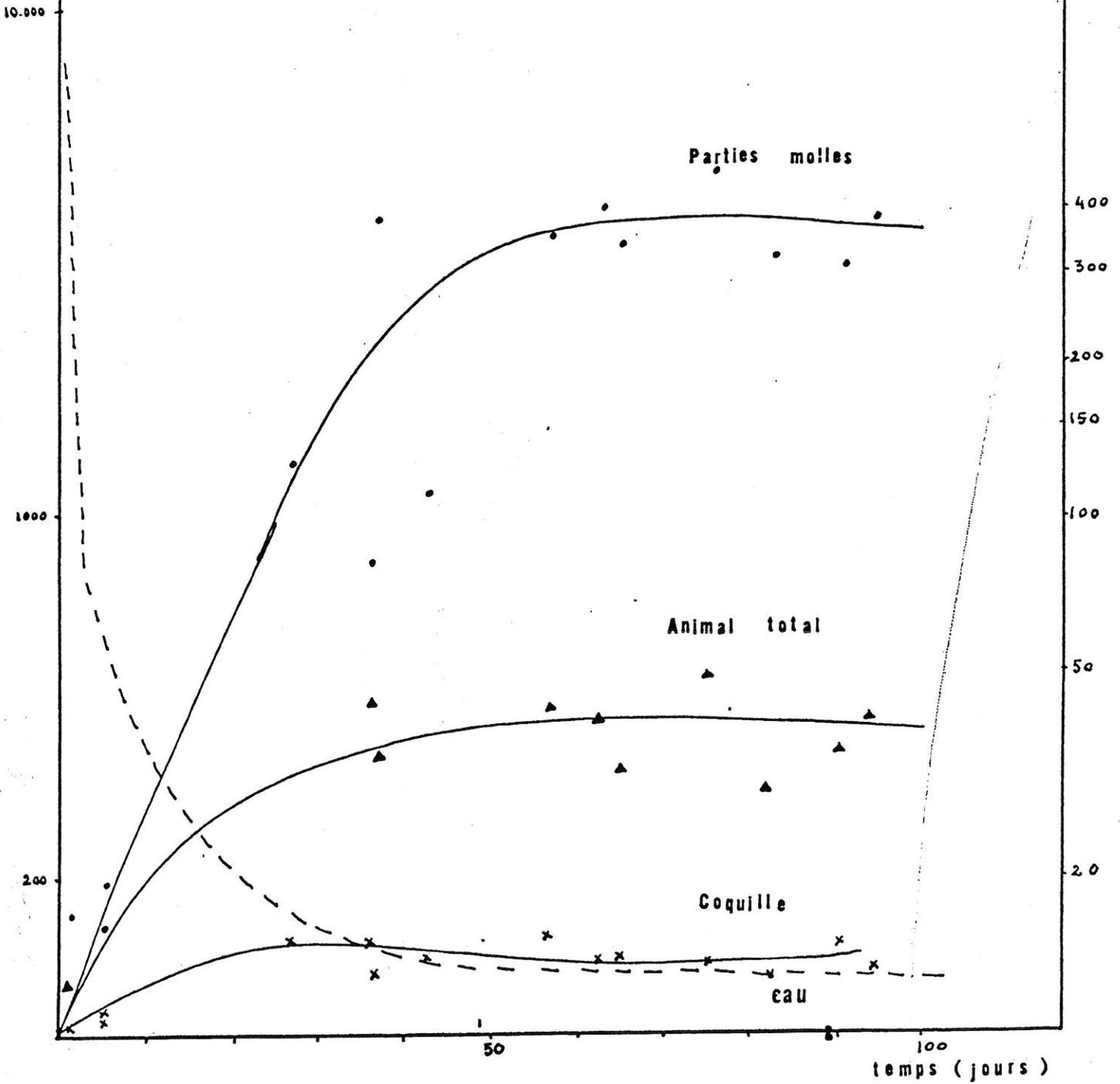
COURBE n° 3

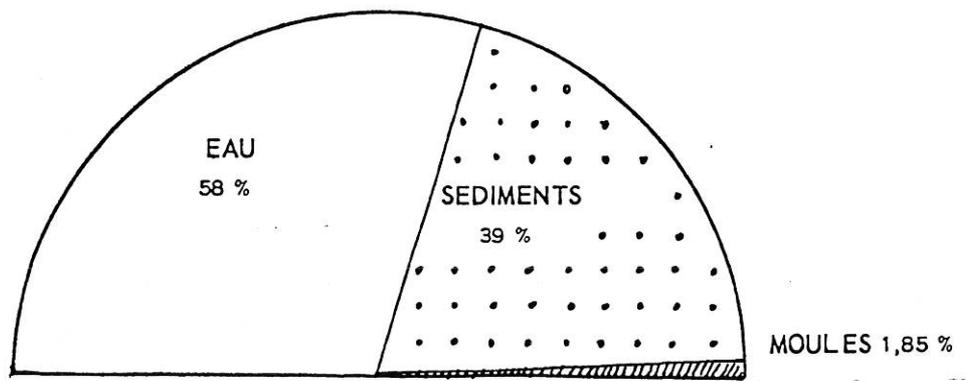


des/min/cc d'eau
(-----)

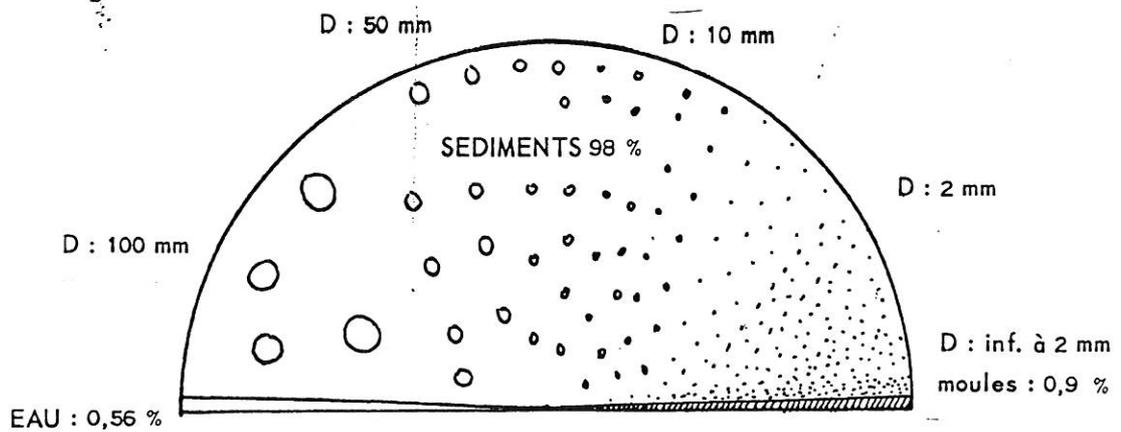
FACTEUR de
CONCENTRATION
(—————)

COURBE n° 4





GRAPHIQUE I - POIDS TOTAL DU BAC : 57,75 Kg



GRAPHIQUE VI - REPARTITION DE L'ACTIVITE DANS L'AQUARIUM A L'EQUILIBRE

	Jours	Eau	Animal total	Coquille	PM	Muscles viscères	Manteau	Branchies	LP	LEP	
Mortes dans l'aquarium	1	0,850	4,965	8,227	11,909	-	-	-	1,386	-	
	2	0,509		0,824	6,228	-	-	-	-	-	
	3	0,509		1,098	9,855	-	-	-	-	-	
	4	0,077	1,215	0,818	9,895	-	-	-	-	-	
	5	0,040	2,849	0,645	25,868	-	-	-	0,393	-	
	6	0,038	2,243	0,395	24,514	-	-	-	0,137	-	
	7	0,038	1,201	0,522	7,094	6,414	8,697	8,639	0,086	0,121	
	8	0,038	2,799	0,731	22,475	19,552	34,570	26,560	0,157	0,222	
	9	0,038	2,654	0,527	25,559	23,687	31,335	28,264	0,298	0,305	
	10	0,038	2,104	0,554	21,596	20,392	21,020	26,503	0,121	0,192	
	11	0,038	3,369	0,507	30,609	26,383	35,719	46,817	0,381	0,413	
	12	0,038	1,898	0,387	20,454	22,409	15,186	17,402	0,252	0,617	
	13	0,038	2,282	0,683	19,773	18,261	23,464	22,803	0,346	0,396	
	14	0,038	2,774	0,455	24,810	20,630	28,849	39,178	0,582	0,231	
	15			2,131	0,358	27,441	23,740	24,086	38,644	0,212	0,199
	16			1,594	0,370	16,943	15,261	16,665	24,040	0,199	0,333

Mises dans l'eau inactive

ACTIVITES SPECIFIQUES en nanocuries ($10^{-3} \mu C$)

ANNEXE

ESSAI DE REPRESENTATION MATHEMATIQUE DES COURBES EXPERIMENTALES

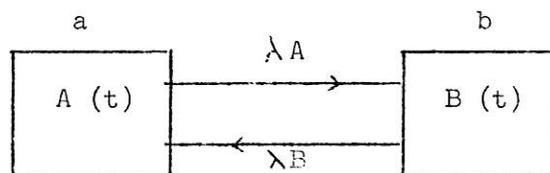
Notre expérimentation a porté sur plus de 1000 mesures. Ce chiffre nous a paru suffisant pour faire une première tentative de représentation mathématique de nos courbes expérimentales. C'est un essai qui permettra peut-être de guider nos prochaines expériences. Les résultats ont été obtenus sur les calculatrices analogiques du Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache (Section d'Electronique et d'Instrumentation).

Pour pouvoir poser le problème, nous devons faire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices :

- l'animal n'échange de l'activité qu'avec l'eau
- il n'y a pas passage d'activité de la coquille aux parties molles et réciproquement
- le sédiment ne reçoit de l'activité que de l'eau
- le nombre d'individus vivants est constant.

Nous pouvons raisonner au départ sur un cas général simple.

On admet que s'il y a échange d'activité entre deux ensembles a et b, a perd par unité de temps une activité proportionnelle à son activité propre ($A(t)$) et gagne une activité proportionnelle à B ($B(t)$).



La variation d'activité ΔA de a par unité de temps sera de la forme

$$\Delta A = - \lambda_A A + \lambda_B B$$

On a donc deux constantes d'échanges λ_A et λ_B .

Pendant un temps Δt on a :

$$\Delta A = (-\lambda_A A + \lambda_B B) \Delta t$$

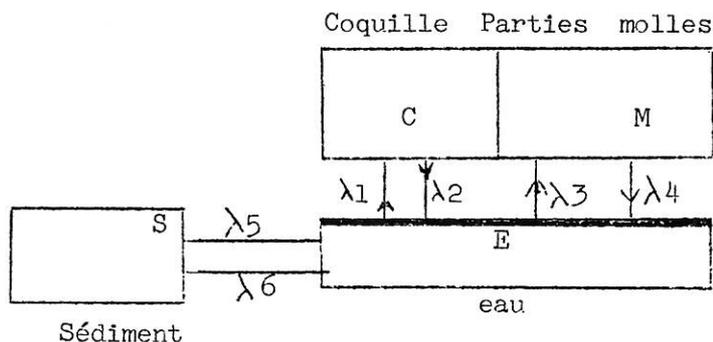
à la limite

$$\frac{dA}{dt} = -\lambda_A A + \lambda_B B$$

de même

$$\frac{dB}{dt} = \lambda_A A - \lambda_B B$$

Dans notre expérimentation nous avons plusieurs ensembles distincts dont les échanges peuvent se schématiser de la manière suivante :



En raisonnant comme dans le cas examiné ci-dessus, on aura les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= \lambda_1 E - \lambda_2 C \\ \frac{dM}{dt} &= \lambda_3 E - \lambda_4 M \\ (1) \quad \frac{dS}{dt} &= \lambda_5 E - \lambda_6 S \\ \frac{dE}{dt} &= \lambda_2 C + \lambda_4 M + \lambda_6 S - (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5) E \end{aligned}$$

On considère que les valeurs des activités initiales sont :

$$C(0) = 0 ; M(0) = 0 ; S(0) = 0 ; E(0) = E_0$$

(Dans l'expérience, $E_0 = 250 \cdot 10^6$ des/min).

On appelle $C(t)$; $M(t)$; $S(t)$; et $E(t)$ les activités totales moyennes des coquilles, parties molles, sédiment et eau à un instant t .

Les activités réelles varient autour de ces valeurs moyennes probablement selon une loi de Poisson :

Pour tenter de représenter les résultats expérimentaux il faut résoudre l'ensemble des équations (1) .

Tout d'abord $C(t)$; $M(t)$; $S(t)$ et $E(t)$ tendent vers des valeurs d'équilibre notées respectivement C_r ; M_r ; S_r et E_r .

Les équations choisies pourront rendre compte de cet état d'équilibre si on choisit les constantes d'échange de telle sorte que

$$(2) \quad \begin{aligned} \lambda_1 E_r - \lambda_2 C_r &= 0 \\ \lambda_3 E_r - \lambda_4 M_r &= 0 \\ \lambda_5 E_r - \lambda_6 S_r &= 0 \end{aligned}$$

Les équations (2) montrent qu'il n'y a pas de coefficient d'échange nul puisque C_r , M_r et S_r ne sont pas nuls et que l'eau a une activité résiduelle E_r . (Les équations (1) impliquant que l'activité totale à chaque instant reste constante.)

Pour déterminer complètement les constantes d'échanges il faut d'autres relations. On peut mesurer sur les courbes expérimentales les valeurs à l'origine de C' ; M' et E' : On aura en notant ces valeurs par l'indice 0 :

$$(3) \quad \begin{aligned} C'_0 &= \lambda_1 E_0 \\ M'_0 &= \lambda_3 E_0 \\ E'_0 &= - (\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_5) E_0 \end{aligned}$$

D'où on tire

$$(4) \quad \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{C'_0}{E_0} & ; & & \lambda_2 &= \frac{C'_0 E_r}{E_0 C_r} \\ \lambda_3 &= \frac{M'_0}{E_0} & ; & & \lambda_4 &= \frac{M'_0 E_r}{E_0 M_r} \\ \lambda_5 &= \frac{-E'_0 + C'_0 + M'_0}{E_0} & ; & & \lambda_6 &= \frac{(E'_0 + C'_0 + M'_0) E_r}{E_0 S_r} \end{aligned}$$

A l'aide des courbes expérimentales on peut calculer les 6 constantes d'échanges.

On trouve

$$\begin{aligned} \lambda_1 &\approx 9,18 \cdot 10^{-5} & ; & & \lambda_2 &\approx 8 \cdot 10^{-2} \\ \lambda_3 &\approx 1,28 \cdot 10^{-2} & ; & & \lambda_4 &\approx 3,78 \cdot 10^{-2} \\ \lambda_5 &\approx 1,98 & ; & & \lambda_6 &\approx 3,41 \cdot 10^{-2} \end{aligned}$$

Nous avons considéré les activités totales en prenant comme unité d'activité les des/min et comme unité de temps 24 heures.

Les équations ont la même forme si l'on considère les activités spécifiques, seules les valeurs calculées des coefficients d'échange diffèrent.

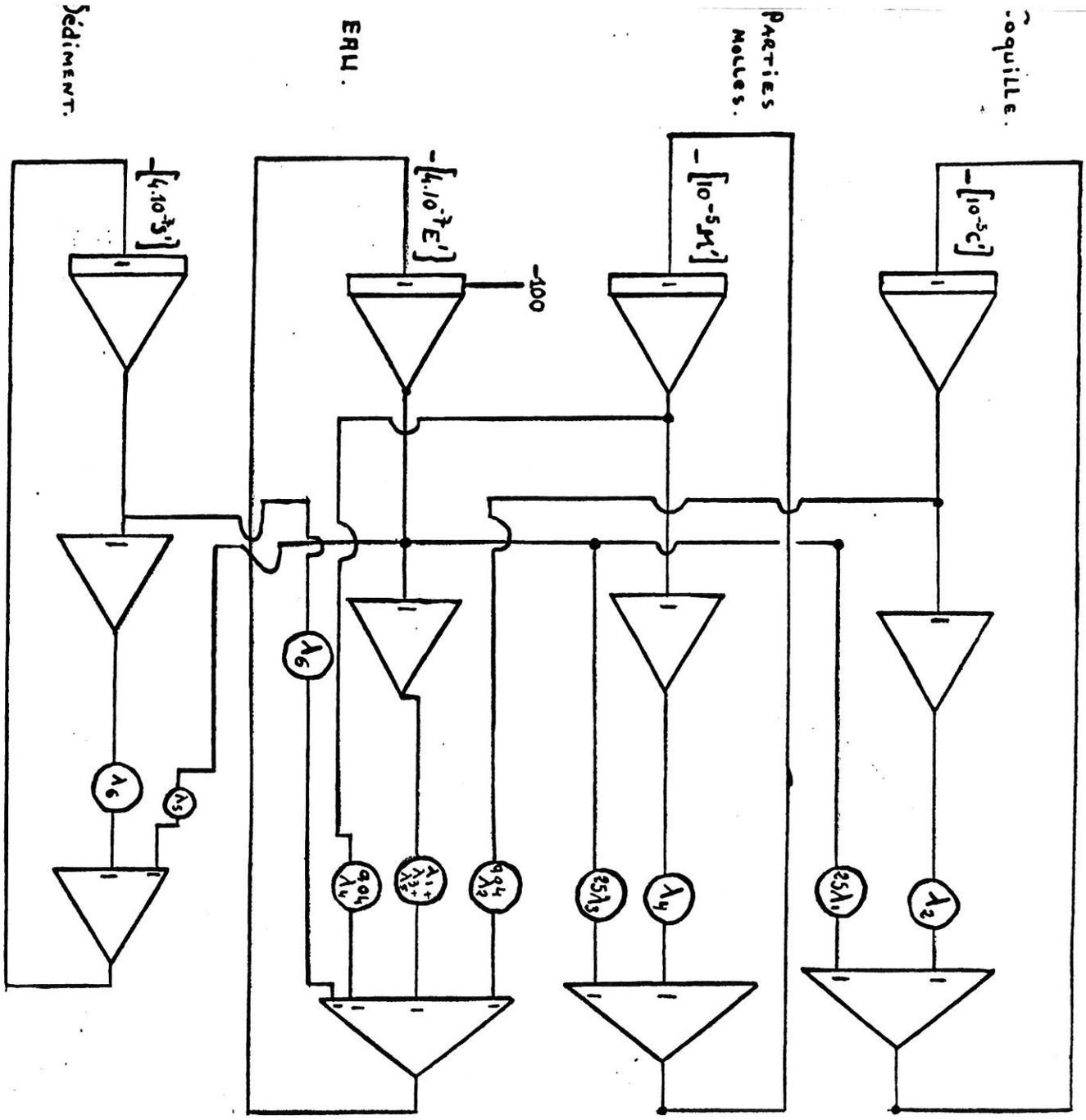
Si l'on remplace dans le schéma analogique (page ci-après) les coefficients d'échange par leurs valeurs on obtient des courbes analogiques proches des courbes expérimentales (Courbes n° 5, 6 et 7). Par conséquent, connaissant les équations d'échange et les valeurs des coefficients d'échange, on peut représenter mathématiquement les courbes expérimentales.

Les expériences consistent donc à essayer de déterminer de manière aussi précise que possible les coefficients d'échange.

Le calcul des valeurs des coefficients d'échange manque de précision. Il est en effet difficile d'obtenir des valeurs exactes de C'_0 , M'_0 et E'_0 .

On peut avoir une précision meilleure en faisant un grand nombre de prélèvements en début de manipulation, ce qui permet de mieux calculer la pente de la courbe. Par ailleurs il faudra des expériences sur un grand laps de temps pour être sûr que les valeurs des activités au bout de 100 jours sont pratiquement égales aux valeurs d'équilibre (d'où des erreurs possibles sur E_r , M_r , C_r).

Il faut également diminuer le nombre des ensembles afin de mesurer de manière plus précise les constantes d'échanges (on fera une expérience en considérant seulement l'eau et les animaux, puis une autre en considérant



SCHEMA ANALOGIQUE.

seulement le sédiment et l'eau). En effet, dans le cas d'échanges entre deux ensembles on peut calculer facilement les coefficients d'échanges ; lorsqu'il y a plus de deux ensembles les solutions obtenues pour les activités sont des sommes d'exponentielles décroissantes et il n'y a plus de méthode simple pour déterminer les différents coefficients d'échange.

Ces essais de représentation mathématique doivent être poursuivis systématiquement. La valeur des résultats est fonction du nombre d'expériences. Sur le plan de la protection sanitaire, la représentation du niveau de contamination d'un organisme par son F_C soulève de plus en plus de discussion. On peut obtenir un relatif équilibre au laboratoire mais les variations et les écarts sont plus importants sur le terrain. Le F_C peut dépendre alors de la date et du lieu de prélèvement. Nous essaierons de voir si la détermination d'un coefficient d'échange ne rend pas mieux compte du niveau de contamination d'une population monospécifique.

DES / mn / g

8000

5000

1000

SEDIMENT.

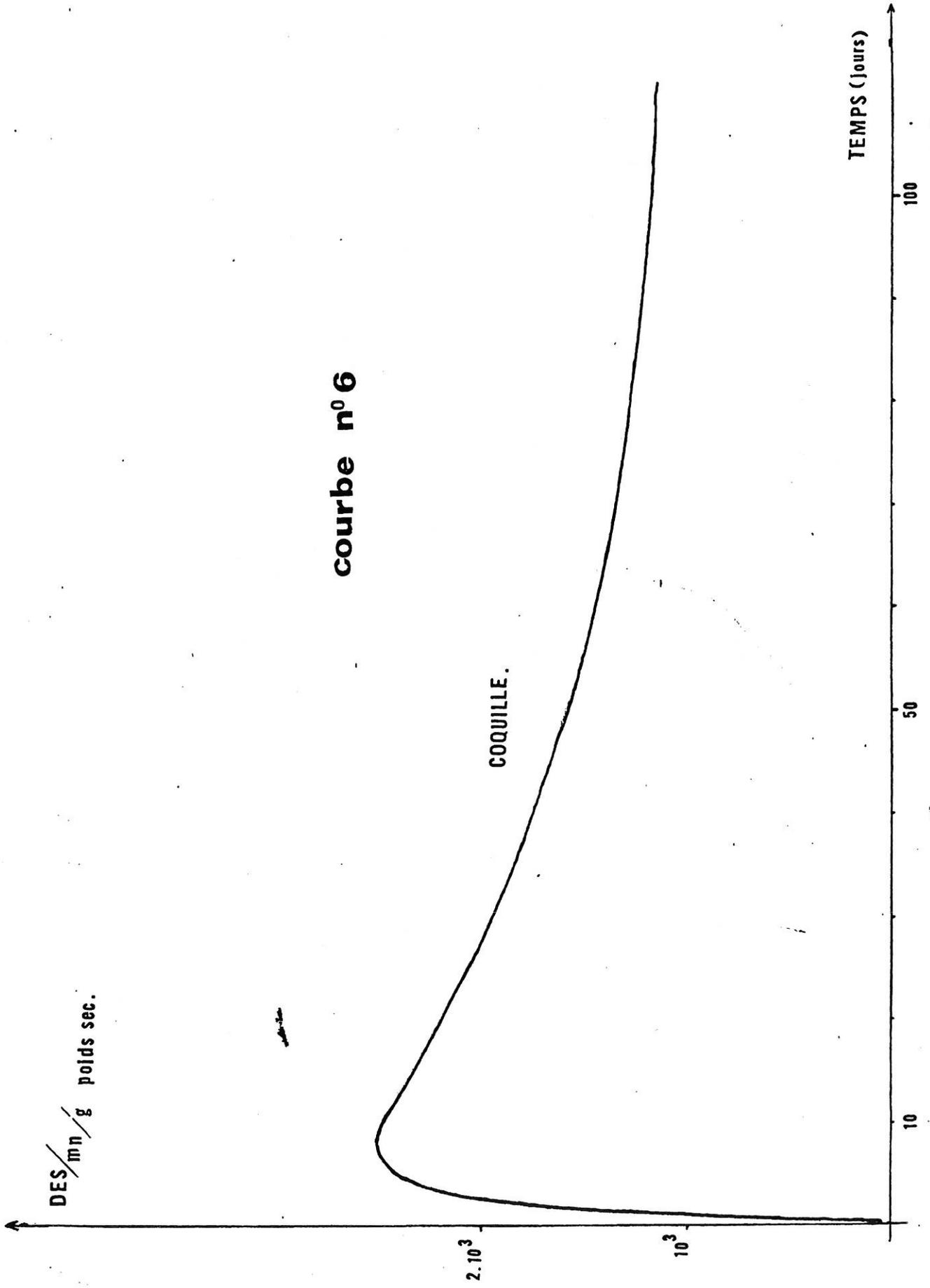
courbe n° 5

EAU.

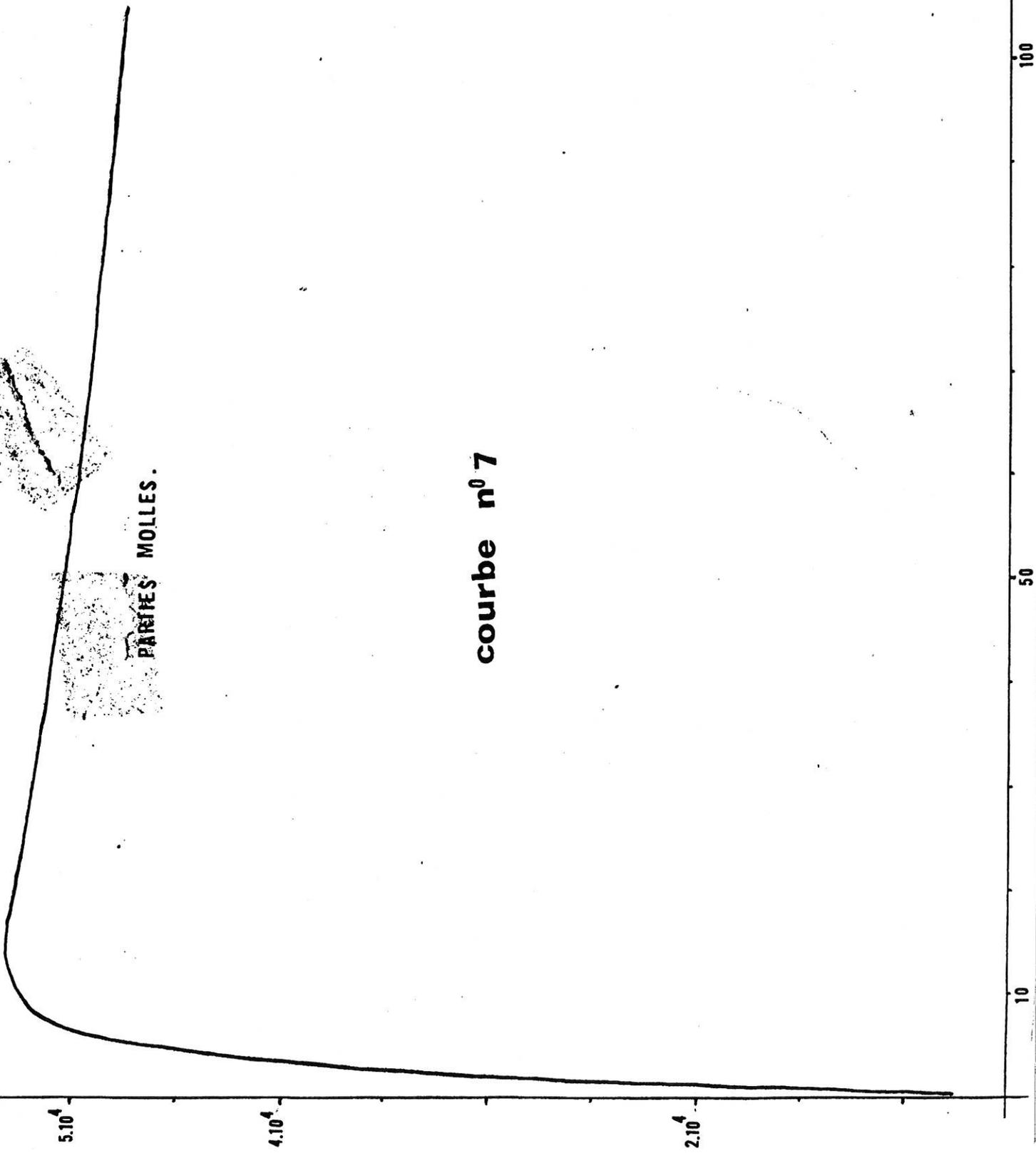
TRABAJO / LAMPA

20

40



DES / mn / g. poids sec



courbe n°7

PARTIES MOLLES.

TEMPS (jours)

100

50

10