

PRÉSIDENCE DU CONSEIL  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Les échanges de sodium des vertèbres  
inférieures étudiés à l'aide du  $^{24}\text{Na}$ .  
Leur interprétation comme une "épuration"  
d'eau radioactive

par

J. MAETZ

Rapport CEA n° **1046**

**1958**

CENTRE D'ÉTUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY  
SERVICE DE DOCUMENTATION  
Boite postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)



MAETZ J.

Rapport CEA n° 1 046

**Les échanges de sodium des vertébrés inférieurs étudiés à l'aide du  $^{24}\text{Na}$ . Leur interprétation comme un « épuration » d'eau radioactive .**

**Sommaire.** — Les poissons d'eau douce et les amphibiens vivent dans un milieu aquatique très hypotonique par rapport à leur milieu intérieur. Par osmose, l'eau pénètre à travers leurs téguments perméables (branchies, muqueuses, peau). On sait depuis les travaux de Krogh (1937-1939) que cette eau est éliminée par le rein qui émet une urine abondante et diluée. Mais si diluée soit-elle, l'excrétion urinaire entraîne une perte de sels pour l'organisme. Cette perte est compensée, même en l'absence de toute alimentation, par une absorption active d'ions.

Quelques travaux récents ont tenté, grâce à l'utilisation des isotopes radioactifs, de dresser le bilan des flux d'entrée et de sortie des ions à travers les membranes perméables *in vivo*, alors que les méthodes d'analyse chimique permettent seulement de dresser le bilan net de ces échanges.

Nous avons voulu présenter ici une méthode nouvelle de mesure simultanée des flux de sodium sur l'animal entier. Cette méthode a été appliquée sur le poisson d'eau douce *Carassius auratus* et sur la grenouille *Rana esculenta*. Au cours de cette étude, nous avons observé que la faculté d'absorption des ions sodium était si intense que nous nous sommes proposé de l'interpréter comme une « épuration d'eau radioactive ».

1958

13 pages

MAETZ J.

Report CEA n° 1 046

**Sodium exchange process in lower vertebrates studied by means of  $^{24}\text{Na}$ . Their interpretation as a « purification » of radioactive water.**

**Summary.** — Fresh-water fish and amphibians live in an aquatic medium which is very hypotonic with respect to their internal medium. By osmosis the water passes through their permeable teguments (gills, mucous membranes, skin). It is known from the work of Krogh (1937-1939) that this water is eliminated by the kidney, which emits a copious diluted urine. Yet however great the dilution, the urinary excretion results in a loss of salts for the organism. This loss is compensated, even in the absence of any nourishment, by active absorption of ions.

Some recent workers have attempted, by using radioactive isotopes, to establish the balance between the input and output flows of ions through the permeable membranes *in vivo*, whereas chemical analytical methods only allow the net result of these exchanges to be obtained.

We have attempted to present here a new method for the simultaneous measurement of the sodium flow takes over the whole animal. This method has been applied to the fresh-water fish *Carassius auratus* and to the frog *Rana esculenta*. In the course of this investigation we have considered interpreting it as a « purification of radioactive water ».

1958

13 pages



LES ECHANGES DE SODIUM DES VERTEBRES INFERIEURS ETUDIES A L'AIDE DU  
 $^{24}\text{Na}$  - LEUR INTERPRETATION COMME UNE "EPURATION" D'EAU RADIOACTIVE

J. MAETZ

(Service de Biologie, Centre d'Etudes Nucléaires, Saclay, France)

---

Les poissons d'eau douce et les Amphibiens vivent dans un milieu aquatique très hypotonique par rapport à leur milieu intérieur. Par osmose, l'eau pénètre à travers leurs téguments perméables (branchies, muqueuses, peau). On sait depuis les travaux de Krogh (1937-1939) que cette eau est éliminée par le rein qui émet une urine abondante et diluée. Mais si diluée soit-elle, l'excrétion urinaire entraîne une perte de sels pour l'organisme. Cette perte est compensée, même en l'absence de toute alimentation, par une absorption active d'ions.

Quelques travaux récents (Jørgensen et Col., 1946 ; Jørgensen, 1950 ; Meyer, 1951) ont tenté, grâce à l'utilisation des isotopes radioactifs, de dresser le bilan des flux d'entrée et de sortie des ions à travers les membranes perméables in vivo, alors que les méthodes d'analyse chimique permettent seulement de dresser le bilan net de ces échanges.

Nous avons voulu présenter ici une méthode nouvelle de mesure simultanée des flux de sodium sur l'animal entier. Cette méthode a été appliquée sur le poisson d'eau douce Carassius auratus et sur la grenouille Rana esculenta. Au cours de cette étude, nous avons observé que la faculté d'absorption des ions sodium était si intense que nous nous sommes proposé de l'interpréter comme une "épuration d'eau radioactive".

TECHNIQUES

1. Considérations théoriques.

Reprenons ici l'essentiel de la méthode expérimentale proposée (Maetz, 1956) à l'occasion de l'étude d'un inhibiteur de l'anhydrase carbonique sur les échanges de sodium chez Carassius auratus.

Le poisson ou la grenouille et l'eau douce dans laquelle ces animaux sont plongés, constituent un système fermé de deux "compartiments", non en équilibre. Le milieu extérieur contient une quantité de sodium faible (5-20 µg/ml) mais variable au cours de l'expérience. Le milieu intérieur contient une quantité de sodium échangeable beaucoup plus grande (2500-3000 µg/ml). Pour mesurer l'intensité des échanges entre les deux compartiments, introduisons au temps 0 une quantité de radiosodium  $Q_0$  (en imp./min.) dans le compartiment externe.

Appelons :

$Q$  : la quantité de radiosodium présente dans le milieu externe au temps  $t$ ,

$Q_f$  : cette quantité, à la fin de l'expérience.

$Na_{int}$  &  $Na_{ext}$  : les quantités totales de Na échangeables (en µg) contenues respectivement dans les compartiments interne et externe, au temps  $t$ .

$f_e, f_s, f_n$  : les flux entrant, sortant et le flux net de Na passant à travers la membrane séparant l'animal du milieu externe, au temps  $t$  (en µg/heure).

A un temps  $t$  quelconque, la radioactivité spécifique du sodium vaut  $Q/Na_{ext}$ . dans le milieu externe et  $\frac{Q_0 - Q}{Na_{int}}$  dans le milieu interne.

A chaque instant, la variation de la quantité de radiosodium à l'extérieur est donnée par la différence entre les quantités qui entrent et qui sortent :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = - \frac{Q}{Na_{ext}} \cdot f_e + \frac{Q_0 - Q}{Na_{int}} \cdot f_s \quad (1)$$

Dans nos conditions expérimentales, cette équation ne peut être intégrée car  $f_e \neq f_s$  ; l'animal en expérience gagne ou perd du sodium en fonction du temps, de sorte que les paramètres  $Na_{ext}$ , et à un moindre degré  $Na_{int}$  sont variables. Seule une variation linéaire de  $Na_{ext}$  en fonction du temps ( $f_n$  constant) permettrait l'intégration (Jørgensen et Col., 1946), mais cette condition n'est pas remplie non plus dans nos expériences.

Aussi, avons-nous calculé les flux par résolution numérique en chaque point, les courbes de  $Na_{ext}$  et de  $Q$  en fonction du temps étant établies expérimentalement.

Le flux net ( $f_n = f_e - f_s$ ) peut être calculé à chaque instant par la relation suivante :

$$f_n = - \frac{\Delta Na_{ext}}{\Delta t} \quad (2)$$

On obtient, par substitution de (2) dans (1) :

$$\Delta Q / \Delta t = - Q / Na_{ext} \cdot f_e + \frac{Q_0 - Q}{Na_{int}} \times \left( f_e + \frac{\Delta Na_{ext}}{\Delta t} \right)$$

En explicitant  $f_e$ , on trouve :

$$f_e = \frac{\Delta Q / \Delta t - \frac{Q_0 - Q}{Na_{int}} \cdot \frac{\Delta Na_{ext}}{\Delta t}}{\frac{Q_0 - Q}{Na_{int}} - \frac{Q}{Na_{ext}}} \quad (3)$$

On détermine  $Na_{int}$  en fin d'expérience, en divisant la quantité de radiosodium présente dans l'animal ( $Q_0 - Q_f$ ) par la radioactivité spécifique du sodium mesurée dans un échantillon de plasma sanguin. En première approximation,  $Na_{int}$  peut être considéré comme un paramètre constant pendant la durée de l'expérience car  $\frac{\Delta Na_{int}}{Na_{int}} = \frac{\Delta Na_{ext}}{Na_{int}}$  est très petit. Il n'en va pas de même

pour  $\frac{\Delta Na_{ext}}{Na_{ext}}$ .

Notons encore que le dernier terme de l'équation (1) représente la quantité de radiosodium qui, à chaque instant, retourne de l'animal en expérience vers le milieu externe. Au début de l'expérience, ce flux de retour radioactif est évidemment négligeable, de sorte que l'équation (3) se simplifie et devient :

$$f_e = - \frac{\Delta Q / \Delta t}{Q / Na_{ext}} \quad (4)$$

En fin d'expérience, par contre, il est indispensable d'utiliser l'équation (3) pour calculer  $f_e$ .

## 2. Technique expérimentale.

### 1/ Dosages de $^{23}\text{Na}$ et $^{24}\text{Na}$

La mesure de la concentration du Na total a été effectuée au spectrophotomètre de flamme (précision : 3 %).

La mesure de la quantité de radiosodium a été effectuée sur un volume de liquide connu, évaporé à sec dans des coupelles d'aluminium et passé au compteur de Geiger-Müller (précision : 5 %).

Après correction de la décroissance de la radioactivité pendant les mesures, les résultats sont consignés sur un graphique donnant en fonction du temps les concentrations du sodium total (en  $\mu\text{g/ml}$ ) et du radiosodium (en imp/min/ml) externes.

### 2/ Préparation des animaux et conduite d'une expérience.

#### a) Les poissons.

Les poissons utilisés pour nos expériences sont des Carassius auratus, d'un poids moyen de 490 g (430 à 545 g). Tous ces animaux avaient jeûné deux mois avant la mise en expérience. Ils ont été placés dans des petits aquariums en plexiglass suffisamment étroits (largeur = 6 cm) pour restreindre les mouvements des animaux. La quantité d'eau a été de 1500 ml en moyenne. Le radiosodium a été ajouté 10 à 15 minutes avant les premiers prélèvements sous la forme d'un volume variable de Na Cl à 9 ‰. La concentration initiale de l'eau a été de 16  $\mu\text{g/ml}$  en moyenne (de 11 à 29  $\mu\text{g/ml}$ ). Au début des expériences, les prélèvements du milieu externe ont été effectués toutes les 1/2 heures, puis toutes les heures. La durée des expériences a été de 24 heures et pour une partie des expériences, les prélèvements ont été effectués automatiquement pendant la nuit, de sorte que les courbes ont pu être analysées complètement.

Dans tous les cas, sauf un, la papille urinaire des poissons a été canulée à l'aide de cathéters en polythène, de manière à éviter que les urines ne s'écoulent dans les aquariums. Dans un cas, les urines ont été recueillies et analysées de façon à évaluer l'excrétion du radiosodium et du sodium total urinaires.

A la fin des expériences, un échantillon de sang a été recueilli sur héparine par ponction de la veine caudale. Après centrifugation et décantation, on a mesuré dans le plasma la concentration du Na total et du radiosodium. Le sodium échangeable ( $\text{Na}_{\text{int}}$ ) a été déterminé par le rapport de  $Q_0 - Q_f$  à la radioactivité spécifique du sodium plasmatique.

#### b) Les grenouilles.

Les grenouilles utilisées ont été des Rana esculenta d'un poids moyen de 50 g (27 à 63 g). Ces animaux avaient jeûné au moins une semaine avant la mise en expérience. Ils ont été placés

dans des bechers en polythène et la quantité d'eau utilisée a été de 80 à 100 ml. La concentration initiale de l'eau a été de 11  $\mu\text{g/ml}$  en moyenne (de 7 à 13,5  $\mu\text{g}$ ). La fréquence et le volume des prélèvements du milieu externe a été la même que dans les expériences sur les poissons, mais étant donné que ce prélèvement représente pour les expériences sur la grenouille près de 2 % du volume externe, il en a été tenu compte dans les évaluations de  $Q$  et de  $\text{Na}_{\text{ext}}$ . La durée des expériences a été limitée à 5 ou 6 heures au lieu de 24 heures pour les poissons.

Par suite de difficultés techniques, nous avons renoncé à la canulation du cloaque des grenouilles. Comme ces animaux possèdent une vessie très développée, contrairement aux Cyprins dorés, l'erreur produite par le rejet des urines dans le bain reste négligeable, à condition que les vessies soient vidées au début des expériences et que celles-ci n'excèdent pas 5 ou 6 heures.

A la fin de l'expérience, quelques grenouilles ont été sacrifiées et une prise de sang ou de lymphé a été effectuée dans le sac lymphatique dorsal ou dans le sinus cardiaque afin de déterminer la valeur de  $\text{Na}_{\text{int}}$ .

## RESULTATS

Nous rapportons ici les résultats de 17 expériences, dont 6 sur les Carassius auratus et 11 sur les Rana esculenta. La figure 1 présente à titre d'exemple les observations effectuées sur un poisson et sur une grenouille.

### 1/ Courbes d'évolution des concentrations du Na total et du radiosodium dans deux cas particuliers.

A gauche, nous représentons l'évolution en fonction du temps du Na total (en  $\mu\text{g/ml}$ ) et à droite du radiosodium (en % de l'activité initiale).

Les courbes de Na total montrent que les bilans sodiques du poisson et de la grenouille sont positifs. Le poisson gagne 12 à 13 mg de Na, prélevés dans le Na externe en 24 heures. La grenouille gagne près de 0,5 mg en moins de 6 heures. Dans le détail, la pente de la courbe d'évolution de la concentration du sodium total est négative dès le début chez Rana, il n'en va pas de même chez Carassius où la pente est d'abord nulle, puis positive pendant les 2 à 4 premières heures, le poisson tendant à perdre d'abord du sodium interne, puis le bilan sodique devient largement positif.

Les courbes d'évolution du radiosodium externe ont une allure toute différente, à pente d'emblée largement négative et tendant rapidement vers un équilibre correspondant à une radioactivité externe quasi-nulle. Dans le détail, 50 % de la radioactivité externe a pénétré dans le poisson en 6 heures et dans la grenouille en moins de 2 heures. Ces courbes de disparition de la radioactivité externe sont à ce point frappantes qu'elles nous ont incité à

discuter plus loin du "pouvoir épurateur" de l'eau radioactive que possèdent les Vertébrés inférieurs étudiés ici.

L'analyse mathématique des deux paires de courbes permet, comme nous l'avons vu, de calculer les valeurs des différents flux en chaque instant pour les animaux de la figure 1. Le tableau I précise ces valeurs pour ces animaux.

### 2/ Résultats d'ensemble concernant l'évolution des échanges de Na en fonction du temps.

Le tableau II donne les valeurs moyennes et les erreurs standard correspondantes des flux d'entrée, de sortie et des flux nets en fonction du temps pour les 4 cyprins dont les courbes d'évolution des concentrations ont pu être établies pendant 24 heures et les 11 grenouilles étudiées pendant 5 heures consécutives.

Chez les grenouilles, le flux d'entrée diminue légèrement au cours de l'expérience, encore que cette diminution est à peine significative (P est voisin de 5 %). Le flux de sortie est relativement constant, le flux net, par contre, diminue dans tous les cas d'une manière très significative ( $P < 1 \%$ ).

Chez les poissons, nous avons déjà discuté (Maetz, 1956) que le flux d'entrée augmente de manière significative au début de l'expérience (35 à 40 %) et que le flux de sortie, d'abord supérieur au flux d'entrée décroît (de 25 à 45 %), de sorte que le bilan sodique devient rapidement positif.

On ne retrouve donc pas chez les grenouilles les perturbations initiales de l'osmorégulation que l'on observe chez les poissons.

Si nous comparons à présent les moyennes obtenues entre 2 et 6 heures chez les 6 poissons étudiés dans cet intervalle et celles obtenues sur les 11 grenouilles étudiées entre 0 et 5 heures, nous trouvons un flux d'entrée moyen de 2420  $\mu\text{g/h}$  chez les poissons, soit 495  $\mu\text{g/h/100 g}$  de poids contre 275  $\mu\text{g/h}$  chez les grenouilles, soit 550  $\mu\text{g/h/100 g}$  de poids. Les valeurs des flux de sortie sont respectivement de 1860  $\mu\text{g/h}$ , soit 380  $\mu\text{g/h/100 g}$  et de 190  $\mu\text{g/h}$ , soit également de 380  $\mu\text{g/h/100 g}$ .

### 3/ Le "sodium échangeable" chez les poissons et les grenouilles.

Le  $\text{Na}_{\text{int}}$  des 5 poissons étudiés varie entre 87 et 118 mg/100 g (moyenne : 104 mg). Celui des 2 grenouilles étudiées a été de 68 et de 62,5 mg.

L'"espace sodium" (pourcentage du volume corporel occupé par le sodium échangeable) a été de 37 % chez les poissons (de 32,5 à 41,5 %) et de 27,5 % chez les 2 grenouilles étudiées.

## DISCUSSION & INTERPRETATION.

1/ Comparons d'abord nos résultats avec ceux obtenus sur un matériel voisin par Jörgensen (1950) et Meyer (1951).

Meyer a publié pour des Carassius de petite taille (30 g) des courbes moyennes de l'évolution de la concentration du Na total et du radiosodium externe, pendant une durée de 12 heures. Les courbes de nos poissons confirment celles de Meyer, mais un plus grand nombre de points expérimentaux et un rapport  $\frac{\text{Na int}}{\text{Na ext}}$  plus élevé et donc plus favorable, nous ont permis la détermination simultanée des 3 flux sur le même animal. Meyer trouve dans ces conditions un flux d'entrée moyen de 430  $\mu\text{g/h}/30\text{ g}$ , soit 1430  $\mu\text{g/h}/100\text{ g}$ , chiffre presque trois fois supérieur au nôtre. Or, cette différence s'explique d'une part par le fait que le gradient chimique entre les milieux externe et interne est un peu plus faible dans les expériences de Meyer (Na ext : 23  $\mu\text{g/ml}$ ) et d'autre part surtout par le fait que la surface branchiale est, relativement au poids corporel, près de deux fois supérieure dans des poissons de 30 g comparés à des poissons d'une livre (selon la formule de Price donnant la relation entre la surface branchiale et le poids du corps, in Fry, 1957).

Jörgensen (1950) trouve un flux d'entrée moyen de 0,05  $\mu\text{equiv./cm}^2/\text{h}$ . En appliquant la formule de Krogh (1937) donnant la correspondance entre le poids et la surface du corps, nous trouvons un flux d'entrée de 0,015  $\mu\text{equiv./cm}^2/\text{h}$ . La différence des résultats peut s'expliquer par le fait que la concentration du Na ext. est nettement plus élevée dans les expériences de Jörgensen (70  $\mu\text{g/ml}$ ).

2/ Importance de l'excrétion urinaire.

L'analyse détaillée de l'urine émise par le poisson étudié sur la figure 1 montre que dans les 24 heures d'expérience, le débit urinaire a passé progressivement de 2 à 1 ml/h. La concentration du sodium total a varié de 90 à 400 g/ml et celle de radiosodium de 190 à 1640 imp/min. En tout, ce poisson a perdu environ 5 mg de Na total par les urines et 25.000 imp/min alors que le poisson contenait en fin d'expérience 4.300.000 imp/min de  $^{24}\text{Na}$  et 580 mg de  $^{23}\text{Na}$ , le milieu externe contenant alors 3300  $\mu\text{g}$  et 73.000 imp/min. On voit donc que le "flux de retour urinaire", négligeable devant Na int. et le radiosodium interne est loin d'être négligeable devant Na ext. et  $Q_f$ .

3/ Interprétation des résultats comme une "épuration d'eau radioactive".

Il est suggestif d'interpréter la rapide diminution de la radioactivité dans le milieu extérieur sous le double aspect de la "vitesse d'épuration" et du "pouvoir épurateur" que possèdent les Vertébrés inférieurs étudiés ici.

On peut définir la vitesse d'épuration comme le volume d'eau débarassée de sa radioactivité par unité de temps.

Soit  $V$ , le volume d'eau externe (en ml). La quantité  $Q/V$  représente, à un instant donné, la concentration du radiosodium de l'eau. La quantité d'eau épurée par unité de temps,  $v$ , est donnée par la relation :

$$v = - \frac{\Delta Q / \Delta t}{Q/V} \quad (5)$$

Or, au début des expériences la relation (1) nous donne

$\Delta Q / \Delta t = - [Q/Na \text{ ext.}] \times f_e$ , le flux radioactif de retour étant négligeable.

On tire de ces deux relations :

$$v = \frac{Q/Na \text{ ext}}{Q/V} \cdot f_e$$

et donc :

$$v = \frac{f_e}{\frac{Na \text{ ext}}{V}}$$

le dénominateur représentant la concentration du sodium total externe.

La vitesse d'épuration est donc directement proportionnelle au flux d'entrée et inversement proportionnelle à la concentration du sodium total externe. A titre indicatif, pour de l'eau contenant 5  $\mu\text{g/ml}$  de Na, la vitesse initiale d'épuration atteint 100 à 110 ml par heure respectivement pour 100 g. de poids corporel de Carassius et de Rana. Ces animaux sont donc capables d'épurer un volume d'eau égal à leur propre volume à l'heure. Chez les animaux plus petits, cette vitesse est encore plus grande, puisque leur surface d'échange est relativement plus développée.

Cependant les vitesses indiquées plus haut sont des limites, car  $v$  diminue progressivement au fur et à mesure que le second terme de l'équation (1) devient plus important et se rapproche du premier. D'ailleurs à ce flux de retour radioactif passant par la membrane d'échange, il faut ajouter le flux de radiosodium urinaire. Ainsi  $v$  diminue de moitié 12 heures après le début de l'expérience pour le poisson de la figure 1 ;  $v$  devient nul, lorsque les radioactivités spécifiques de Na int et ext. deviennent identiques. Signalons que le rapport final entre ces radioactivités spécifiques chez les 5 poissons étudiés après 24 heures a varié de 0,32 à 1,0 et a été de 0,6 en moyenne. L'un des poissons avait donc une vitesse d'épuration nulle déjà après 24 heures d'expérience.

Une autre notion importante est celle "de limite supérieure" du pouvoir épurateur. C'est le volume théorique d'eau sus-

ceptible d'être épuré à l'équilibre par un vertébré aquatique, placé dans un volume illimité d'eau radioactive. La quantité de Na interne (Na int) représente exactement la quantité de Na ext. marqué susceptible d'être échangée. Nos résultats montrent que Na int. est de l'ordre de 100 mg/100 g de poids corporel chez les Carassius. Ces poissons sont donc capables d'épurer 20 litres d'eau contenant 5 µg/ml de sodium. Na int. a été trouvé être de l'ordre de 65 mg en moyenne, chez les Rana sacrifiés après 6 heures. Ce chiffre est nettement plus faible que celui trouvé chez les poissons et ce pour deux raisons. D'abord le milieu intérieur des grenouilles est plus pauvre en sodium que celui des poissons d'eau douce (2500 µg/ml contre 3000 µg/ml) et ensuite, l'"espace sodium" mesuré après 6 heures est nettement plus petit que celui mesuré après 24 heures (27,5 % pour les grenouilles contre 37 % pour les poissons). Ce fait est bien connu chez les Mammifères (Morel, 1950). Il est donc probable que l'espace sodium après 24 heures chez la grenouille aurait été du même ordre que chez le poisson, ce qui nous donnerait un Na int. de l'ordre de 80 mg/100 g, en tenant compte de la moindre concentration du milieu intérieur. Le pouvoir épurateur théorique aurait donc été de 16 litres d'eau/100 g de grenouilles contre 20 chez les poissons.

#### CONCLUSION.

Des poissons d'eau douce Carassius auratus et des grenouilles Rana esculenta ont été placés dans un volume d'eau limité (2 à 3 fois leur propre volume) dont le sodium est marqué par du  $^{24}\text{Na}$ . On observe que les courbes d'évolution de la concentration du sodium total et du radiosodium externes en fonction du temps sont très différentes. Une analyse quantitative de ces courbes permet, pour un animal donné, de mesurer simultanément les flux d'entrée de sortie et le flux net de sodium.

Chez le Carassius, nous trouvons respectivement 495, 380 et 115 µg/h/100 g pour ces divers flux et chez Rana : 550, 380 et 170 µg/h/100 g.

La rapide disparition du radiosodium externe que nous avons observée dans tous les cas est interprétée comme "une épuration d'eau radioactive". Pour une eau contenant 5 µg/ml de sodium la vitesse d'épuration maximale a été trouvée égale à 100 ml d'eau/h/100 g de poids, soit un volume d'épuration horaire égal au volume du corps. La limite de ce "pouvoir épurateur" est liée à la grandeur du compartiment de sodium interne échangeable. La quantité de Na interne étant de l'ordre de 80 à 100 mg/100 g de poids, le volume d'eau maximum susceptible d'être épuré atteint 16 à 20 litres d'une eau contenant 5 µg de Na par ml.

BIBLIOGRAPHIE

FRY, E.J. The physiology of fishes, New York Academic Press, édité par BROWN M.E. (1957)

JØRGENSEN, C.B., Acta Physiol. Scand. 20 : 56, (1950)

JØRGENSEN, C.B., LEVI, H., USSING, H.H., Acta Physiol. Scand. 12 : 350, (1946)

KROGH, A., Z. Vergl. Physiol. 24 : 656, (1937)

KROGH, A., Osmotic regulation in aquatic animals, Cambridge University Press. (1939)

MAETZ, J., J. de Physiologie 48 : 1085, (1956)

MEYER, D.K., Amer. J. Physiol. 165 : 580, (1951)

MOREL, F., Helv. Physiol. Acta 8 : 146, (1950)

---

TABLEAU I

VALEURS DES FLUX NETS ( $f_n$ ), FLUX D'ENTREE ( $f_e$ ) ET DE SORTIE ( $f_s$ ) EN FONCTION  
DU TEMPS POUR LES ANIMAUX DE LA FIGURE 1 (en  $\mu\text{g/ml}$ )

<u>CARASSIUS (480 g)</u>					<u>RANA (63 g)</u>						
entre	$f_n$	$f_e$	$f_s$	entre	$f_n$	$f_e$	$f_s$	entre	$f_n$	$f_e$	$f_s$
0 - 2 h.	- 350	950	1300	0 - 1 h.	+ 140	550	410				
2 - 6 h.	+ 875	2550	1675	1 - 2 h.	+ 140	500	360				
7 - 13 h.	+ 750	1620	870	2 - 3 h.	+ 70	455	385				
14 - 18 h.	+ 700	1400	700	3 - 4 h.	+ 70	420	350				
19 - 24 h.	+ 475	1540	1065	4 - 5 h.	+ 70	450	380				

TABEAU II  
VALEURS MOYENNES ET ERREURS STANDARD DES FLUX D'ENTREE, DE SORTIE ET DES FLUX  
NETS EN FONCTION DU TEMPS POUR 4 CARASSIUS ET 11 RANA

		Carassius (490 g en moyenne)				Rana (50 g en moyenne)			
entre	$f_h$	$f_e$	$f_s$	entre	$f_h$	$f_e$	$f_s$		
0 - 2 h	-950 ± 460	1455 ± 245	2405 ± 515	0 - 1 h	+ 113 ± 24	314 ± 41	201 ± 33		
2 - 6 h	+790 ± 290	2235 ± 385	1445 ± 205	1 - 2 h	+ 92 ± 33	287 ± 34	195 ± 31		
7 - 13 h	+ 820 ± 95	1800 ± 170	980 ± 110	2 - 3 h	+ 79 ± 30	281 ± 38	202 ± 45		
14 - 18 h	+745 ± 155	1900 ± 300	955 ± 220	3 - 4 h	+ 66 ± 27	253 ± 33	187 ± 29		
19 - 24 h	+560 ± 45	1650 ± 220	1090 ± 205	4 - 5 h	+ 59 ± 18	241 ± 35	182 ± 39		

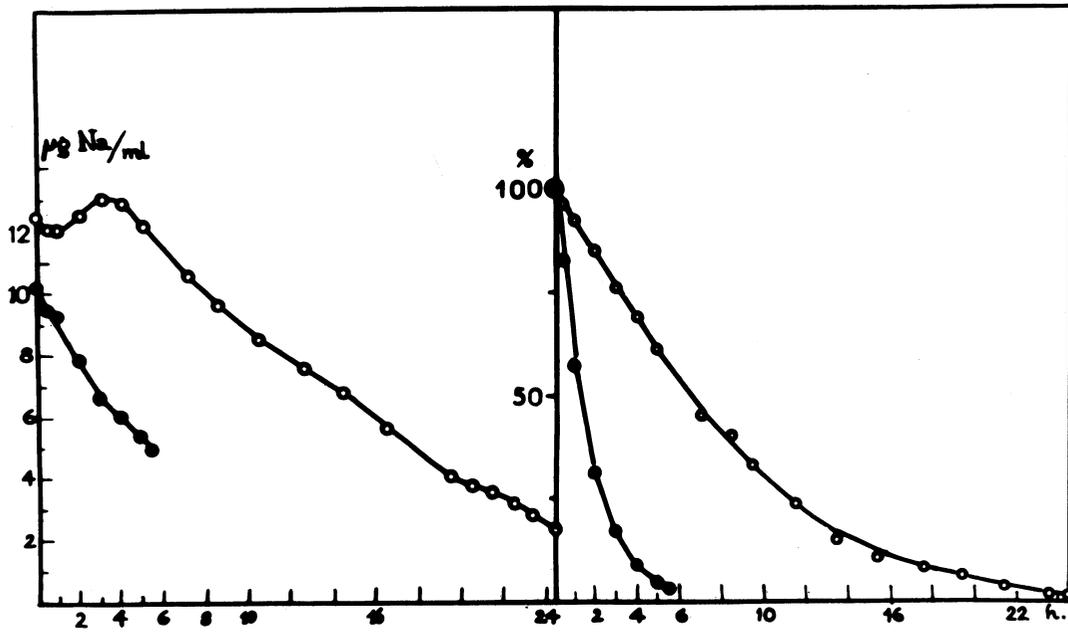


FIGURE 1

A gauche : évolution en fonction du temps de la concentration du sodium du milieu extérieur.

Ordonnées : concentration du  $\text{Na}_{\text{ext.}}$  en  $\mu\text{g/ml}$ .

Abscisses : temps en heures.

Courbe supérieure : Carassius de 480 g. dans 1400 ml (exp. du 11.6.56.)

Courbe inférieure : Rana de 63 g. dans 100 ml. (exp. du 2.10.57.)

A droite : évolution en fonction du temps de la concentration du radiosodium externe.

Ordonnées : concentration du radiosodium en % de la radioactivité initiale.

Abscisses : temps en heures.

Mêmes animaux que pour le graphique de gauche.

-----

