

Cercetări marine	I.R.C.M.	Nr.14	201-215	1981
------------------	----------	-------	---------	------

L'EQUILIBRE HYDRO-MINÉRAL CHEZ LE SANDRE

(*Stizostedion lucioperca* L.1758) TRANSFÉRÉ DE L'EAU DOUCE EN MILIEUX MIXO-MESOHALINS ET INVERSEMENT

Ion Neacșu¹⁾, Valeriu Crăciun¹⁾, Margareta Crăciun¹⁾ et
Iulian Trandafirescu²⁾

1) Centre de Recherches Biologiques - Iași

2) Institut Roumain de Recherches Marines - Constanța

ABSTRACT:

The sudden transfer of the pike perch from freshwater to sea water (17 ‰) causes some deep and irreversible changes in their hydromineral equilibrium leading to the death of the animals. A hydration of cells, a substantial accumulation of sodium in cells and an important loss of potassium and calcium take place. The animals transferred gradually survive by establishing a new hydro-mineral equilibrium. When the fishes adapted to sea water are suddenly brought back to freshwater, the hydro-mineral equilibrium specific to freshwater is established again, after minor modifications in the repartition of water and ions.

On connaît qu'en dehors des limites de salinité auxquelles ils sont adaptés, les organismes aquatiques souffrent un complexe déséquilibre physiologique (11,17). Le liquide extracellulaire joue un rôle primordial à l'adaptation des organismes aquatiques à diverses conditions osmotiques, en tant que tampon entre le milieu extérieur et celui intracellulaire. Le milieu aquatique extérieur est séparé du liquide extracellulaire par les membranes des cellules des épithéliums perméables, et le liquide extracellulaire est séparé du cytoplasme par la membrane cellu-

laire qui sépare deux phases aqueuses a composition ionique différente. En état normal de repos, la phase intracellulaire contient plus de K^+ , tandis que la phase extracellulaire contient plus de Na^+ et de Cl^- (5). Cette asymétrie de la concentration ionique est maintenue par le transport actif des ions contre leur gradient de concentration. Ce transport est assuré par "la pompe de Na^+-K^+ ", avec une consommation de l'énergie provenant de l'hydrolyse de l'ATP par l'activité de l'ATP-ase dépendante du Na^+ et K^+ (14).

Les relations entre le milieu extérieur et le compartiment extracellulaire, ainsi que le rôle des membranes des cellules épithéliales, ont été beaucoup étudiées. Mais il y a peu de données concernant les relations entre le liquide extracellulaire et celui intracellulaire, et sur le rôle des membranes cellulaires dans les phénomènes d'osmorégulation (1, 7, 12). Quant au sandre, espèce de grande importance économique que nous avons l'intention d'élever dans l'eau de mer du littoral roumain de la mer Noire, les données manquent.

MATERIEL ET METHODES

Nos expérimentations ont eu pour objet le sandre (Stizostedion lucioperca, L.1758), en poursuivant la répartition de l'eau et des ions de Na^+ , K^+ et Ca^{2+} dans les compartiments intra- et extracellulaires du muscle strié, de la paroi intestinale et du rognon, ainsi que la concentration des ions dans le sérum.

Par toute une série d'expériences on a étudié le déroulement des phénomènes chez les poissons âgés de deux ans, transférés brusquement de l'eau douce dans l'eau de mer avec une salinité de 17 g ‰ (salinité moyenne de la mer Noire), par rapport aux individus restés dans l'eau douce et à un groupe d'exemplaires du même âge, accommodés déjà à l'eau de mer dès l'âge de 1 an par les passages successifs à des salinités augmentées. Les déterminations ont été effectuées à 24 heures et 48 heures du moment du transfert.

Une autre série d'expérimentations a utilisé des exemplaires en âge de deux étés, élevés en eau de mer, qui ont été transférés brusquement en eau douce. On a pratiqué les déterminations à 1, 2, 3 et 4 jours du moment du transfert, sur les mêmes

tissus qu'aux premières expérimentations.

On a réalisé chaque détermination sur deux échantillons parallèles de tissus; le premier échantillon a servi à déterminer le taux total d'eau (T) par la dessiccation des tissus à 105°C, et l'autre a servi pour déterminer le volume d'eau extracellulaire (EX) par la méthode de l'espace inulinique. Le volume d'eau intracellulaire a été calculé par la différence entre la teneur totale en eau et le volume extracellulaire. Le taux total d'ions a été déterminé par flamphotométrie des échantillons secs de tissus et de sérum. Avant les déterminations, on a maintenu les tissus pendant 3 heures en solution physiologique Cortland (18) en vue d'équilibrer les concentrations ioniques extracellulaires avec celles de la solution physiologique. En base de ces concentrations et des volumes d'eau extracellulaire et intracellulaire, on a calculé la teneur ionique extra- et intracellulaire (mg/100 g tissu frais) et la concentration ionique intracellulaire (mg/100 ml eau intracellulaire). Les résultats représentent la moyenne des déterminations pratiquées sur 5-6 individus. Le calcul statistique a été réalisé par la méthode Student.

RESULTATS

1. LE TRANSFERT DE L'EAU DOUCE EN EAU DE MER

Le passage brusque du sandre de l'eau douce en eau de mer provoque des modifications rapides et irréversibles de la répartition de l'eau et des ions dans les tissus.

a. REPARTITION DE L'EAU

Chez les poissons brusquement transférés en eau de mer, on observe une augmentation considérable de la teneur totale en eau à tous les tissus (Fig.1). Pendant les premières 24 heures (Fig.1-II), le phénomène a lieu par l'augmentation du volume intracellulaire d'eau, mais après 48 heures (Fig.1-III) de transfert, le phénomène est déterminé surtout par l'augmentation du volume extracellulaire. Chez les poissons graduellement accommodés à l'eau de mer (Fig.1-IV), la teneur totale en eau (T) est très peu modifiée par rapport à ceux de l'eau douce (Fig.1-I). Le taux intracellulaire (IN) est peu réduit, surtout à l'intestin (8,48%), tandis que celui extracellulaire (EX) est diminué au muscle (13%)

et augmenté à l'intestin (50%) et au rognon (20%). Ces phénomènes sont opposés à ceux qui ont lieu normalement, à la longue, chez certaines espèces de poissons d'eau douce (5, 6).

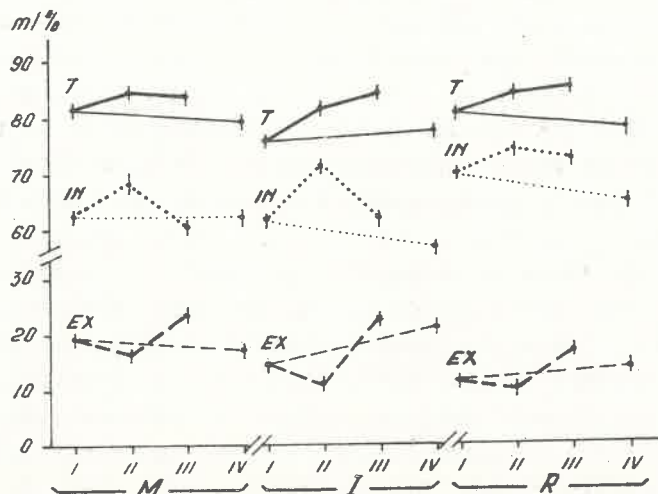


Fig.1 - Dynamique de l'eau dans les tissus de sandre transféré brusquement en eau de mer (I,II,III), par rapport au groupe de poissons élevés en eau de mer (IV). I - en eau douce; II - 24 heures après le transfert; III - 48 heures après le transfert; IV - 3 ans après le transfert; T- eau totale; EX - extracellulaire; IN - intracellulaire; M - muscle; I - intestin; R - rognon.

b. REPARTITION DU Na^+

Le passage brusque des poissons dans l'eau de mer détermine généralement d'amples modifications de la répartition des ions dans les tissus. La teneur totale (T) en sodium augmente autant dans les tissus qu'en sérum (Fig.2). La plus rapide et la plus ample augmentation a lieu dans le tissu musculaire, où augmentent beaucoup le taux (IN) et la concentration intracellulaire (CI), mais aussi le taux extracellulaire du Na^+ (EX). Quant aux autres tissus, on constate généralement une légère augmentation du taux extracellulaire de Na^+ . Chez les poissons transférés graduellement dans l'eau de mer et accommodés à une salinité élevée (Fig.2-IV), la teneur totale en Na^+ et le rapport entre les concentrations intracellulaire et extracellulaire se modifient très peu, par rapport aux poissons du même âge maintenus en eau douce.

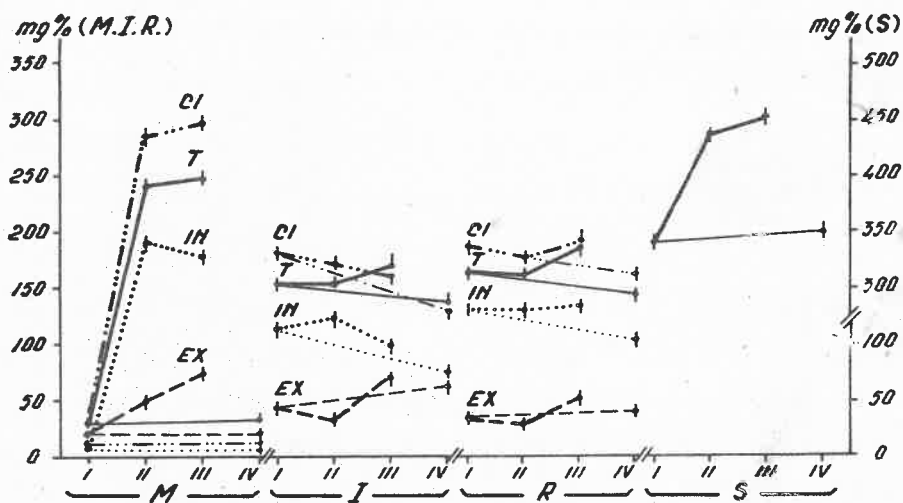


Fig.2 - Dynamique du Na^+ dans les tissus de sandre transféré brusquement en eau de mer (I,II,III), par rapport au groupe de poissons élevés en eau de mer (IV). T - taux total; EX-taux extracellulaire; IN - taux intracellulaire; CI - concentration intracellulaire; S - sérum. Les autres explications correspondent à celles de la fig.1.

c. REPARTITION DU K^+

La teneur totale, le taux intracellulaire et la concentration intracellulaire du K^+ diminuent fort, surtout pendant les premières 24 heures (36%-73%), tandis que le taux extracellulaire des tissus et la concentration du sérum augmentent (Fig.3). Chez les poissons accommodés à l'eau de mer, toutes les valeurs du K^+ des tissus augmentent légèrement, mais la concentration du sérum diminue (par 36%).

d. REPARTITION DU Ca^{2+}

La dynamique de l'ion de Ca^{2+} (Fig.4) ressemble bien à celle de l'ion K^+ , mais les variations du muscle et du sérum sont plus petites. Mais le rapport des concentrations intracellulaires $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ se modifie beaucoup: il diminue dans le muscle et augmente dans l'intestin et le rognon. Chez les individus accommodés à l'eau de mer on constate des variations très petites

dans le tissu musculaire et dans le sérum. Tandis que dans le tissu musculaire toutes les valeurs augmentent, dans celui rénal celles-là diminuent.

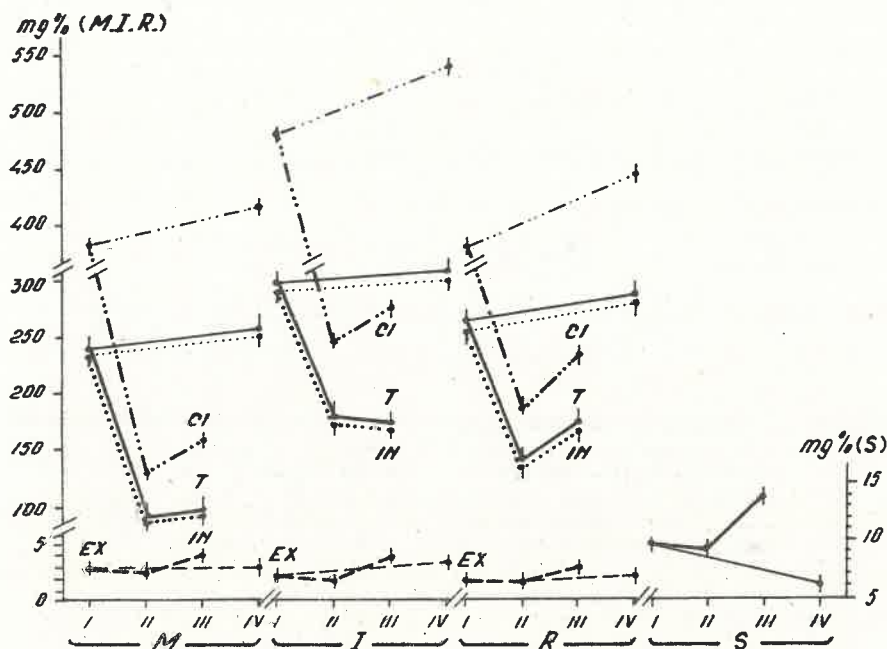


Fig.3 - Dynamique du K^+ dans les tissus de sandre transféré brusquement en eau de mer (I,II,III), par rapport aux poissons élevés en eau de mer (IV). La légende est la même que celle de la fig.2.

2. LE TRANSFERT DE L'EAU DE MER EN EAU DOUCE

Au transfert brusque des poissons accommodés à l'eau de mer dans l'eau douce, on observe des variations beaucoup plus faibles de l'eau et des ions des tissus, par rapport à celles provoquées par le transfert brusque des poissons de l'eau douce en eau de mer.

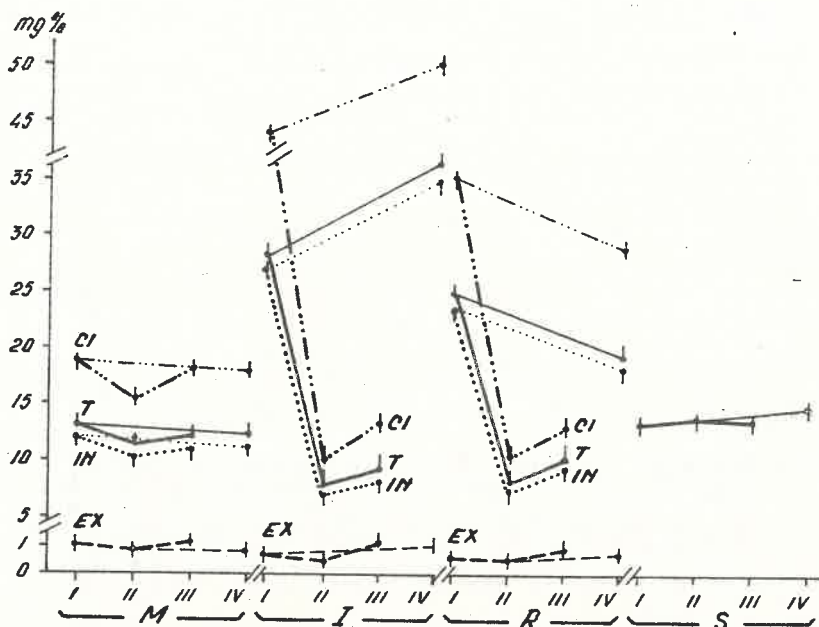


Fig.4 - Dynamique de l'ion de Ca^{2+} dans les tissus de sandre transféré brusquement en eau de mer (I,II,III), par rapport aux poissons élevés en eau de mer (IV). La légende est la même que celle de la fig.2.

a. REPARTITION DE L'EAU

La teneur totale et intracellulaire en eau est un peu modifiée dans le muscle, mais dans les tissus intestinal et rénal a lieu une diminution faible et réversible des valeurs de celles-ci. En même temps, une légère augmentation du taux extracellulaire d'eau a lieu dans tous les tissus (Fig.5).

b. REPARTITION DU Na^+

La répartition du Na^+ dans les tissus et le sérum connaît des variations beaucoup plus faibles (Fig.6) par rapport à celles enregistrées lors du transfert des poissons de l'eau douce en eau de mer. On constate généralement une tendance quelconque d'augmentation des valeurs au muscle et à l'intestin, et une faible diminution au rognon, où a lieu seulement une augmentation du taux extracellulaire du Na^+ .

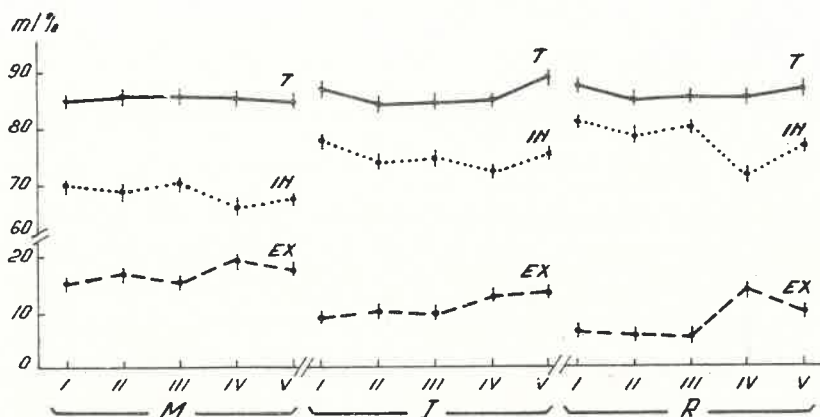


Fig. 5 - Dynamique de l'eau dans les tissus de sandre transféré brusquement de l'eau de mer en eau douce. I- en eau de mer; II- 24 heures après le transfert; III- 48 heures après le transfert; IV- 72 heures après le transfert; V- 96 heures après le transfert; M-muscle; I-intestin; R-rognon; S-sérum.

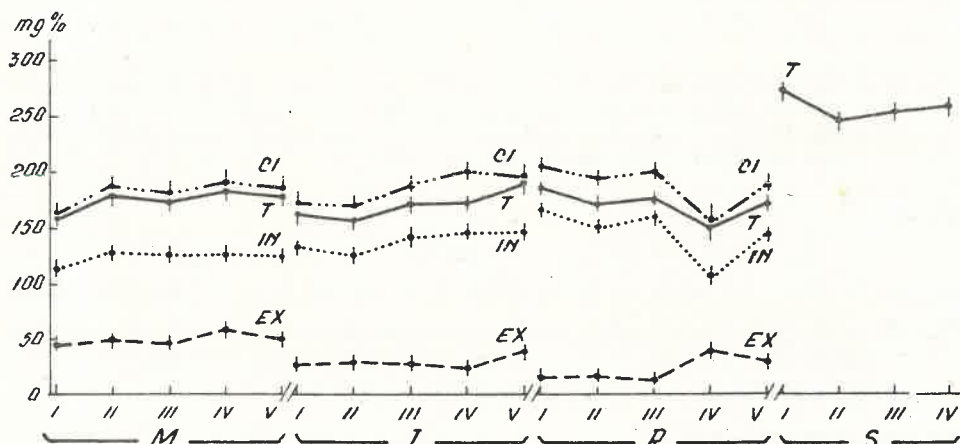


Fig. 6 - Dynamique de l'ion de Na^+ dans les tissus de sandre transféré brusquement de l'eau de mer en eau douce. La légende est la même que celle de la fig. 5.

c. REPARTITION DU K^+

Les valeurs du potassium se modifient beaucoup moins par rapport à la première série d'expérimentations (Fig. 7). Durant les premières 48 heures, les valeurs du contenu total, du taux in-

tracellulaire et de la concentration intracellulaire du K^+ diminuent dans tous les tissus. Au tissu intestinal, cette diminution est observée même après 72 heures du transfert des poissons dans l'eau douce. Mais après ce point, les valeurs commencent à augmenter vers le niveau initial.

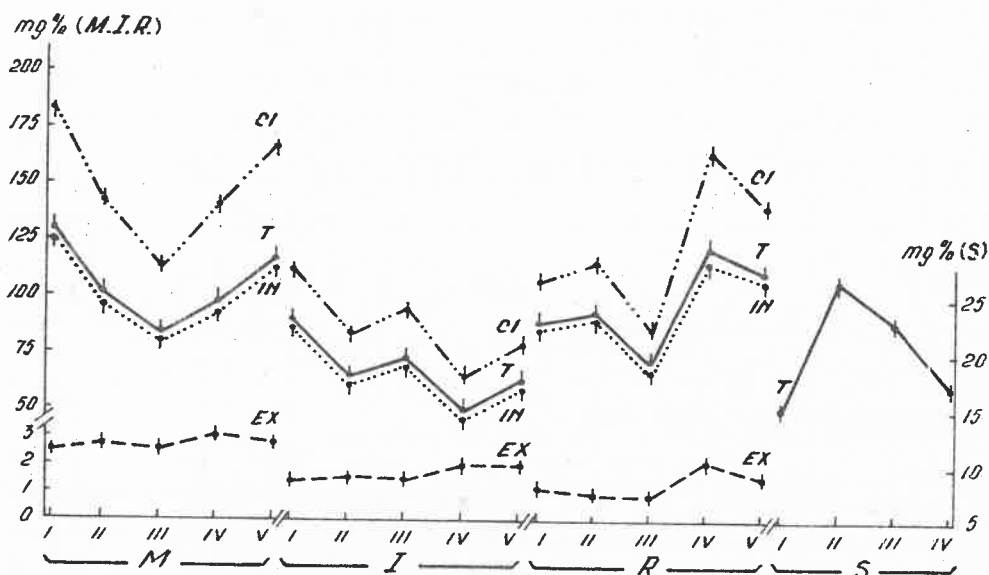


Fig.7 - Dynamique de l'ion de K^+ dans les tissus de sandre transféré brusquement de l'eau de mer en eau douce. La légende est la même que celle de la fig.5.

d. REPARTITION DU Ca^{2+}

Les variations du Ca^{2+} sont petites elles-aussi (Fig.8). Le muscle connaît d'habitude une tendance quelconque d'augmentation continuelle des valeurs du Ca^{2+} dans tous les compartiments tissulaires. A l'intestin, une diminution lente des valeurs de cet ion a lieu, excepté le taux extracellulaire qui augmente légèrement. Le même phénomène a lieu au rognon pendant les premières 72 heures, après lesquelles on enregistre une hausse assez visible. Dans le sérum a lieu une faible augmentation de la concentration du Ca^{2+} .



Fig.8 - Dynamique de l'ion de Ca^{2+} dans les tissus de sandre transféré brusquement de l'eau de mer en eau douce. La légende est la même que celle de la fig.5

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Le sandre est un poisson adapté aux conditions osmotiques spécifiques aux eaux douces. Néanmoins, il peut bien supporter l'augmentation de l'osmolarité du milieu jusqu'à une valeur correspondant à l'eau de mer avec une salinité de 17 g ‰, si le transfert de l'eau douce en eau avec une salinité toujours plus grande a lieu petit à petit. Cela prouve que le sandre dispose d'une série de mécanismes d'osmorégulation qui lui assurent la survie dans un milieu hyperosmotique, comme l'eau du littoral roumain de la mer Noire.

Mais les possibilités de fonctionnement de ces mécanismes sont limitées. Si l'on transfère brusquement le sandre de l'eau douce en eau de mer, on constate d'amples modifications, irréversibles, de la répartition de l'eau et des ions dans les tissus, ce qui indique un profond déséquilibre osmotique, dû auquel les poissons ne peuvent survivre plus de trois jours. De ce fait, on assiste à l'augmentation de l'hydrémie et du taux du Na^+ et à la diminution du taux du K^+ et du Ca^{2+} des tissus, parallèlement à une accumulation d'ions dans le liquide extracellulaire et dans le sérum. Dans les mêmes conditions, de telles modifica-

tions se manifestent chez la truite (3).

On connaît qu'à une salinité accrue du milieu, les poissons ingèrent de grandes quantités d'eau salée (13, 15), pour récupérer l'eau perdue par la surface du corps dans le milieu hyperosmotique. La plupart de l'eau ingérée est absorbée par la paroi intestinale (13), ce qui mène à l'augmentation du taux d'eau dans les tissus, autant par l'augmentation du volume extracellulaire, que par celui intracellulaire. Au niveau de l'intestin, les ions de Na^+ sont presque complètement absorbés, tandis que ceux de K^+ et Ca^{2+} sont moins absorbés, parallèlement à une excrétion accrue du Ca^{2+} (13). Cela peut déterminer une augmentation exagérée du taux de Na^+ et une diminution du contenu de K^+ et Ca^{2+} des tissus, ce qui s'observe également dans nos expérimentations.

De la répartition de l'eau et des ions dans les tissus et le sérum on constate que, lors du transfert brusque des poissons de l'eau douce dans l'eau à une salinité de 17 g‰, la membrane cellulaire ne peut plus accomplir la fonction spécifique de barrière sélective entre les compartiments extracellulaire et intracellulaire.

D'habitude, entre la concentration ionique d'une partie et de l'autre de la membrane, il y a une asymétrie (5), maintenue par le transport actif des ions contre leur gradient électrochimique, assuré par "la pompe de $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ", avec une consommation de l'énergie provenant de l'hydrolyse de l'ATP à l'aide de l'ATP-ase dépendante du Na^+ et du K^+ (4, 14). Mais, parallèlement à l'augmentation du taux d'eau et d'ions de l'espace extracellulaire, dû à la salinité accrue du milieu aquatique, les propriétés de perméabilité des membranes cellulaires se modifient. Cela mène à l'augmentation du taux intracellulaire d'eau et au gonflement des cellules, ainsi qu'à une perméabilité passive accrue des membranes vis-à-vis des ions, et à la diminution des gradients de concentration ionique causée par l'entrée massive du Na^+ dans la cellule et par la sortie du K^+ et du Ca^{2+} , mais sans qu'il y ait lieu leur inversion. En même temps, une dilution de la concentration des ions du K^+ et du Ca^{2+} du compartiment intracellulaire a lieu, par l'augmentation du volume intracellulaire d'eau. La concentration élevée des ions dans le sérum s'explique principalement par l'ap-

port de l'extérieur, l'eau de mer étant particulièrement riche en ions de Na^+ (2).

La croissance du rapport $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ du milieu extracellulaire conduit à un plus faible empaquetage des molécules phospholipidiques de la composition des membranes (9, 10), ce qui détermine l'augmentation de la perméabilité. Ce phénomène est observé également dans nos expériences, où le rapport $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ du sérum arrive, d'une valeur initiale de 0,69, à 0,97 après 48 heures de transfert des poissons dans l'eau de mer.

Après 48 heures du transfert, on observe aussi une diminution du transfert passif par les membranes et, en même temps, une tendance d'augmentation du transport actif, pour rétablir les concentrations ioniques normales dans les compartiments tissulaires. Mais le déséquilibre hydro-minéral est trop grand, les possibilités énergétiques pour le transport actif sont excédées, donc ce mécanisme devient inefficace. La modification de la perméabilité des membranes cellulaires de divers tissus et le changement des propriétés de certains épithéliums de surface conduisent à un déséquilibre osmotique général, auquel on ne peut plus remédier par la mise en fonction des mécanismes actifs et passifs de réglage, assistant donc à la mort des poissons.

Dans le cas du transfert progressif en eau de mer des poissons en âge d'un été, les individus survivent grâce à de moindres modifications de l'équilibre hydro-minéral, et à certaines possibilités d'osmorégulation plus efficaces dans une étape ontogénétique précoce, lorsque les organismes présentent généralement plus de souplesse physiologique. Deux ans après le transfert, les poissons se créent un nouvel équilibre hydro-minéral. Les valeurs du contenu hydrique et ionique sont voisines à celles normales de l'eau douce, mais il y a aussi quelques particularités. D'habitude, l'eau tissulaire ne présente pas de modifications importantes, mais le gradient de la concentration du Na^+ et du K^+ augmente légèrement, ce qui prouve un accroissement du transport actif et des processus métaboliques qui produisent l'énergie. Le rapport $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ du sérum diminue de 0,69 à 0,39, ce qui correspond à une réduction de la perméabilité des membranes et au maintien des gradients élevés de concentration ionique.

Chez certains poissons (Salmo gairdneri, par exemple) ont lieu, à travers l'âge, d'importantes modifications concernant la répartition de l'eau et des ions entre les compartiments tissulaires (6), ce qui se traduit surtout par la diminution du Ca^{2+} et de l'eau du plasma et du muscle. Chez les sandres élevés en eau de mer, on n'observe point ces modifications (Fig. 1-4, IV par rapport à I) ni dans le sérum, ni dans le muscle. Ces poissons ressemblent donc, par ces particularités, aux poissons plus jeunes qui sont plus souples et chez lesquels domine l'anabolisme. Cela explique la taille plus grande des individus accommodés dans l'eau de mer par rapport à ceux d'eau douce, et justifie pleinement les essais d'élevage du sandre en eau de mer.

Etant connu que la résistance des poissons accommodés en eau de mer à la salinité diminue pendant l'hiver à cause du stress thermique ajouté à celui osmotique, on conseille de les faire hiverner en eau à petite salinité. Le passage brusque de ces poissons en eau douce ne provoque pas de profondes perturbations de leur équilibre hydro-minéral établi en eau de mer. Les modifications observées ont une ampleur réduite et sont réversibles en quelques jours. L'hydrémie du tissu musculaire augmente légèrement grâce à l'augmentation du volume extracellulaire, tandis que l'hydrémie de la paroi intestinale et du tissu rénal diminuent réversiblement, ce qui prouve une diminution de l'absorption intestinale de l'eau et une croissance de l'élimination rénale. Des modifications réversibles du contenu ionique ont également lieu. Le rapport $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ du sérum connaît une augmentation pendant les premières 24 heures, ce qui signifie un plus faible empaquetage des micelles de la structure des membranes cellulaires (9, 10) et une augmentation de la perméabilité. Après ces 24 heures, le rapport diminue petit à petit vers la valeur connue chez les poissons accommodés à l'eau de mer, fait qui indique la diminution de la perméabilité des membranes. On remarque cependant une augmentation de la concentration du Na^+ du muscle et une diminution dans le sérum et le rognon, ainsi que des modifications en sens inverse de la concentration du K^+ . Une telle réaction lors du transfert de l'eau de mer en eau douce a été observée également chez d'autres espèces de poissons (8). Elle est fondée sur la

réduction de l'efflux de Na^+ dans les conditions données (8), dû à l'inhibition de l'ATP-ase dépendante du Na^+ et du K^+ des membranes, lors du passage en eau douce des poissons qui vivent en mer (16).

De nos recherches il résulte donc, que le sandre peut survivre en eau de mer (avec une salinité de 17 g ‰) seulement par un transfert graduel qui lui établisse un nouvel équilibre hydro-minéral, mais on peut le ramener brusquement en eau douce en vue de l'hivernage, sans aucun incident.

BIBLIOGRAPHIE:

1. BURTON R.F., 1973 - Biol.Rev., 48: 195.
2. CRACIUN V., TELEMBICI A., NEACSU I., 1969 - Lucr. Stat.Cercet. Mar."Prof.I.Borcea", Agigea, 3: 123.
3. CRACIUN V., CRACIUN Margareta, NEACSU I., TELEMBICI A., IONITA Reveica, 1981- Cercet.Mar.-Recherches Mar., 13: 191-198.
4. GLINN I.M., KARLISH S.J.D., 1975 - Ann.Rev.Physiol., 37: 13.
5. HOLMES W.N., DONALDSON E.M., 1969 - The Body Compartments and Distribution of Electrolites. Fish Physiology, ed. by W.S.Hoar and D.J.Randall, 1: 2, Acad.Press, New York and London.
6. HOUSTON A.H., 1959 - Can.J.Zool., 37: 729.
7. LANGE R., 1972 - Oceanogr.Mar.Biol.Ann.Rev., 10: 97.
8. LANGE R., FUGELLI K., 1965 - Comp.Biochem.Physiol., 15: 283.
9. NEACSU I., CRACIUN V., AGRIGOROEI St., CRACIUN Margareta, 1978- Anal.St.Univ."Al.I.Cuza" Iasi.Sect.II.Biol., 24: 127.
10. NEACSU I., AGRIGOROEI St., 1980 - Rev.Roum.Biol.-Biol.Anim., 25, 1: 39.
11. NELSON S.G., ARMSTRONG D.A., KNIGHT A.W., LI H.W., 1977 - Comp. Biochem.Physiol., Part A, 56, 4: 533.
12. SCHOFFENIELS E., 1973 - Locomotion, Respiration, Transport and Blood. Comparative Physiology: 353, North-Holland, Amsterdam.
13. SHEHADEH Z.H., GORDON M.S., 1969 - Comp.Biochem.Physiol., 30: 397.
14. SKOU J.C., 1957 - Biochem.Biophys.Acta, 23: 394.
15. SMITH H.W., 1930 - Am.J.Physiol., 93: 480.

16. UTIDA S., KANIYA M., SHIRAI N., 1971 - Comp.Biochem.Physiol.,
38 A: 443.
17. VESELOV E.A., 1949 - Zool.Jurn., 28, 1: 85.
18. WOLF K., 1963 - Progr.Fish.Culturist, 25: 135.