

**9. La perméabilité des membranes X.
La perméabilité ionique de membranes vivantes**
par Kurt H. Meyer et P. Bernfeld.
(29 VI 45)

Dans le présent travail, nous examinerons la sélectivité de cellules vivantes et de membranes vivantes; puisque ces membranes ne sont ni homogènes ni simples, mais qu'elles sont composées de plusieurs couches, nous ne pouvons analyser que les couches directement en contact avec la solution d'électrolyte.

1. Expériences sur l'algue Chara¹⁾.

L'algue Chara se compose d'une longue cellule tubulaire (de plusieurs centimètres de longueur et d'un diamètre d'environ 1 mm) recouverte par une couche de cellules beaucoup plus petites. Le protoplasme se trouve à l'intérieur du tube.

On introduit dans l'extrémité de l'algue un capillaire et on y fait couler une solution d'électrolyte. On trempe la partie médiane de l'algue dans une solution d'électrolyte contenue dans un petit récipient en paraffine rempli à un niveau dépassant les bords. Afin d'examiner la membrane extérieure, on maintient constante la concentration de la solution passant par l'intérieur et on varie la concentration de la solution extérieure. Pour mesurer la perméabilité de la couche de protoplasme, la concentration de la solution intérieure est variée et la concentration de la solution extérieure est maintenue constante. Toutes les solutions ont été rendues isotoniques à une solution 0,16 n de KCl, par du saccharose. Une série de résultats est donnée dans le tableau 1. Les courbes de sélectivité résultant de cette série d'essais ainsi que les courbes pour d'autres sels sont données dans la fig. 1.

Tableau 1.

côté extér.	côté intér.	E mv observé	différences en mv	
- 0,16 n KCl	0,16 n KCl +	+ 1	+ 1	couche extérieure
0,08 n KCl	0,16 n KCl	0	+ 3	+ 0,08/0,16 -
+ 0,04 n KCl	0,16 n KCl -	- 3	+ 5	+ 0,04/0,08 -
+ 0,02 n KCl	0,16 n KCl -	- 8		+ 0,02/0,04 -
- 0,16 n KCl	0,16 n KCl +	+ 1	+ 2	couche intérieure
- 0,16 n KCl	0,08 n KCl +	+ 3	+ 4	+ 0,08/0,16 -
- 0,16 n KCl	0,04 n KCl +	+ 7	+ 7	+ 0,04/0,08 -
- 0,16 n KCl	0,02 n KCl +	+ 14		+ 0,02/0,04 -

¹⁾ Nous remercions M. le Prof. Chodat pour ses conseils et pour les algues qu'il a mises à notre disposition.

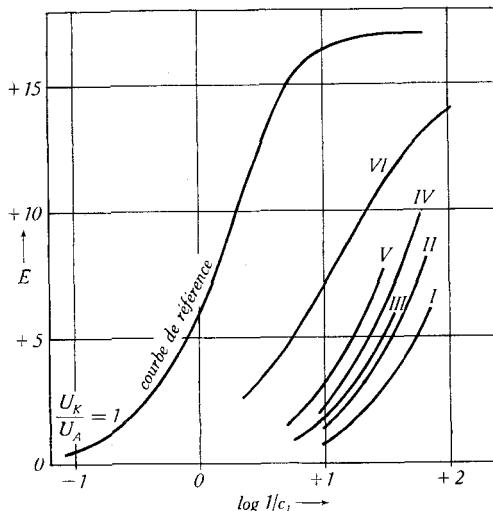


Fig. 1.

- I algue Chara côté extérieur, dans KCl, $A = 0,016$
 II $\left\{ \begin{array}{lll} \text{"} & \text{"} & \text{"} \text{ intérieur, " KCl} \\ \text{"} & \text{"} & \text{" extérieur, " NaCl} \end{array} \right\} A = 0,024$
 III $\text{"} \text{ extérieur, " NH}_4\text{Cl, } A = 0,030$
 IV $\text{"} \text{ intérieur, " NH}_4\text{Cl, } A = 0,036$
 V $\text{"} \text{ intérieur, " NH}_4\text{Cl, } A = 0,046$
 VI algue Nitella côté extérieur, $\text{"} \text{ NH}_4\text{Cl, } A \text{ entre } 0,05 \text{ à } 0,15$.

On constate que la membrane extérieure et la couche de protoplasme sont perméables aux cations; la couche de protoplasme est plus sélective que la couche extérieure.

2. Expériences sur l'algue *Nitella*¹⁾.

Les cellules tubulaires de l'algue Nitella sont trop minces pour permettre l'introduction d'un capillaire. On s'est donc limité à mesurer la perméabilité de la membrane extérieure. Deux endroits différents de celle-ci furent mis en contact avec les solutions d'électrolyte. La membrane s'est révélée perméable aux cations et plus sélective que celle de l'algue Chara (voir fig. 1).

3. Expériences sur la peau de grenouille.

Les grenouilles ont été décapitées, la peau de ventre découpée et fixée dans un appareil qui permet de changer rapidement les solutions et de maintenir vivante la membrane par un courant continu d'oxygène.

Pour l'analyse de la couche extérieure, la couche intérieure reste en contact avec une solution de Ringer (6,5 gr. NaCl; 0,2 gr. KCl; 0,2 gr. CaCl₂; 0,32 gr. NaHCO₃; 1 gr. glucose remplis à 1 l.). La couche extérieure est mise en contact d'abord avec 0,01 n de NaCl ou KCl, puis 0,02 n, 0,04, 0,08 et éventuellement 0,16 et 0,32. Les différences de valeurs lors de mesures consécutives servent à tracer la courbe de sélectivité.

¹⁾ Nous en avons obtenu quelques exemplaires de M. le Prof. Ernst de Zurich. Nous le remercions très vivement.

Les courbes de sélectivité obtenues avec du NaCl démontrent nettement la sélectivité cationique de la membrane; la constante de sélectivité A est environ 0,02 (fig. 2).

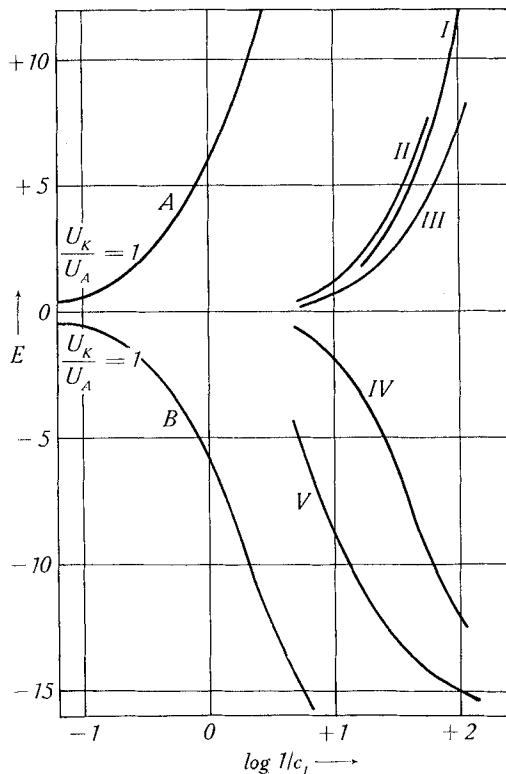


Fig. 2.

courbes de sélectivité de la peau de grenouille, couche extérieure.

- I solutions de NaCl sans tampon, sans traitement préalable.
- II traitement préalable par la solution de *Ringer*, puis solutions de KCl tamponnées au $p_{\text{H}} = 7,8$.
- III traitement préalable par du chloroforme, puis solutions de KCl sans tampon.
- IV solutions de KCl tamponnées au $p_{\text{H}} = 7,8$, sans traitement préalable.
- V solutions de KCl sans tampon, sans traitement préalable.
- A courbe de référence, perméabilité aux cations.
- B courbe de référence, perméabilité aux anions.

En présence de KCl, par contre, la membrane est perméable aux anions; mais, aussi en présence de KCl, elle reste perméable aux cations si elle a été traitée préalablement avec une solution de *Ringer* et si les mesures sont faites avec du KCl tamponné au $p_{\text{H}} 7,8$. La peau traitée préalablement par de la vapeur de chloroforme est également perméable aux cations en présence de KCl.

Il résulte de ce qui précède que la couche extérieure est amphoterre; il semble que le KCl cause une acidification qui fait virer la perméabilité cationique en perméabilité anionique. Cette production d'acide est inhibée par la narcose au chloroforme; par le bain alcalin l'acide produit est neutralisé et la perméabilité reste cationique.

Il résulte des courbes de sélectivité que les constantes de sélectivité pour les cations sont plus petites que les constantes de sélectivité pour les anions. Puisque la sélectivité cationique provient de la présence de groupes acides fixes dans la membrane, les protéines en question doivent posséder un plus grand nombre de groupes basiques fixes que de groupes acides.

U_K/U_A dans la membrane est égale à environ 1 pour KCl et NaCl, tandis que U_K/U_A dans l'eau n'est que 0,6 pour NaCl.

Pour l'analyse de la *couche intérieure*, on expose celle-ci successivement à du NaCl (ou KCl) 0,01 n, 0,02 n, etc., la couche extérieure restant en contact avec de l'eau du lac.

Les solutions diluées de NaCl et de KCl ont été rendues isotoniques à la solution de *Ringer* par du saccharose. La couche intérieure superficielle ne montre aucune sélectivité; *mais une couche située plus profondément se révèle spécifiquement perméable aux ions H^+ .* Cette membrane réagit avec les ions H^+ comme la lamelle de verre d'une électrode en verre.

Les solutions pour des essais avaient la composition suivante:

p_H de la solution	NaCl 2 n	Na_2HPO_4 0,1 mol.	HCl 0,1 n	rempli à
7,75	50 cm ³	50 cm ³	4 cm ³	1000 cm ³
6,75	50 cm ³	50 cm ³	25 cm ³	1000 cm ³

On voit que les concentrations des ions sodium et phosphorique restent constantes, la concentration des ions chlore est changée de 0,1000 n à 0,1025 n tandis que la concentration des ions H^+ augmente de dix fois.

Lors des essais, le côté extérieur était en contact avec de l'eau du lac, le côté intérieur avec la solution en question. La fig. 3 indique le potentiel en fonction du temps. Les variations du potentiel correspondent presque entièrement aux valeurs prévues si seuls les ions H^+ traversent la membrane. La valeur théorique pour le saut de concentration 1:10 (p_H 7,75: p_H 6,75) est de 57,5 mv à 17°; les expériences ont donné 53, 55, 60, et 54 mv.

Lors d'un changement de p_H , le potentiel correspondant n'est atteint qu'au bout de 20 minutes environ; il semble donc que les ions doivent d'abord traverser un tissu très poreux et non sélectif, pour atteindre la couche perméable aux seuls ions H^+ .

Le fait d'avoir décelé une telle couche si peu perméable nous semble très important. Le rôle de cette couche serait d'empêcher la diffusion des sels cellulaires vers l'extérieur de la cellule. Dans le cas où des organes voisins, par exemple des fibrilles nerveuses et le liquide

environnant, possèdent une teneur différente en sels, notre constatation permet de conclure ici également à la présence de couches de séparation qui seraient des membranes peu ou pas perméables aux sels et perméables seulement aux ions H^+ .

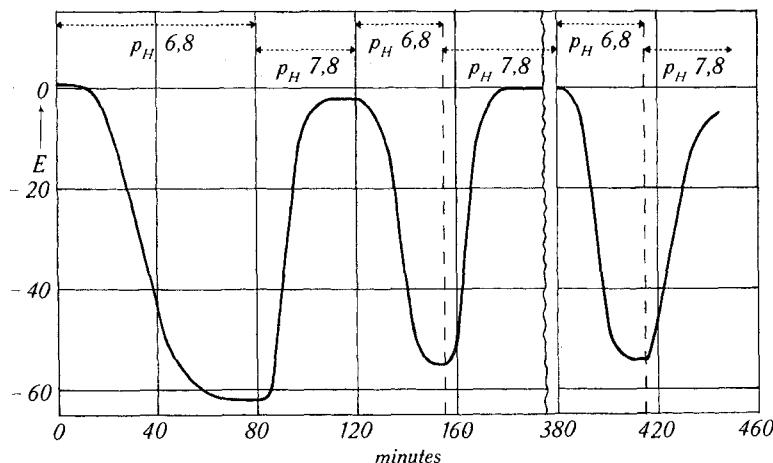


Fig. 3.

Si la cellule nerveuse ou musculaire est vraiment enveloppée par une telle membrane, des variations de p_H à l'intérieur de la cellule devraient produire une variation du potentiel décelable à l'extérieur; en particulier une alcalinisation à l'intérieur de l'axone ou de la fibrille devrait créer à l'extérieur une variation du potentiel dans le sens négatif; inversément une acidification crée une variation dans le sens positif. Or, on connaît dans le métabolisme du muscle et du nerf un grand nombre de réactions intermédiaires qui produisent des changements de p_H . Nous croyons donc que les variations de potentiel bien connues sous le nom de *courants d'action*, sont dues totalement ou du moins en grande partie aux variations du p_H qui accompagnent l'activité cellulaire.

Laboratoires de Chimie inorganique et de Chimie organique
de l'Université de Genève.