

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 45 (1918)

Artikel: Sur la perméabilité du protoplasme vivant pour quelques sels
Autor: Troendle, Arthur
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-742980>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SUR LA PERMÉABILITÉ DU PROTOPLASME VIVANT

POUR QUELQUES SELS

PAR

Arthur TROENDLE

(Avec 4 fig.)

INTRODUCTION.

Les travaux botaniques traitant de la perméabilité des cellules végétales pour les substances dissoutes ne nous renseignent que d'une manière peu satisfaisante sur l'absorption des sels. Pourtant c'est parmi eux qu'on trouve quelques-unes de ces substances qui, étant des substances nutritives, jouent un rôle fondamental dans tout organisme végétal.

Les recherches classiques de Hugo de Vries (1884), entreprises selon la méthode plasmolytique, semblaient prouver que le protoplasme est imperméable pour les sels, au moins durant la plasmolyse. Mais, d'autre part, on savait par l'analyse chimique que ces sels étaient bien contenus dans le suc cellulaire et l'on était forcé ainsi d'admettre que le protoplasme laissait entrer, selon les circonstances extérieures ou intérieures, des quantités plus ou moins grandes de sels.

Dès lors, les recherches de différents auteurs nous ont appris que la prétendue imperméabilité du protoplasme pour les sels n'existe pas et que ceux-ci, même lorsque le protoplasme est plasmolysé, peuvent pénétrer dans le suc cellulaire à travers le protoplasme.

Quant au mécanisme de la perméabilité, Overton (1895, 1896, 1899, 1900) a émis cette hypothèse féconde, bien connue du reste, que c'est la solubilité dans les lipoides (lécithine, cholestérine, etc.) qui domine l'entrée des substances dissoutes dans

le protoplasme. Les sels étant insolubles dans ces corps, Overton était amené à postuler une fonction physiologique spéciale, qui permettait au protoplasme d'absorber les sels. Ce sont des idées, dont on trouve déjà les ébauches chez Pfeffer (1888), suivi plus tard par Nathansohn (1904).

Récemment, dans un travail fort intéressant, traitant de la perméabilité pour les couleurs d'aniline, Ruhland (1912) arrive à la conclusion que le protoplasme fonctionne vis-à-vis de ces substances comme un ultrafiltre, en ce sens qu'au-dessus d'une certaine grandeur des particules dissoutes, la pénétration en était impossible. Par le fait que les solutions des couleurs d'aniline sont des solutions colloïdales, l'hypothèse de Ruhland exclut les vraies solutions des corps cristallins, car dans ceux-ci, comme nous le savons, ce n'est point la grandeur des particules, des molécules, qui fonctionne comme facteur limitatif d'entrée.

De nouvelles recherches sur la perméabilité pour les sels paraissent donc justifiées. Il y a là vraiment une lacune à combler.

1. — OBJETS ET MÉTHODES.

Toute recherche quantitative ayant pour but de tracer l'allure générale de la pénétration des sels est grandement facilitée, si les cellules laissent entrer dans un temps assez court une quantité assez notable de sel. Un séjour trop long dans des solutions pures, non physiologiquement balancées, même de sels nutritifs, finit par empoisonner les cellules (Osterhout 1906, 1908, 1909). Une faible perméabilité présente donc ces deux inconvénients : d'une part, l'évaluation de la quantité de sel absorbée perd de sa sûreté et, d'autre part, le long séjour dans les solutions peut intervenir de la manière la plus fatale.

C'est pour ces raisons que je ne me suis pas servi des cellules épidermiques de la feuille de *Tradescantia (Rhæo) discolor*, si vantées par Fitting (1915, p. 9), mais dont la minime perméabilité avaient déjà été mise en pleine lumière par les recherches de Hugo de Vries (1884), bien connues de tout botaniste. J'ai donc opéré sur les cellules palissadiques, douées d'une assez grande perméabilité pour le chlorure de sodium (Troendle, 1910), des feuilles d'*Acer platanoïdes* et de *Salix babylonica*. Mais

même ces objets ne peuvent être comparés, en aucune mesure, au tissu embryonnaire de la jeune racine de *Lupinus albus*, pris toujours entre 2 à 3 millimètres en arrière de l'extrémité. Dans cette région, les cellules sont encore dans un état tout à fait embryonnaire et remplies presque complètement de protoplasme. La différenciation des tissus est à peine commencée ; pourtant le péricycle est déjà nettement marqué par ses cellules un peu plus grandes et allongées dans le sens radial. L'allongement longitudinal des cellules n'ayant pas encore commencé, il m'a semblé préférable de pratiquer des coupes transversales.

Les semences sèches sont placées dans de l'eau pendant vingt-quatre heures pour les faire gonfler, puis, débarrassées de leur tégument et mises dans de la sciure de bois humide. Les racines y poussent très bien, atteignent, à une température de 18-20° la longueur voulue au bout de deux à trois jours.

Pour déterminer la quantité de sel absorbée par la cellule dans un temps connu, je me suis servi de la méthode plasmolytique employée, en principe, de la même manière que Fitting (1915). On prépare donc une solution principale du sel à examiner, solution qui sert ensuite à fabriquer toute une série de dilutions à différence de concentration égale et constante. Avant de commencer l'expérience, on verse à peu près 3 centimètres cubes des différentes solutions dans de petits godets ; on y plonge les coupes et au bout du temps voulu, on détermine la concentration plasmolysante ; par cela, j'entends comme on le fait d'habitude, la concentration dans laquelle à peu près la moitié des cellules est plasmolysée.

Maintenant, deux cas peuvent se présenter : ou bien le protoplasme est imperméable pour la substance dissoute, ou bien il la laisse pénétrer. Dans le premier cas, la concentration plasmolysante reste inaltérée aussi longtemps que nous laissons les coupes plongées dans les solutions. Dans le second cas, au contraire, les choses se passent autrement. En effet, si la substance dissoute pénètre, les cellules, après un certain temps, seront déplasmolysées ; évidemment, la déplasmolyse commence dans les solutions les moins concentrées et met d'autant plus de temps que la concentration est plus grande. On remarquera ainsi que la concentration plasmolysante augmente avec la durée du

séjour dans les solutions. Si, par exemple, nous trouvons la concentration plasmolysante être égale, après 5 minutes, à une concentration de $0,5 \text{ mol}^1$ et après 10 minutes à 1 mol , cela veut dire que pendant les 5 minutes écoulées entre le premier et le second examen des coupes, une quantité de $0,5 \text{ mol}$ a été absorbée.

En procédant ainsi, on arrive à déterminer d'une manière exacte la vitesse de pénétration du sel et ses variations possibles, c'est-à-dire la quantité de substance absorbée par minute. Mais il y a là encore un point fondamental qu'on ne peut pas négliger: il nous faut des chiffres sûrs des concentrations plasmolysantes. Vu la variabilité individuelle qui est un des caractères les plus saillants des organismes, c'est par les seules méthodes biométriques que nous pouvons atteindre notre but d'une manière satisfaisante (Voir aussi Troendle, 1915).

Dans ce qui suit, nous traiterons d'abord de la marche générale de l'absorption des sels, tandis qu'un second chapitre s'occupera des différences de vitesse de pénétration caractérisant les différents sels.

II. — L'ALLURE GÉNÉRALE DE L'ABSORPTION DES SELS.

Citons d'abord, à titre de comparaison, un exemple où la substance dissoute n'est pas absorbée.

Lupinus albus, racine, région entre le 2^{me} et le 3^{me} millimètre en arrière de l'extrémité. Substance plasmolysante : Saccharose.
Différence de concentration des solutions : $0,05 \text{ mol}^2$.

Durée de séjour dans les solutions	Température	Longueur des racines	Concentrations plasmolysantes ³		
			Ecorce extérieure	Ecorce moyenne	Péricycle
2 min.	16-17,5	15-27 mm.	0,159 mol	0,222 mol	0,165 mol
2 »	18-18,5	20-22	0,171	0,212	0,171
5 »	18-19	10-18	0,175	0,240	0,193
5 »	18-19	11-30	0,209	0,250	0,221
10 »	19	12-25	0,175	0,228	0,187
20 »	19-20	20-43	0,171	0,237	0,196
30 »	16,5-18	25-40	0,197	0,250	0,184
30 »	—	12-21	0,160	0,239	0,207
Moyennes :			0,177	0,234	0,190

¹ Abréviation pour molécule-gramme.

² Il s'agit toujours de concentration d'après Arrhenius.

³ Moyennes de 8 racines.

Les quelques variations des concentrations plasmolysantes, dues à la variabilité du matériel, sont tout à fait irrégulières.

Si maintenant nous passons aux sels, cela n'est plus le cas.

Lupinus albus, racine. Parenchyme de l'écorce moyenne et intérieure, 1916. entre le 2^{me} et le 3^{me} millimètre en arrière de l'extrémité.

Substance plasmolysante: KCl. Température: 16-20°. Longueur des racines: 8-30 millimètres.

Durée de séjour dans les solutions plasmolysantes :							
Concentrations plasmolysantes :	2	5	10	15 minutes	20	30	40
0,25 mol	3 ¹						
0,35	11						
0,45	5						
0,55	13	1					
0,65		10					
0,75		5					
0,85		6					
0,95		2	2				
1,05			3				
1,15			3				
1,25			7	1			
1,35			8	3			
1,45			1	6			
1,55				1	3		
1,65				4	2		
1,75				5	3		
1,85				4	5	1	
1,95					7	3	
2,05					2	5	
2,15					2	4	2
2,25						3	4
2,35						3	5
2,45						4	1
2,55						0	2
2,65						1	4
2,75							6
Moyennes de concentrations plasmolysantes	0,437	0,741	1,229	1,595	1,854	2,195	2,489
	mol						
Erreur moyenne	±0,018	±0,022	±0,027	±0,037	±0,035	±0,039	±0,043
Index de variabilité (σ)	0,105	0,107	0,135	0,184	0,172	0,191	0,211
Quantité absorbée par minute	0,101	0,097	0,073	0,052	0,034	0,029	
	mol						

¹ Ces chiffres indiquent les fréquences.

Dans le graphique de la fig. 1, j'ai représenté ce résultat en portant en abscisses la durée de séjour dans les solutions et en

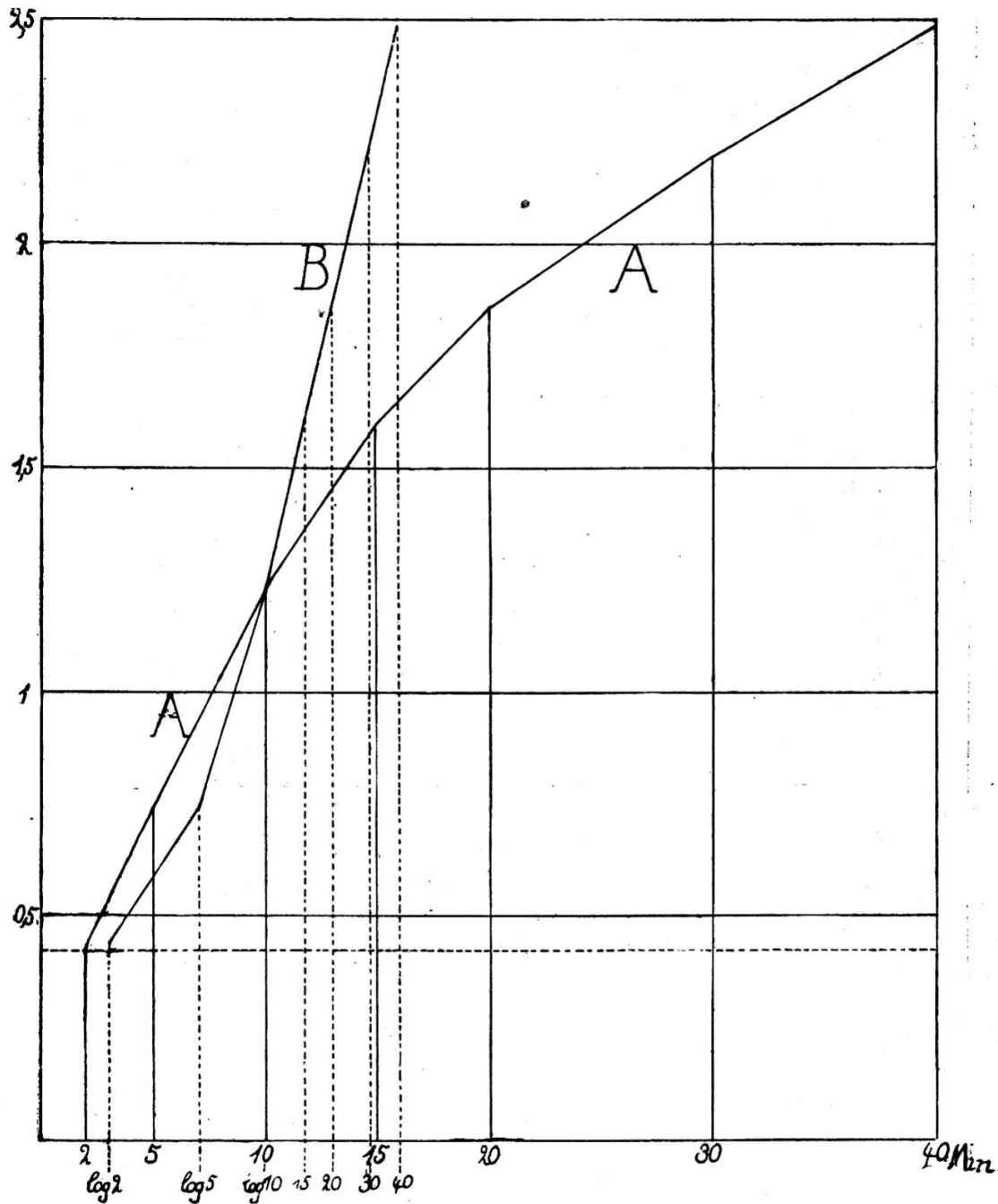


Fig. 1

Absorption de KCl par les cellules de l'écorce de la racine de *Lupinus albus* (2 à 3 millimètres en arrière de l'extrémité).

Courbe A : abscisses : durée de séjour dans les solutions. Ordonnées : concentrations plasmolysantes.

Courbe B : abscisses : logarithmes de la durée de séjour dans les solutions. Ordonnées : concentrations plasmolysantes.

ordonnées les concentrations plasmolysantes. Celles-ci augmentent beaucoup avec le temps.

Si nous comparons les quantités absorbées par minute, nous voyons que jusqu'à 10 minutes et jusqu'à une concentration de 1,229 mol, la vitesse d'entrée est restée sensiblement la même. Dans le graphique, cela s'exprime par le fait que la courbe est rectiligne jusqu'à 10 minutes. Après ce temps la vitesse se ralentit de plus en plus, la courbe s'incline de plus en plus vers l'abscisse. Par ce fait nous pouvons diviser la courbe en deux parties que nous allons étudier séparément.

Dans la première partie, il y a proportionnalité entre le temps et la concentration, tandis que dans la seconde partie, il y a proportionnalité entre le logarithme du temps et la concentration. Cela, nous le voyons immédiatement si nous portons en abscisses les logarithmes du temps et en ordonnées les concentrations, (fig. 1, courbe B). Cette seconde partie de la courbe obéit donc à la formule:

$$\frac{c' - c}{\log t' - \log t} = n,$$

c étant la concentration plasmolysante après 10 minutes, c' une concentration quelconque, $\log t = \log 10$, et $\log t' =$ le logarithme d'un temps quelconque autre que 10 minutes.

En calculant n par cette formule, nous arrivons aux chiffres suivants :

Entre :	n est égal à
10-15 minutes	2,079
10-20 »	2,076
10-30 »	2,025
10-40 »	2,089
Moyenne	2,067

Si maintenant nous calculons les concentrations plasmolysantes en nous servant de notre formule et en posant :

$$\begin{aligned} c &= 1,229 \\ n &= 2,067 \\ \log t &= \log 10 \end{aligned}$$

nous obtenons :

Temps	2 ^m	5 ^m	10 ^m	15 ^m	20 ^m	30 ^m	40 ^m
Conc. calc. :	-0,215	0,605	1,229	1,592	1,851	2,214	2,473 mol
» trouv. :	0,437	0,741	1,229	1,595	1,854	2,195	2,487

Ce résultat confirme ce que le graphique nous a enseigné, qu'à partir de 10 minutes il y a proportionnalité entre le logarithme du temps et la concentration.

Des expériences portant sur l'*Acer platanoïdes* et le *Salix babylonica* ont abouti au même résultat. Nous faisons suivre les chiffres de ces expériences.

Acer platanoïdes, Cellules palissadiques de la feuille.

(1916)

Substance plasmolysante : NaCl.

Concentrations plasmolysantes	Durée de séjour dans les solutions :						
	2	5	10	15 minutes	20	30	50
0,475 mole	6						
0,525	8	2					
0,575	4	11					
0,625		5	4	1			
0,675			7	2	1		
0,725			7	6	2		
0,775				9	7	3	
0,825					8	8	2
0,875						6	7
0,925						1	7
0,975							2
Moyennes des concentrations plasmolysantes	0,520	0,583	0,683	0,738 mol	0,786	0,838	0,900
Erreur mo- yenne	±0,0087	±0,0071	±0,0090	±0,0100	±0,0100	±0,0094	±0,0098
Index de va- riabilité (σ) . .	0,0369	0,0304	0,0382	0,0435	0,0427	0,0402	0,0416
Quantité ab- sorbée par mi- nute	0,0210	0,0200	0,0110	0,0096	0,0052	0,0031	
				mol			

Il y a la proportionnalité entre la concentration et le temps jusqu'à 10 minutes et ce n'est qu'à partir de ce temps que la vitesse de pénétration commence à diminuer (fig. 2).

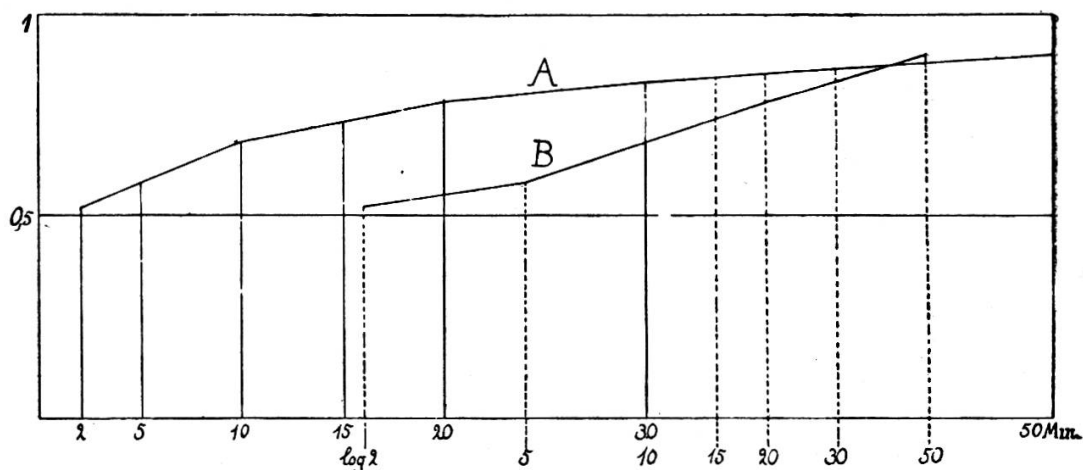


Fig. 2

Absorption de NaCl par les cellules palissadiques de la feuille de l'Acer platanoïdes.
 Courbe A : abscisses : durée de séjour dans les solutions.
 Ordonnées : concentrations plasmolysantes.
 Courbe B : abscisses : logarithmes de la durée de séjour dans les solutions.
 Ordonnées : concentrations plasmolysantes.

En procédant de la manière exposée plus haut et en posant $c = 0,698$ et $\log t = \log 5$, nous obtenons :

Entre :	n est égal à
5-10 minutes	0,331
5-15 »	0,324
5-20 »	0,336
5-30 »	0,327
5-50 »	0,317
Moyenne	0,327

Les chiffres suivants montrent la concordance entre les concentrations trouvées et les concentration calculées à l'aide de la formule, après y avoir posé

$$c = 0,583, \log t = \log 5 \quad \text{et} \quad n = 0,327$$

Temps :	5 ^m	10 ^m	15 ^m	20 ^m	30 ^m	50 ^m
Concent. calc. :	0,583	0,681	0,739	0,780	0,837	0,910 mol
» trouv. :	0,583	0,683	0,738	0,786	0,838	0,900

Salix babylonica, Cellules palissadiques de la feuille.

(1917)

Substance plasmolysante : NaCl.

Concentrations plasmolysantes	Durée de séjour dans les solutions :					
	2	5	10	20	30	40
minutes						
0,4750 mole	1					
0,4875	1	1				
0,5000	1	0	1	1		
0,5125	1	1	0	0		
0,5250	2	0	0	0		1
0,5375	1	1	0	0	1	0
0,5500	4	3	0	0	0	0
0,5625	15	2	1	1	0	0
0,5750	10	5	2	1	0	0
0,5875	10	7	3	2	1	1
0,6000	8	7	3	0	0	0
0,6125	8	9	5	2	0	1
0,6250	2	7	3	4	3	0
0,6375	4	10	6	3	4	0
0,6500	0	8	4	2	1	2
0,6625	2	1	10	2	2	7
0,6750		2	6	6	2	3
0,6875		5	6	5	6	1
0,7000		0	1	2	3	0
0,7125		1	10	8	4	5
0,7250			4	8	4	2
0,7375			2	6	5	5
0,7500			2	3	9	3
0,7625			0	5	9	5
0,7750			0	5	2	6
0,7875			1	2	5	9
0,8000				1	5	4
0,8125				1	3	8
0,8250					1	6
0,8375						0
0,8500						1
Moyennes des concentrations plasmolysantes	0,5807	0,6160	0,6632	0,7001	0,7271	0,7482 mol
Erreurs mo- yennes . . .	±0,0042	±0,0050	±0,0062	±0,0074	±0,0071	±0,0078
Index de va- riabilité (σ) . .	0,0358	0,0425	0,0521	0,0620	0,0595	0,0656
Quantité ab- sorbée par mi- nute	0,0117	0,0094	0,0036	0,0027	0,0021	mol

Entre :	n est égal à
5-10 minutes	0,156
5-20 »	0,139
5-30 »	0,142
5-40 »	0,146
Moyenne	0,145

En posant dans la formule $n = 0,145$, $c = 0,6160$ et $\log t = \log 5$, nous obtenons :

Temps	5 ^m	10 ^m	20 ^m	30 ^m	40 ^m
Conc. calculées :	0,616	0,659	0,703	0,729	0,747 mol
» trouvées :	0,616	0,663	0,700	0,727	0,748

Enfin, mentionnons une dernière série d'expériences aboutissant au même résultat, mais dont la sécurité statistique est si petite que, si la série était prise isolément, elle ne pourrait pas servir de preuve de ce que nous venons d'établir.

Lupinus albus, Racine. Région entre le 2^{me} et le 3^{me} millimètre en arrière de l'extrémité : Péricyle.

Substance plasmolysante : $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Concentrations plasmolysantes	Durée de séjour dans les solutions :						
	2	5	10	20 minutes	30	40	60
0,050 mol		2	1				
0,055	2	5	8	1			1
0,060	6	3	2	3	4	3	2
0,065	2	4	1	3	1	1	2
0,070	4	2	3	4	3	3	2
0,075			0	4	0	2	1
0,080			1	0	8	2	2
0,085				1		4	2
0,090						1	0
0,095							1
0,100							2
0,105							0
0,110							1
Moyennes des concentrations plasmolysantes	0,0628	0,0596	0,0603	0,0684 mol	0,0721	0,0746	0,0784
Erreurs mo- yennes . . .	$\pm 0,0014$	$\pm 0,0015$	$\pm 0,0019$	$\pm 0,0018$	$\pm 0,0021$	$\pm 0,0024$	$\pm 0,0039$
Index de va- riabilité (σ) . .	0,0052	0,0062	0,0079	0,0074	0,0084	0,0097	0,0158
Quantité ab- sorbée par mi- nute	0,0081	0,0037	0,0025	0,0019			
			mol				

La vitesse de pénétration du $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ est beaucoup plus petite que dans le KCl et le NaCl, aussi l'entrée au protoplasme n'a commencé qu'après 10 minutes.

Entre :	n est égal
20-30 minutes	0,0210
20-40 »	0,0206
20-60 »	0,0209
Moyenne	0,0208

En posant dans la formule $n = 0,0208$, $c = 0,0684$ et $\log t = \log 20$, nous obtenons :

Temps :	20 ^m	30 ^m	40 ^m	60 ^m	
Concentrations calculées :	0,0684	0,0720	0,0746	0,0783	mol
» trouvées :	0,0684	0,0721	0,0746	0,0784	

Je suis heureux que ces résultats soient confirmés par un travail de Fitting (1915), au moins dans une certaine mesure. Comme je l'ai déjà indiqué, j'ai suivi, moi aussi, sa méthode qui consiste à employer d'une manière spéciale la plasmolyse. Seulement, il y a cette différence que Fitting, malgré qu'il possédât le matériel voulu, n'a pas déterminé d'une manière plus exacte les concentrations plasmolysantes, mais s'est borné à évaluer approximativement la quantité absorbée. Les nombreux protocoles détaillés, insérés dans son travail, nous permettent de faire ces déterminations qui se trouvent réunies dans le tableau suivant.

Tradescantia (Rhœo) discolor, Cellules de l'épiderme de la feuille, dressé d'après les protocoles de Fitting (1915). Substance plasmolysante : KNO_3 .

Concentrations plasmolysantes	Durée de séjour dans les solutions :			
	15	30	60	120
	minutes			
0,0850 mol	1	1		
0,0862	0	0		
0,0875	3	1	1	
0,0887	1	0	1	1
0,0900	2	4	0	0
0,0912	0	1	0	1
0,0925	3	1	3	0
0,0937	0	0	0	1
0,0950	3	4	4	0
0,0962	3	1	2	0

Tradescantia (Rhœo) discolor, Cellules de l'épiderme de la feuille, dressé d'après les protocoles de Fitting (1915). Substance plasmolysante : KNO_3 . (Suite).

Concentrations plasmolysantes	Durée de séjour dans les solutions :			
	15	30	60	120
	minutes			
0,0975 mol	1	4	4	3
0,0987	0	0	0	0
0,1000	1	0	1	3
0,1012	0	0	0	0
0,1025	2	2	1	2
0,1037	0	0	1	0
0,1050	1	0	1	0
0,1062	1	1	0	0
0,1075	2	2	0	1
0,1087	1	1	1	1
0,1100	2	3	1	0
0,1112	0	0	1	0
0,1125	2	2	4	1
0,1137	0	1	0	0
0,1150	3	0	1	2
0,1162	0	2	1	0
0,1175	2	2	1	1
0,1187	0	0	2	1
0,1200	0	1	1	0
0,1212	1	1	0	1
0,1225	0	0	1	1
0,1237	0	0	1	0
0,1250	0	0	1	1
0,1262	0	0	0	1
0,1275	0	0	0	
0,1287	0	0	0	
0,1300	0	0	0	
0,1312	0	0	0	
0,1325	0	0	0	
0,1337	1	0	0	
0,1350		1	0	
0,1362			1	
Moyennes des concentrations plasmolysantes . . .	0,1023	0,1035	0,1060	0,1073 mol
Erreurs moyennes	$\pm 0,0018$	$\pm 0,0018$	$\pm 0,0018$	$\pm 0,0022$
Index de variabilité (σ)	0,0109	0,0110	0,0113	0,0107
Quantité absorbée par minute . . .	0,000080	0,000083	0,000021	mol

Pour établir ce tableau, je me suis servi des protocoles suivants du travail de Fitting: N° 41-47, 49, 50, 52-62, 68 a et c, 69 a et c, 70 a et b, 71 a, 72 b, 73 a et b, 74 a et b, 75 a et b, 76

a et b. J'ai exclu les N^{os} 48, 71 b et 72 a, à cause d'irrégularités trop grandes, la détermination des concentrations plasmolysantes n'y étant possible qu'en partie, et les N^{os} 51 et 77 dans lesquels la durée du séjour dans les solutions est limitée autrement. Je mentionne tout cela expressément pour montrer que ma manière de procéder a été tout à fait impartiale.

Fitting s'est borné à constater que la perméabilité du protoplasme pour le sel diminue de plus en plus au contact avec celui-ci. Mais l'inspection du tableau que nous venons de dresser nous montre que ses expériences permettent des conclusions plus précises. Jusqu'à 60 minutes la vitesse d'entrée est constante pour ne diminuer qu'ensuite. Quant à la seconde moitié de la courbe il est impossible de dire s'il y a concordance avec mes propres résultats. Calculer dans les protocoles de Fitting les concentrations plasmolysantes pour des temps atteignant 120 minutes n'aurait pas de valeur, vu le petit nombre des indications et la très grande variabilité de l'objet.

Tâchons maintenant de tirer quelques conclusions de nos expériences.

Des cellules végétales plongées dans les solutions hypertoniques d'un sel le laissent pénétrer. Jusqu'à une certaine concentration du sel, le temps que met la déplasmolyse est proportionnel à la concentration (première partie rectiligne des courbes A, fig. 1 et 2). Au moment où la déplasmolyse est accomplie, la quantité de sel absorbée est égale à la concentration de la solution moins une concentration qui exerce une pression osmotique égale à la pression osmotique normale de la cellule. Posons C la concentration de la solution, et c la pression osmotique normale de la cellule, la quantité absorbée dans un temps déterminé sera $C - c$. La pression osmotique normale, dans nos expériences, peut être regardée, sans commettre une grande erreur, comme égale à la concentration plasmolysante après 2 minutes (ligne pointillée parallèle à l'abscisse dans la fig. 1 et courbe d'absorption de CaCl_2 dans la fig. 3). Il s'ensuit que jusqu'à une certaine concentration (première moitié des courbes A, fig. 1 et 2), *l'absorption du sel se fait avec une vitesse constante, indépendamment des différences de pression existant entre la solution et la cellule*. Comme on le voit immédiatement,

la loi de diffusion de Fick n'est pas valable ici. Cela me paraît d'autant plus significatif que, d'après les recherches de Szuess (1910), la pénétration de quelques couleurs d'aniline dans les cellules de *Spirogyra* et d'autres plantes est réglée par la dite loi.

Quant à la seconde moitié des courbes A (fig. 1 et 2), évidemment elle ne suit pas non plus la loi de Fick, car au lieu que la vitesse d'entrée augmente avec la concentration ou, ce qui revient au même, avec l'augmentation de différence de pression, il y a là au contraire diminution de vitesse.

Donc la vitesse d'entrée du sel doit être réglée par le protoplasme lui-même et cela indépendamment de la différence de

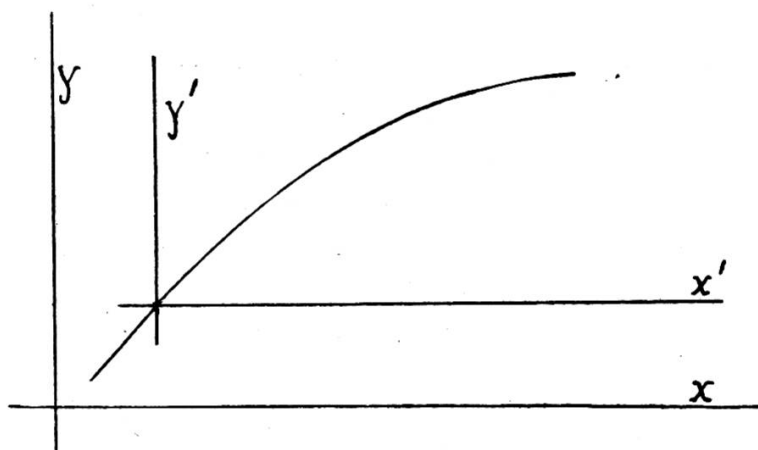


Fig. 3

Courbe schématique d'absorption de sel.
(Voir l'explication dans le texte.)

pression osmotique entre la solution ambiante et la cellule. Tout cela m'amène à la conclusion que ce n'est point la force de diffusion des ions et molécules qui les fait passer au travers du protoplasme dans la vacuole, mais que c'est le protoplasme lui-même qui fournit l'énergie nécessaire pour faire passer les particules du sel. En résumé, le protoplasme intervient activement dans l'absorption des sels, tandis qu'il se comporte passivement vis-à-vis des couleurs d'aniline qui le traversent par le fait de leur mouvement de diffusion.

Regardons maintenant la seconde partie des courbes A (fig. 1 et 2) et servons-nous en pour l'explication de la courbe schématique de la figure 3. Nous déplaçons le système des coordonnées

parallèlement à lui-même de telle sorte que le point O coïncide avec la fin de la partie rectiligne de la courbe d'absorption. Les axes occuperont ainsi la position x' , y' . Alors nous pouvons admettre qu'après l'absorption d'une quantité maximum de sel, représentée dans la figure 3 par la distance $x' - x$, la vitesse d'entrée commence à diminuer. Ce ralentissement augmente en proportion directe avec le logarithme du temps. Cela ne me paraît être qu'un cas spécial de la loi de Weber. En effet, nous pouvons raisonner comme suit.

Dans le chimiotaxisme, comme l'a montré Pfeffer le premier (1884), il faut une certaine concentration minimum dans le tube capillaire pour que les anthérozoïdes, se trouvant dans de l'eau, répondent à l'irritation avec un mouvement vers le tube capillaire. Si l'on répète l'expérience en plaçant les organismes dans une goutte de la solution contenue, pendant la première expérience, dans le tube capillaire, il faut, pour qu'il y ait attraction, augmenter la concentration dans le tube capillaire. En répétant ainsi l'expérience plusieurs fois, on voit que les concentrations qui suffisent tout juste à provoquer le mouvement chimiotactique forment une série géométrique, tandis que les réactions, c'est-à-dire les mouvements vers le tube capillaire s'alignent en série arithmétique. Il y a là proportionnalité entre la réaction et le logarithme de l'irritation.

Le mouvement chimiotactique de l'anthérozoïde est un travail. Pour que l'anthérozoïde exécute ce travail plusieurs fois, il faut que l'irritation soit de plus en plus grande, ce qui découle immédiatement de la loi de Weber. On peut exprimer cela en disant que, par l'exécution d'un travail déterminé, l'anthérozoïde se fatigue de plus en plus, et que la fatigue, mesurée par la grandeur du facteur excitant, progresse géométriquement si le travail augmente en série arithmétique.

Maintenant, si nous passons à l'absorption des sels, le travail qui nous y intéresse, c'est l'absorption d'une petite quantité de sel (au-dessus de la ligne x' dans la figure 3). En exécutant ce travail, le protoplasme se fatigue, de telle sorte que, si nous laissons absorber la même petite quantité une seconde, une troisième, etc. fois, la fatigue, mesurée par le temps d'absorption que met le protoplasme, augmente géométriquement, tandis

que le travail progresse arithmétiquement. Par ce mot de fatigue, je ne veux entendre qu'un changement quelconque survenu dans le protoplasme et sur lequel je ne sais rien de plus précis.

En expliquant ainsi les faits expérimentaux, je me vois amené à *l'hypothèse* que voici :

Les sels irritent le protoplasme qui réagit à cette irritation par le transport du sel à son intérieur. La vitesse de réaction, étant d'abord constante, commence à diminuer après quelque temps parce que le protoplasme se fatigue suivant la loi de Weber.

Il faudrait maintenant parler des moyens physiques et chimiques mis à la disposition du protoplasme pour l'exécution de cette réaction. Mais je ne m'occuperai de cette question qu'à la fin du prochain chapitre. .

(A suivre).
