

Rapport sur les recherches concernant l'influence de l'acidité et de l'alcalinité sur la germination des quelques graines potagères

Par Z. A r n o l d

Sur l'influence des acides et des alcalis sur la germination des graines beaucoup de recherches ont été exécutées jusqu'ici, mais la plupart de ces travaux depuis le temps des recherches classiques de Claudel et de Crochetelle (1896), de Sigmund (1896), de Fischer (1907), de Bokorny (1913), de Promsy (1911) et d'autres considèrent comme la véritable mesure pour la réaction des solutions l'acidité titrable resp. l'alcalinité. Cependant depuis que des méthodes plus précises ont été introduites dans la biologie pour la détermination de la réaction des solutions au moyen du mesurage de la concentration en ions H^+ , de telles recherches se fondent depuis Hoagland (1917), Hixon (1920), R. M. Salter et McIlvaine (1920), van Laer et Lombaers (1921) régulièrement sur la détermination de l'acidité actuelle. La plupart des travaux antérieurs et la plupart des travaux plus récents ont été exécutés avec les plantes cultivées, en premier lieu avec les céréales et quelques autres plantes de grande culture, tandis que ce n'est qu'un nombre relativement restreint de recherches qui ont été exécutées avec les graines potagères (p. e. essais de Mlle. Promsy avec les tomates et les courges, de Hixon avec les pois, d'Arrhenius avec le radis). C'est à cause de cela que nous nous sommes décidés à entreprendre de recherches plus complexes sur l'influence de la réaction du milieu sur la germination des graines potagères et sur le développement ultérieur de ces plantes, et comme travaux préparatoires, pour la première orientation nous serviront des expériences que nous avons exécutées avec quelques espèces de telles graines. Sur ces travaux préparatoires nous fournissons ci-dessous un compte-rendu provisoire.

Afin d'obtenir dans les solutions des relations plus simples et un nombre plus restreint d'ions, nous nous sommes servis dans nos expériences de la solution simple de l'acide chlorhydrique et de l'hydrate de sodium bien que nous ayons eu la conscience des défauts que comporte l'usage de telles solutions comme p. e. la forte influence des acides minéraux et l'influence défavorable des alcalis. D'un autre côté nous avons voulu éviter dans nos recherches préliminaires les

relations compliquées qui se présentent régulièrement dans les solutions nutritives composées quand on y ajoute des acides ou des alcalis afin d'obtenir un certain degré d'acidité ou d'alcalinité (p. e. des complications telles que le changement de la solubilité des divers éléments constitutifs, l'action réciproque des ions etc.). Du reste comme il ne s'agit ici que des essais provisoirs dont le but était de déterminer la latitude des valeurs pH entre lesquelles une certaine graine peut germer c. a. d. de déterminer quelles sont les concentrations limites du côté des acides et des alcalis et enfin quelle est la concentration optimale, nous croyons qu'il nous a été permis de simplifier de la dite façon les conditions des nos expériences.

Comme c'est connu de recherches de R u d o l f s (1922), la graine change la réaction de la solution dans laquelle elle se gonfle déjà dans la phase qui précède la germination elle même c. a. d. déjà à l'époque du gonflement lui même. C'est à cause de cela que nous avons accompli à côté des expériences sur la germination des graines aussi un nombre d'expériences sur le gonflement dont nous nous occuperons d'abord dans notre rapport. Après cela nous passerons à la thèse principale de nos recherches.

Changement de réaction du milieu à l'époque du gonflement de la semence.

D'abord nous avons lavé 10 gr. de graines trois fois dans l'eau potable et trois fois dans l'eau distillée. Ensuite nous avons mis la graine dans les flacons d'Erlenmeyer de 150 cm³ de volume et nous l'avons arrosée de 40 cm³ de liquide c. a. d. de la solution diluée de l'acide chlorhydrique dans l'eau distillée (valeur pH de 2,1 jusq' à 6,3) resp. de la solution de l'hydrate de sodium dans l'eau distillée (pH de 7,2 jusq' à 12,0). Comme témoin nous a servi une égale quantité de semence trempée dans l'eau distillée resp. dans l'eau potable. Nous avons bouché les flacons avec de l'ouate ou, dans la plupart de cas, avec une petite plaque en verre placée sur le goulot. Après avoir remué les liquides plusieurs fois en les secouant nous avons laissé la semence se gonfler dans les flacons pendant 24 heures à une température de chambre, vers 20° jusq' à 24° C (pendant ce temps la température n'a régulièrement varié plus de 1 jusq' à 2 degrés). Comme témoin nous avons mis en même temps une égale quantité de mêmes solutions dans les flacons où il n'y avait pas de semences et que nous avons bouchés de la même façon. Après les 24 heures nous avons séparé les liquides de semences, nous les avons filtrés, nous avons chauffé le liquides filtrés jusq' à l'ébullition et nous les avons laissés bouillir pendant une minute. Après nous avons de nouveau filtré le liquide, nous l'avons refroidi jusq' à la température de chambre et nous avons déterminé la valeur pH au moyen de la méthode colorimétrique avec le comparateur et les indicateurs de Hellige. En même temps nous avons déterminé aussi la valeur pH des liquides témoins.

Comme il ressort de la table I à III, chez toutes les espèces des semences employées par nous, après 24 heures, le changement de la valeur pH s'est montré dans tous les liquides. Dans les solutions de l'acide chlorhydrique la valeur pH s'est déplacée vers le point neutre passant même, dans quelques cas, p. e. chez *Papaver*, lentement du côté alcalique. Le plus petit changement de pH s'est montré chez les concentrations HCl plus fortes, p. e. chez *Spinacia* de pH 2,1 à pH 4,7. Il est évident que la quantité de matière sécrétée par la graine resp. l'absorption d'ions, n'a pas été, dans ces cas, suffisante pour neutraliser la forte acidité.

Table I, *Radix*

	HCl			eau distil.		eau potable		NaOH		
<i>Essai 1</i>										
pH au début	3.2	4.0	5.2	6.3	6.3	8.2	9.1	10.3	—	—
pH final	6.8	6.7	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.9	—	—
déplacement du pH	+3.6	+2.7	+1.6	+0.5	+0.5	—	-1.3	-2.3	-3.4	—
<i>Essai 2</i>										
pH au début	3.2	4.1	—	6.3	6.3	7.1	7.2	8.0	—	—
pH final	6.6	6.6	—	6.6	6.6	6.8	6.6	6.6	—	—
déplacement du pH	+3.4	+2.5	—	+0.3	-0.3	-0.3	-0.6	-1.4	—	—
<i>Essai 3</i>										
pH au début	3.2	—	5.3	—	6.3	7.1	—	8.8	—	11.0
pH final	7.5	—	7.0	—	7.6	7.9	—	7.2	—	7.2
déplacement du pH	+4.3	—	+1.7	—	+1.3	+0.8	—	-1.6	—	-3.8
<i>Essai 4</i>										
pH au début	3.2	—	5.3	—	6.3	7.1	—	9.4	—	10.8
pH final	7.1	—	6.9	—	7.1	7.8	—	7.1	—	7.1
déplacement du pH	+3.9	—	+1.6	—	+0.8	+0.7	—	-2.3	—	-3.7

Les solutions de NaOH montrent non seulement dans les flacons avec les graines, mais aussi dans les flacons témoins la baisse de valeurs pH vers le point neutre, d'où il s'ensuit que cette neutralisation est due en partie à l'absorption du gaz carbonique de l'air. D'autre part, dans le liquide avec la semence, le gaz carbonique dégagé par la respiration de la semence peut neutraliser une partie d'acide chlorhydrique. Tout de même chez *Raphanus* et *Spinacia*, comme le montre notre table IV et V, la baisse pH est plus marquée dans les solutions où la graine est trempée que dans les solutions témoins sans graines. Donc, cette différence est due, en tout cas, à

Table II, *Pavot blanc*

	HCl		eau distil.	eau potable	NaOH	
<i>Essai 1</i>						
pH au début	3.2	5.3	6.3	7.1	9.4	10.8
pH final	8.9	8.9	8.9	8.7	8.7	8.7
déplacement du pH	+5.7	+3.6	+2.6	+1.6	-0.7	-2.1
<i>Essai 2</i>						
pH au début	3.2	5.3	6.3	7.1	9.4	10.8
pH final	8.8	8.9	8.8	8.6	8.9	8.9
déplacement du pH	+5.6	+3.5	+2.5	+1.5	-0.5	-1.9

l'influence immédiate de la semence, soit à la sécrétion de certaines matières (potassium, calcium, magnésium et phosphates), soit à l'absorption sélective des ions.

En tout cas, le résultat définitif du gonflement de la semence pendant 24 heures dans les solutions d'une acidité resp. d'une alcalinité différentes, dans les limites de la grande latitude, en commençant par pH 3,2 pour HCl jusqu'à pH 11,0 pour NaOH, est que la valeur pH de toutes les solutions s'est déplacée vers le point

Table III, *Épinard*

	HCl		eau distil.	eau potable	NaOH			
<i>Essai 1</i>								
pH au début	—	3.2	5.3	—	7.1	9.3	10.8	—
pH final	—	6.2	6.6	—	7.4	—	6.7	6.3
déplacement du pH	—	+3.0	+1.3	—	+0.3	—	-2.6	-4.5
<i>Essai 2</i>								
pH au début	—	3.2	5.4	6.3	7.1	—	9.6	10.8
pH final	—	6.3	6.6	6.6	8.3	—	6.6	6.9
déplacement du pH	—	+3.1	+1.2	+0.3	+1.2	—	-3.0	-3.9
<i>Essai 3</i>								
pH au début	2.1	3.2	5.3	6.3	—	8.0	—	11.0
pH final	4.7	6.5	6.6	6.8	—	7.0	—	7.0
déplacement du pH	+2.6	+3.3	+1.3	+0.5	—	1.0	—	-4.0

Table IV, Radis

	essai no. 1			essai no. 2		essai no. 3	
pH au début	8.2	9.1	10.3	7.2	8.0	8.8	11.0
pH final du témoin	7.5	8.9	9.2	7.2	7.5	7.0	7.8
pH final après le gon- flement des graines	6.9	6.8	6.9	6.6	6.6	7.2	7.2
différence entre les deux pH finals	+0.6	+2.1	+2.3	+0.6	+0.9	-0.2	+0.6

neutre de sorte que tous les liquides ont atteint définitivement une valeur pH approximativement égale.

Ces résultats concordent avec les recherches de Rudolf s avec les graines du maïs. Rudolf s a observé le changement de la valeur pH dans les solutions des acides minéraux et organiques sans »buffers« vers le point neutre. Dahm a observé la même chose chez les albumens du maïs et il remarque surtout que le changement de la valeur pH est très fort chez les ions OH p. e. chez Na OH de pH 10,8 vers pH 7,0. Dahm croit lui aussi qu'il ne s'agit ici, en partie, que d'une neutralisation des alcalis par le gaz carbonique provenant de la respiration de la graine, mais il ne rend pas le CO² le seul responsable de ce fait parce que le carbonate respectif dégage des ions OH en abondance.

Germination des graines dans les liquides de différentes concentrations en ions H⁺.

Nous avons désinfecté la graine du radis, du pavot blanc, de l'épinard et de la carotte pendant 5 minutes dans la solution 1 pour

Table V, Épinard

	essai no. 1		essai no. 2		essai no. 3		
pH au début	9.3	10.8	9.6	10.8	8.0	11.0	12.0
pH final du témoin	7.0	7.4	7.0	7.2	7.0	8.0	11.0
pH final après le gon- flement des graines	6.7	6.3	6.6	6.9	7.0	7.0	8.4
différence entre les deux pH finals	+0.3	+1.1	+0.4	+0.3	—	+1.0	+2.6

mille du bichlorure de mercure, après nous l'avons lavée pendant 5 minutes dans l'eau distillée stérilisée, trois fois changée, ensuite nous l'avons mise dans les petites boîtes de Petri du diamètre de 5 cm où se trouvaient les solutions HCl d'une certaine concentration (pH 2,0 à 6,3) respectivement les solutions NaOH (pH 8,2 à 12,0) et, pour contrôle, l'eau distillée (pH 6,3) et l'eau potable (pH 7,1) elles-aussi. Chaque petite boîte a été remplie de 50 cm³ de liquide, tandis que la quantité des graines a varié d'après l'espèce de la graine de 1,0 à 2,5 gr. Nous avons bien remué la semence et ensuite nous avons mis les boîtes dans l'étuve non chauffée où la graine a gonflé pendant 6 heures à une température de chambre.

Après nous avons mis la semence dans des boîtes de Petri un peu plus grandes au diamètre de 11 cm, dans chaque boîte cent grains, et dans chaque boîte au diamètre de 9 cm cinquante grains, sur le papier double à filtrer. Avant d'avoir semé la semence dans les boîtes, nous les avons stérilisées une demi heure en même temps que le papier à filtrer dans l'autoclave chez 130° C et, après la stérilisation, nous avons mouillé le papier à filtrer avec 4 cm³ des mêmes liquides dans lesquels la semence s'est gonflée d'abord. Ensuite nous avons placé les boîtes avec la semence dans une étuve non chauffée. Tous les jours nous avons noté le nombre des semences germées en considérant comme déjà germée toute semence chez laquelle la radicule venait de percer le tégument.

Pour éviter l'influence possible des changements chimiques resp. de l'absorption dans le papier à filtrer, nous nous sommes servis plus tard, dans une série d'expériences, d'appareils pour la germination avec un gril en verre. Nos appareils ne représentent en réalité qu'un système un peu modifié des appareils pour la germination de Buchinger (A. B u c h i n g e r 1928). Dans les cuvettes photographiques en verre de 9×12 cm on place un petit pont en verre sur lequel sont placés transversalement des bâtonnets en verre parallèles. On place les semences sur les bâtonnets là où ils se touchent. Dans les cuvettes on verse tant de liquide que son niveau touche justement les semences (dans nos essais vers 85 cm³) et on couvre ensuite les cuvettes d'une plaque en verre. Nos appareils ont cet avantage qu'on n'est pas obligé de se servir de substratums qui pourraient influencer les liquides et la semence, qu'ils se nettoient facilement et que les liquides se changent facilement, parce que le petit pont avec le gril en verre et la semence peut facilement être retiré de la cuvette. Puisque de tels appareils ne peuvent pas être stérilisés dans l'autoclave, nous les avons désinfectés avant chaque expérience avec la vapeur du formol pendant 4 heures, après quoi nous avons rempli les cuvettes avec des liquides, les ayant d'abord aérés un court espace de temps.

Puisque le contrôle pH a montré que la concentration en ions H⁺ dans les liquides se change durant la germination, nous étions obligés de changer les liquides de temps en temps et les remplacer par de nouveaux, travail qui est considérablement plus facile

à accomplir dans nos germoirs en verre que dans les boîtes de Petri. En outre, nos germoirs peuvent contenir beaucoup plus de liquide en relation avec la quantité de la semence que les boîtes, et c'est à cause de cela que la valeur pH dans nos germoirs ne se change pas si vite et d'une façon si marquée sous l'influence de la semence comme dans les boîtes. Dans nos expériences avec le radis nous avons changé les liquides trois à quatre fois en huit jours, dans nos expériences avec le pavot deux à trois fois en six jours, et dans celles avec l'épinard et la carotte tous les jours.

Table VI, *Radis**

Essai no		acide chlorhydrique					eau distill.	eau potable	hydrate de sodium			
		3,2	4,0 4,8	5,2 5,8	6,8	6,8			7,1	8,2 8,4	9,1 9,6	10,0 10,3
1	faculté germinative p. c.	67,0	78,3	76,0	69,3	73,7	78,3	73,0	68,7	75,7	—	
	énergie germinative p. c.	66,7	76,7	75,7	69,3	71,6	77,7	73,0	68,7	75,7	—	
2	faculté germinative p. c.	79,7	82,7	77,7	78,7	75,7	78,0	70,7	72,7	76,3	—	
	énergie germinative p. c.	71,7	77,7	69,7	72,7	71,0	74,3	67,7	69,3	72,7	—	
3	faculté germinative p. c.	71,5	76,0	75,5	85,5	91,0	82,0	80,5	79,5	82,5	—	
	énergie germinative p. c.	67,0	70,0	69,5	73,0	76,0	68,5	69,5	73,5	76,0	—	
4	faculté germinative p. c.	77,3	73,0	66,0	73,0	65,0	68,7	73,0	74,3	70,7	—	
	énergie germinative p. c.	76,0	70,0	64,7	72,3	60,7	64,3	70,0	70,3	68,3	—	
5	faculté germinative p. c.	81,0	—	76,5	—	76,0	79,5	—	73,5	—	80,0	
	énergie germinative p. c.	76,0	—	74,5	—	74,5	76,0	—	72,0	—	75,0	
6	faculté germinative p. c.	78,5	—	73,5	—	76,0	73,5	—	74,5	—	73,5	
	énergie germinative p. c.	73,5	—	67,0	—	74,5	67,5	—	72,5	—	71,5	
7	faculté germinative p. c.	81,5	—	86,0	—	78,5	78,5	—	83,0	—	80,5	
	énergie germinative p. c.	76,0	—	80,5	—	74,5	77,0	—	77,5	—	76,5	
8	faculté germinative p. c.	84,0	—	83,5	—	78,5	83,0	—	82,0	—	79,0	
	énergie germinative p. c.	82,5	—	80,0	—	78,0	81,0	—	80,0	—	78,5	

Les résultats de ces expériences sont représentés dans les tables VI à IX.

Raphanus sativus radicola. La germination de la semence se produit entre les larges limites de pH 3,2 (solution HCl) jusqu'à pH 11,0 (solution NaOH) sans obstacle quelconque et, dans le pourcentage de la germination et dans l'énergie de la germination, aucune différence essentielle ne peut être constatée en comparaison avec le contrôle dans l'eau distillée ou dans l'eau potable. Les différences possibles ne se meuvent qu'entre les limites des fautes des expériences. La même chose vaut pour les expériences avec les germoirs

* Les essais no. 6, 7 et 8 ont été exécutés dans les germoirs système Buchinger.

en verre où la concentration en ions H⁺ a été, à cause d'une quantité considérablement plus grande et du changement plus fréquent des liquides, beaucoup moins sujette aux changements.

Papaver somniferum. La faculté germinative de la semence et l'énergie de la germination ne montrent dans les limites de pH 3,8 à pH 12,0 aucune différence en comparaison avec le contrôle. Ce n'est que chez pH 3,0 à 3,2 dans les expériences no. 4 et 6 qu'on remarque une baisse remarquable de la faculté germinative et de l'énergie de la germination, tandis que dans les expériences no. 1 à 3 cela ne se remarque pas. Cependant nous devons remarquer que les expériences no. 4 à 6 sont exécutées dans nos germoirs en verre où la

Table VII, *Pavot blanc**

Essai	no.	acide chlorhydrique					hydrate de sodium		
		3 0 - 3 2	3 8	5 2 - 5 4	6 3	7 1	8 8 - 9 3	11 0	12 0
1	faculté germinative p. c.	99 0	—	98 0	100 0	97 3	95 7	99 3	—
	énergie germinative p. c.	98 7	—	98 0	100 0	96 3	93 0	99 3	—
2	faculté germinative p. c.	97 3	—	98 7	97 7	96 7	98 7	98 0	—
	énergie germinative p. c.	96 3	—	97 0	96 7	95 7	97 4	97 7	—
3	faculté germinative p. c.	98 7	—	97 7	98 3	97 0	96 3	96 3	—
	énergie germinative p. c.	98 3	—	96 3	98 0	96 0	95 7	95 3	—
4	faculté germinative p. c.	31 5	—	97 5	97 0	95 0	97 5	98 0	—
	énergie germinative p. c.	31 5	—	97 5	97 0	93 0	96 0	96 5	—
5	faculté germinative p. c.	—	97 5	95 0	97 5	99 5	99 0	—	98 0
	énergie germinative p. c.	—	97 0	95 0	91 5	96 5	95 0	—	91 5
6	faculté germinative p. c.	15 5	—	97 5	95 5	98 0	98 5	95 5	—
	énergie germinative p. c.	15 5	—	95 0	94 0	97 0	98 5	93 0	—

valeur pH ne s'est pas beaucoup changée sous l'influence des semences, surtout chez les concentrations faibles en ions H⁺, p. e. chez l'acide chlorhydrique de pH 3,0 le contrôle n'a montré dans l'espace de 24 heures presq' aucun changement de pH. Au contraire, les expériences no. 1 à 3 sont accomplies dans les boîtes de Petri sur le papier à filtrer où la valeur pH, sous l'influence d'une quantité de liquide beaucoup plus petite, se change vite et d'une façon considérable. Ce qui prouve l'avantage incontestable de nos germoirs pour de telles expériences. Tandis que chez pH 3,8 nous constatons une faculté germinative déjà tout à fait normale et l'énergie de la germination optimale, les germes dans l'acide chlorhydrique de pH 3,0 ne se développent plus. La radicule atteint la longueur de 1 à 2 mm, se courbe, devient brune et périt finalement.

* Les essais no. 4, 5, 6 ont été exécutés dans les germoirs système Buchinger.

Table VIII, *Épinard**)

Essai no.		acide chlorhydrique					eau distil.	eau potable	hydrate de sodium	
		2 ⁰ - 2 ¹	3 ⁰ - 3 ²	3·8	4·2	4·8	6·3	7·1	9·1- 9·3	12·0
1	faculté germinative p. c.	20·0	—	71·0	—	—	53·0	49·0	49·0	53·0
	énergie germinative p. c.	3·0	—	34·0	—	—	27·0	26·0	17·0	21·0
2	faculté germinative p. c.	29·0	—	76·0	—	—	56·0	47·0	58·0	67·0
	énergie germinative p. c.	—	—	20·0	—	—	12·0	8·0	9·0	16·0
3	faculté germinative p. c.	0·0	53·0	—	43·0	58·0	67·0	—	—	—
	énergie germinative p. c.	—	10·0	—	6·0	11·0	13·0	—	—	—
4	faculté germinative p. c.	0·0	42·7	63·3	—	78·7	60·7	—	—	—
	énergie germinative p. c.	—	15·3	29·3	—	47·3	34·7	—	—	—

Spinacia oleracea. La semence germe d'une façon très inégale, la faculté germinative de la semence disponible a été très mauvaise (28 pour cent, resp. après la désinfection avec le bichlorure de mercure 1 pour mille, la faculté germinative s'est haussée vers 53 pour cent ce qui est aussi au dessous de la faculté germinative

Table IX, *Carotte***)

Essai no.		acide chlorhydrique		eau distil.	eau potable	hydrate de sodium	
		2·0	3·8	6·3	7·1	8·7	12·0
1	faculté germinative p. c.	4·0	43·0	41·0	46·0	42·0	46·0
	énergie germinative p. c.	1·0	30·0	29·0	30·0	27·0	21·0
2	faculté germinative p. c.	2·0	42·0	44·5	43·5	44·0	35·0
	énergie germinative p. c.	2·0	34·0	36·5	31·5	35·5	24·5
3	faculté germinative p. c.	0·0	50·5	57·0	48·0	45·0	43·5
	énergie germinative p. c.	0·0	41·0	52·0	39·0	31·5	27·0

*) Tous les essais ont été exécutés dans les germoirs système Buchinger.

**) Tous les essais ont été exécutés dans les germoirs système Buchinger.

moyenne de la bonne semence d'épinard). De nos expériences nous pouvons tirer la conclusion que chez HCl de la valeur pH au dessous de 3,0 la germination normale n'est plus possible et même chez pH 3,0 à 3,2 s'est déjà montrée la dépression de la faculté germinative. Chez pH 2,0 dans les expériences no. 3 et 4, nous avons constaté un phénomène semblable au phénomène que nous avons remarqué chez le pavot: la radicule perce le tégument de la semence, atteint la longueur d'environ 2 mm, mais elle ne pousse plus et la longueur reste la même pendant huit jours et plus.

Daucus Carota. La faculté germinative de la semence employée avec 45,5 pour cent est aussi au dessous de la moyenne de la bonne semence. Dans l'acide chlorhydrique de pH 2,0 la germination est presque impossible, tandis que chez pH 3,8 la faculté germinative et l'énergie de la germination sont déjà normales. Dans la solution 0,01 n de l'hydrate de sodium (pH 12,0) l'énergie de la germination montre une dépression assez forte qui, au point de vue de la faculté germinative, ne se prononce pas d'une façon si remarquable. Malgré la faible faculté germinative des semences nous n'avons pu constater nulle part ni l'amélioration de la faculté germinative ni l'amélioration de l'énergie de la germination, même pas chez les concentrations optimales des liquides, come on pourrait l'attendre y égard des expériences que quelques auteurs plus anciens ont acquises concernant la stimulation des graines avec les acides resp. avec les alcalis.

De nos expériences décrites ci-dessus ils s'ensuit que la semence des dites espèces de plantes peut facilement germer dans des larges limites de pH. C'est surtout la semence avec un haut pourcentage de la faculté germinative qui se montre, dans une grande mesure, indépendante de la réaction du milieu. Dans ces faits les résultats de nos expériences s'accordent avec les expériences des autres auteurs, pour ne mentionner que les expériences de O. Arrhenius (1922) avec le radis, de R. M. Hixon (1920) avec la carotte et de Salter et de Mc Ilvaine (1920) avec d'autres différentes plantes cultivées.

Changement de la réaction du milieu durant la germination de la semence

Comme nous avons déjà mentionné ci-dessus, nous avons changé dans nos expériences pendant la germination plusieurs fois les liquides afin d'avoir dans les solutions toujours la valeur pH approximativement constante pour que l'influence de la concentration en ions H⁺ sur la germination des semences se montrât d'une façon claire et indubitable. Le contrôle pH dans les liquides a montré, de même que dans les expériences décrites ci-dessus avec le gonflement des semences, que la valeur pH se déplace vers le point neutre pendant la germination, seulement l'intervalle de ce déplacement dans toutes les solutions a été relativement plus petit pendant les 24 heures de la germination que pendant les 24 heures

Table X, *Radis**

	HCl		eau distillée		eau potable		Na OH	La réaction a été vérifiée
<i>Essai no. 8</i>								
pH initial	3.2	5.3	6.3	7.1	9.3	11.0		3 ^{me} jour (après 36 heures)
pH final	3.0	6.5	6.8	7.7	6.8	7.5		
déplacement du pH	-0.2	+1.2	+0.5	+0.6	-2.5	-3.5		
<i>Essai no. 9</i>								
pH initial	3.2	5.3	6.3	7.1	9.3	11.0		4 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	3.0	6.3	7.0	7.8	7.8	8.8		
déplacement du pH	-0.2	+1.0	+0.7	+0.7	-1.5	-2.2		

du gonflement. Dans le premier cas, le déplacement de la valeur pH dans les solutions de l'acide chlorhydrique d'une concentration forte (pH 2,1 à 3,2) a été très insignifiant, pratiquement parlant presque nul, tandis que la valeur pH chez HCl d'une concentration moins forte (pH 5,3) s'est déplacée d'une façon plus marquée vers le point neutre (voir table X à XIII). C'est en cela que les résultats de mes expériences diffèrent des expériences d'Aichele qui a p. c. constaté un déplacement de 2,85 resp. de 3,6 pendant la germination du blé dans les solutions sans »buffers« d'acide chlorhydrique avec la valeur pH 1,95 resp. 3,2. Cependant on doit prendre en considération qu'Aichele s'était servi de quantités de liquides relativement petites sur 100 graines de la semence du blé (5 cm³ dans les boîtes de Petri au diamètre de 9 cm), par suite de quoi l'action de la semence sur le changement de la valeur pH devait se prononcer d'une façon considérablement plus intense. Au contraire, comme nous avons mentionné plus haut, dans nos expériences avec le

Table XI, *Pavot blanc***

	HCl		eau distillée		eau potable		Na OH	La réaction a été vérifiée
<i>Essai no. 4</i>								
pH initial	3.0	5.3	6.3	7.1	9.3	11.0		4 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	3.0	6.5	6.5	7.4	7.0	7.3		
déplacement du pH	0.0	+1.2	+0.2	+0.3	-2.3	-3.7		
<i>Essai no. 5</i>								
pH initial	3.8	5.4	6.3	7.1	9.3	12.0		4 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	4.0	6.6	6.4	7.2	7.0	10.8		
déplacement du pH	+0.2	+1.2	+0.1	+0.1	-2.3	-1.1		
<i>Essai no. 6</i>								
pH initial	3.0	5.3	6.3	7.1	8.8	11.0		5 ^{me} jour (après 48 heures)
pH final	3.2	6.5	6.4	7.2	7.0	7.3		
déplacement du pH	+0.2	+1.2	+0.1	+0.1	-1.8	-3.7		

* voir table VI.

** voir table VII.

Table XII, *Épinard**)

	HCl		eau distillée	eau potable	NaOH		La réaction a été vérifiée
<i>Essai no. 1</i>							
pH initial	2.1	3.8	6.3	7.1	8.9	12.0	4 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	2.1	3.8	6.4	7.4	8.7	11.0	
déplacement du pH	0.0	0.0	+0.1	+0.3	-0.2	-1.0	
<i>Essai no. 2</i>							
pH initial	2.1	3.8	6.3	7.1	9.1	12.0	5 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	2.0	3.8	6.9	7.3	8.6	11.0	
déplacement du pH	-0.1	0.0	+0.6	+0.2	-0.5	-1.0	

gonflement de la semence, les solutions HCl d'une forte concentration (d'une petite valeur pH) ont montré un déplacement de la valeur pH vers le point neutre plus marqué, tandis que les solutions moins acides (avec une valeur pH plus grande) ont montré un déplacement pH moins marqué (voir table I à III). La réaction de l'eau distillée faiblement acide (pH 6,3) ne s'est déplacée pendant la germination que d'une façon très insignifiante vers le point neutre, mais, pour la plupart, elle n'a pas atteint ce point, tandis que l'eau potable de pH 7,1 est devenue régulièrement encore un peu plus alcaline. Dans les solutions Na OH la valeur pH s'est déplacée vers le point neutre en ce sens que l'intervalle du déplacement dans les solutions plus alcalines a été plus grand, tandis que dans les solutions moins alcalines il a été plus petit. Pour ces solutions vaut, naturellement, quant à l'absorption du gaz carbonique de l'air resp. de la respiration de la semence, la même chose que ce que nous avons dit ci-dessus des expériences avec du gonflement des semences.

Donc, dans toutes nos expériences s'est montrée la tendance des valeurs pH de se déplacer pendant la germination vers le point

Table XIII, *Carotte***)

	HCl		eau distillée	eau potable	NaOH		La réaction a été vérifiée
<i>Essai no. 2</i>							
pH initial	2.0	3.8	6.3	7.1	9.1	12.0	7 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	2.0	3.8	6.5	7.5	7.0	11.0	
déplacement du pH	0.0	0.0	+0.2	+0.4	-2.1	-1.0	
<i>Essai no. 3</i>							
pH initial	2.0	3.7	6.3	7.1	9.4	12.0	7 ^{me} jour (après 24 heures)
pH final	2.0	3.7	6.5	7.5	7.2	11.0	
déplacement du pH	0.0	0.0	+0.2	+0.4	-2.2	-1.0	

*) voir table VIII.

**) voir table IX.

neutre. La valeur définitive pH dans les différents liquides est dans tous ces cas inégale, tandis que l'intervalle du déplacement lui-même dépend, à ce qu'il semble, de la concentration des liquides initiale. L'eau distillée et l'eau potable ont atteint, dans toutes nos expériences, et chez toutes les espèces des graines, une réaction alcaline faible. Le déplacement de la valeur pH relativement le plus petit, nous l'avons observé dans toutes nos expériences avec l'épinard.

Donc les résultats des nos expériences confirment les observations des savants qui se sont occupés avant nous de pareilles recherches, et qui ont démontré eux aussi que la réaction se déplace dans le sens du point neutre, ainsi p. e. Promsy (1912) pour les courges et les tomates, R. M. Salter et Mc Ilvaine (1920) pour le blé, Hixon (1920) pour les petits pois, le maïs, le blé et la carotte, Aichele (1931) pour les céréales.

Bibliographie

Aichele, F., Keimung von Gramineensamen in Medien versch. Wasserstoffionkonzentration u. die damit verbundenen Reaktionsveränderungen. Bot. Archiv, 33, 1931, 406—500.

Arrhenius, O., Absorption of nutrients and plant growth in relation to hydrogen-ion concentration. Jour. Gen. Physiol., 5, 1922, 81, cité d'après Bot. Cbl. N. F., 2, 1923, 139.

Bokorny, T., Einwirkung einiger basischer Stoffe auf Keimpflanzen. Zentralbl. f. Bakter., Abt. II., 32, 1912, 587—605.

Buchinger, A., Die Verwendungsmöglichkeit des Keimapparates mit Glasstäben. Fortschr. d. Landw., 3, 1928, 305—308.

Claudel et Crochetelle, Influence de quelques substances employées comme engrais sur la germination. Annales Agron., 22, 1896, 131.

Dahm, P., Untersuchungen über die Abhängigkeit der Endospermentleerung bei Zea Mays von versch. Salzen. Pringsh. Jahrb., 63, 1924, 273—320, cité d'après Aichele, F., Keimung von Gramineensamen.

Fischer A., Wasserstoff- und Hydroxylionen als Keimungsreize. Ber. d. deutsch. bot. Ges., 25, 1907, 108—122.

Hixon, R. M., The effect of the reaction of a nutritive solution on germination and the first stages of plant growth. Meddel. f. K. Vet.-Akad., 4, 1920, 1—28.

Van Laer, H. et Lombaers, R., Recherches sur l'influence des variations de l'acidité libre dans la germination de l'orge. Compt. rend. Soc. Biol., 85, 1921, 1115.

Lemmermann, O. und Fresenius, L., Untersuchungen über die Azidität der Böden und ihre Wirkung auf die keimende Pflanze. Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Düngung A., 1, 1922, 12—31.

Promsy, G., De l'influence de l'acidité sur la germination. C. R. Acad. Sci. Paris, 152, 1911, 450.

Rudolfs, W., Effect of seeds upon hydrogen-ion concentration of solutions. Bot. Gazette, 74, 1922, 215—220, cité d'après Bot. Cbl. N. F. 3, 1924, 43.

Rudolfs W., Effect of seeds upon hydrogen-ion concentration equilibrium in solution. Jour. Agric. Res., 30, 1925, 1021—1026, cité d'après Bot. Cbl. N. F. 6, 1926, 464.

Salter, R. M. and McIlvaine, T. C., Effect of reaction of solution on germination of seeds and on growth of seedlings. Jour. Agr. Res., 19, 1920, 73—95.

Sigmund, W., Über die Einwirkung chemischer Agenzien auf die Keimung. Landw. Versuchsstationen, 47, 1896, 1—58, cité d'après Bot. Cbl. 66, 1896, 310.