QK
658
.C6

Coupin

"
L'absorption et le
rejet de l'eau
par les graines

58.11
C83

SÉRIE A n° 258
N° D'ORDRE
893

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M. HENRI COUPIN

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES ET ÈS SCIENCES PHYSIQUES,
PRÉPARATEUR D'HISTOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR L'ABSORPTION ET LE REJET DE L'EAU
PAR LES GRAINES.

2^o THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le   juin 1896, devant la Commission d'examen.

MM. BONNIER. .... *Président.*
      GIARD..... } *Examineurs.*
      VELAIN..... }

PARIS

MASSON ET C^{IE}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

420, boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1896

SÉRIE A N° 258

N° D'ORDRE

893

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M. HENRI COUPIN

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES ET ÈS SCIENCES PHYSIQUES,
PRÉPARATEUR D'HISTOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR L'ABSORPTION ET LE REJET DE L'EAU
PAR LES GRAINES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le   juin 1896, devant la Commission d'examen.

MM. BONNIER. .... *Président.*

GIARD. ....
VELAIN. .... } *Examineurs.*

PARIS

MASSON ET C^{IE}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1896

. C6

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen.....	DARBOUX. Géométrie supérieure.
	DE LACAZE-DUTHIERS. Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.
	HERMITE..... Algèbre supérieure.
	TROOST..... Chimie.
	FRIEDEL..... Chimie organique.
	TISSERAND..... Astronomie.
	LIPPMANN..... Physique.
	HAUTEFEUILLE..... Minéralogie.
	BOUTY..... Physique.
	APPELL..... Mécanique rationnelle.
	DUCLAUX..... Chimie biologique.
	BOUSSINESQ..... Mécanique et physique expérimentale.
Professeurs.....	PICARD..... Calcul différentiel et calcul intégral.
	POINCARÉ..... Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	Y. DELAGE..... Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.
	G. BONNIER..... Botanique.
	DASTRE..... Physiologie.
	DITTE..... Chimie.
	MUNIER-CHALMAS..... Géologie.
	GIARD..... Zoologie. Évolution des êtres organisés.
	WOLF..... Astronomie.
	CHATIN..... Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.
	JOLY..... Chimie.
Professeurs adjoints....	PELLAT..... Physique.
	KOENIGS..... Cinématique.
	PAINLEVÉ..... Calcul différentiel et calcul intégral.
Secrétaire.....	FOUSSEREAU.

A MM.

GASTON BONNIER

PROFESSEUR DE BOTANIQUE A LA SORBONNE

ET

NICOLAS GREHANT

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE AU MUSÉUM
D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS

Hommage respectueux et reconnaissant.

A MON PÈRE

ET

A MA MÈRE

RECHERCHES

SUR

L'ABSORPTION ET LE REJET DE L'EAU PAR LES GRAINES

Par M. Henri COUPIN

Ce travail, commencé au Laboratoire de botanique de la Sorbonne, a été poursuivi simultanément à ce laboratoire et à celui de Physiologie générale du Muséum d'histoire naturelle de Paris. J'adresse à mes deux excellents maîtres, MM. Gaston Bonnier et Nestor Gréhant, le témoignage de toute ma gratitude pour l'hospitalité et les conseils qu'ils ont bien voulu me donner.

INTRODUCTION

Les différentes questions qui se posent relativement aux rapports de l'eau et des graines, soit au moment de la germination, soit au moment de la maturation de ces dernières, ont été abordées par un assez grand nombre de physiologistes, mais presque toujours, d'une manière accessoire, au cours d'un travail sur une autre question. Il résulte de cet état de choses que les notions acquises sur ce sujet sont décousues et très souvent contradictoires. Dans ce mémoire, nous avons repris l'étude d'un certain nombre de problèmes controversés et nous en avons abordé de nouveaux. Lais-
sant de côté les points que nous avons reconnus exacts, nous

ne nous sommes appesanti que sur les questions nouvelles ou litigieuses.

Ce travail est divisé en trois parties :

Dans la première, nous étudions le gonflement proprement dit des graines et notamment le pouvoir absorbant.

Dans la seconde, nous traitons de l'accroissement de volume des graines comparé au volume de l'eau qui y pénètre.

La troisième a pour objet la sortie de l'eau au moment de la maturation des graines.

Ajoutons que, dans les deux premières parties, nous ne nous sommes occupé que des phénomènes *physiques* qui accompagnent le gonflement et non des phénomènes physiologiques et chimiques.

PREMIÈRE PARTIE

SUR L'ABSORPTION DE L'EAU ET DE LA VAPEUR D'EAU PAR LES GRAINES

CHAPITRE PREMIER

PHÉNOMÈNES MORPHOLOGIQUES DU GONFLEMENT.

Au début de ce travail, il est indispensable de fixer nettement les phénomènes morphologiques qui se passent pendant le gonflement ; ces notions nous seront très utiles plus tard.

Comme chacun sait, le phénomène, commun à toutes les graines plongées dans l'eau, se manifeste par une augmentation de volume. Mais il y a deux cas à considérer. Une augmentation de volume pure et simple ne se manifeste que chez les graines à tégument dur ainsi que chez les caryopses et les akènes. Mais chez les graines à tégument mince, le phénomène est précédé par un autre, celui du *plissement*,

qui demande à être décrit avec soin. Prenons pour exemple le cas du Lupin blanc ; chez les autres graines, les choses se passent à peu près de même.

PLISSEMENT DE LA GRAINE DU LUPIN BLANC. — Dans les graines du Lupin blanc (fig. 1. ¹), le tégument est relativement mince, d'une consistance papyracée et n'adhère nullement aux cotylédons. Avec un scalpel ou seulement des pinces, on peut l'enlever sans blesser l'embryon. En coupant une

Fig. 1. — Plissement de la graine du Lupin blanc (schémas).

1. Graine sèche ; *m*, micropyle ; *H*, hile.
2. Coupe de la graine sèche. *C*, cotylédons ; *r*, radicule ; *t*, tégument.
3. Graine plongée dans l'eau depuis vingt minutes. *P*, plis.
4. La même vue par la tranche. *P*, plis.
5. Graine plongée dans l'eau depuis trois quarts d'heure.
6. Coupe d'une graine plongée dans l'eau depuis vingt minutes. *r*, radicule ; *t*, tégument ; *C*, cotylédons ; *E*, espace aërifère.
7. Coupe d'une graine plongée dans l'eau depuis trois quarts d'heure. *t*, tégument ; *E*, espace aërifère ; *C*, cotylédons.
8. Coupe d'une graine au moment où le plissement est maximum. *t*, tégument ; *E*, espace aërifère ; *C*, cotylédons (la partie foncée des cotylédons est humide).

graine en long (fig. 1. ²), on voit que les cotylédons entre eux, ainsi que l'embryon et le tégument, sont étroitement appliqués l'un sur l'autre de manière à former une masse compacte qui ne laisse dans leurs interstices qu'un espace extrêmement faible, rempli de gaz, gaz dont il est impossible de se rendre compte à l'œil. Ce n'est qu'en ouvrant des graines sous l'eau qu'on le voit se dégager sous forme de bulles. Mais cette quantité est toujours très faible.

Plongée dans l'eau, la graine reste telle quelle environ pendant un quart d'heure. Tantôt plus tôt, tantôt plus tard, suivant les graines observées, on voit le tégument se plisser sur une longueur assez grande, sur des points variables, mais presque toujours le long du bord mince dont le plan passe par le milieu des cotylédons. Ce plissement ressemble tout à fait à celui d'une membrane élastique, étendue sur un objet dur et que l'on pincerait. Ce plissement s'étend rapidement en longueur, mais toujours le long du même bord. En même temps, par l'un de ses bords, le plissement rayonne vers le centre des faces aplaties (fig. 1.³). Le nombre de ces plissements latéraux est variable ; il augmente d'ailleurs rapidement ; à cet état, on dirait tout à fait un ballon de baudruche, à enveloppe mince, mais rigide et inégalement épaisse, ballon dans lequel on aurait produit une aspiration assez faible.

Tandis que le plissement du bord mince s'accroît de plus en plus, les plissements latéraux se rejoignent en couvrant la face correspondante (fig. 1.⁵) d'une mosaïque irrégulière. Mais toujours la crête de ces élevures est d'une netteté remarquable, tandis que leur base se continue insensiblement avec le reste du tégument. Enfin, le plissement marginal fait le tour complet de la graine en montrant des zigzags plus ou moins brisés.

A ce moment, c'est-à-dire une heure environ après l'immersion, le nombre des plissements n'augmente plus. Chacun d'eux se contente de devenir plus net, de plus en plus volumineux. Ensuite les collines s'étendent par leur base, comme si elles voulaient rejoindre leurs voisines. Les crêtes prennent alors un aspect arrondi et leur pente va insensiblement rejoindre la montée des collines voisines.

Les surfaces du tégument, comprises dans les mailles des plissements, sont d'abord très nettes, mais par suite de ces phénomènes, elles s'estompent de plus en plus et il devient impossible de dire où elles commencent et où elles finissent. Alors, tandis que les plis subsistent, le tégument devient

opalescent et laisse deviner l'embryon interne que l'on voit grossir lentement et qui refoule insensiblement les plissements jusqu'à les faire disparaître complètement. A ce moment le volume de la graine a à peu près doublé.

Or, si pendant que la graine est plissée, on la coupe dans n'importe quel sens, on voit d'une façon très nette, que les espaces compris en dessous des plissements sont remplis de gaz et non d'eau (fig. 1.⁶ et 7). A un stade plus avancé, quand les plissements se sont rejoints (fig. 1.⁸), le tégument forme une vaste cavité dans laquelle ballotte l'embryon, qui n'y touche que par un petit nombre de points; la

Fig. 2. — Graine de Lupin bleu, au moment du plissement maximum (coupe longitudinale). *t*, tégument; *C*, cotylédons; *E*, espace aërifère; *r*, radicule.

Fig. 3. — Schéma d'un tégument de Lupin plongé partiellement dans l'eau. *T*, tégument; *C*, cavité; *E*, eau.

quantité du gaz a manifestement augmenté. Le phénomène est encore plus net chez le Lupin bleu. Dans la graine plissée au maximum, le tégument ne touche plus à l'embryon que par la radicule (fig. 2).

Remarquons enfin que le plissement du tégument ne tient pas à la structure anatomique de ce dernier, mais à l'« architecture » de la graine. En effet, en faisant imbiber un tégument mince, séparé de l'embryon, il ne se plisse pas.

En ouvrant une graine plissée au moment où l'embryon commence à grossir, on voit que la face interne du tégument est devenue légèrement humide et collante au doigt, que les cotylédons se sont considérablement ramollis, et que toute leur moitié externe est devenue plus foncée par suite de l'imbibition de l'eau. Ce qui frappe le plus, c'est que malgré cette absorption de l'eau, les espaces sont rem-

plis de gaz : l'eau a passé directement par imbibition des points où le tégument touchait à l'embryon, à ce dernier. Il est d'ailleurs facile de démontrer que l'eau est incapable de se déverser d'elle-même dans les espaces du plissement. Pour cela prenons une graine sèche de Lupin et, par une entaille, faisons sortir l'embryon. Nous obtenons ainsi un petit vase creux (fig. 3) formé par le tégument. Plongeons-le dans l'eau de manière que l'ouverture reste à l'air : le tégument s'imbibe, mais l'eau ne pénètre pas dans la cavité. Pour obtenir ce résultat, il faut mettre dans la cavité une substance sèche extrêmement fine et tassée. Les choses marchent bien plus vite si, à cette substance inerte, on ajoute du glucose qui attire l'eau par osmose.

A mesure que l'embryon s'imbibe, il grossit, refoule le gaz des cavités et des plis. A la saturation, le tégument est tendu fortement.

Nous aurons plus tard à revenir sur les différents points de cette description. Elle nous montre cependant que *l'eau ne peut passer que par contact du tégument à l'embryon*. Elle nous fait aussi soupçonner la *raréfaction des gaz contenus entre les cotylédons et le tégument au début de l'imbibition*. Elle rend presque évidente la *production de gaz nouveaux quand le plissement devient considérable*. Ces notions deviendront plus claires par la suite du travail.

CHAPITRE II

DIMENSIONS DES GRAINES GONFLÉES.

L'augmentation de volume que présentent les graines en se gonflant porte-t-elle d'une façon égale sur toutes les dimensions ? Autrement dit, se dilatent-elles comme le ferait un corps homogène soumis à l'action d'un liquide qui l'imbibe ? Pour le savoir, j'ai mesuré très exactement des graines, d'abord à l'état sec, puis saturées d'eau. Voici quelques-uns des chiffres obtenus :

a) La graine de Lupin blanc est sensiblement carrée avec des angles arrondis. L'un des côtés porte le micropyle. Appelons AB, la longueur de la graine comptée perpendiculairement à ce côté, et BC, la longueur de la graine comptée parallèlement à lui (les dimensions sont exprimées en centimètres) :

	Dimension à l'état sec.	Dimension à l'état humide.	Augmentation de la longueur.	Coefficient de dilatation.
Longueur AB.....	1,03	1,50	0,43	42,85 %
Longueur BC.....	1	1,45	0,45	45 %
Épaisseur.....	0,60	0,75	0,15	25 %

b) Graine de Fève des marais. Les dimensions sont exprimées en centimètres :

	Dimension à l'état sec.	Dimension à l'état humide.	Augmentation de la longueur.	Coefficient de dilatation.
Longueur maximum...	2,6	3,2	0,6	26,9 %
Largeur maximum...	1,95	2,45	0,50	25,6 %
Épaisseur près du hile.	0,8	1	0,2	25 %
Épaisseur loin du hile.	0,6	0,8	0,2	33,3 %

c) Graine de Fève des marais. Les dimensions sont exprimées en centimètres :

	*Dimension à l'état sec.	Dimension à l'état humide.	Augmentation de la longueur.	Coefficient de dilatation.
Longueur maximum...	3,7	4,6	0,9	24,3
Largeur maximum....	2,5	3,2	0,7	28
Épaisseur près du hile.	0,8	1	0,2	25
Épaisseur loin du hile.	0,7	0,8	0,1	14,29

Comme on le voit, le coefficient de dilatation, c'est-à-dire l'augmentation de la longueur rapportée à 100, est très différent avec la longueur considérée.

Mais sont-ce les plus grandes dimensions qui se dilatent le plus ou réciproquement? Il suffit de jeter un coup d'œil sur les tableaux précédents pour se rendre compte qu'il n'y a aucune règle à ce sujet. En effet, s'il en était ainsi, dans les tableaux précédents où les dimensions à l'état sec ont été disposées en décroissant, le coefficient de dilatation

devrait aller en croissant ou en décroissant. Or, il n'en est rien.

Il résulte de ces expériences que :

1° *Les graines plongées dans l'eau ne se dilatent pas également dans tous les sens.*

2° *Il n'y a pas proportionnalité entre la dimension à l'état sec et le coefficient de dilution.*

CHAPITRE III

MARCHE DU PHÉNOMÈNE DE GONFLEMENT.

Au point de vue de l'accroissement de volume, comment s'opère le passage de l'état sec à l'état gonflé? Y a-t-il, à cet égard, des particularités dignes d'être signalées?

Fig. 4. — I. Appareil pour inscrire les changements de volume des graines qui se gonflent. A, graine; B, cire; C, poids; D, sable; E, eau; F, vase; G, fil; H, point où le fil est réuni à la paille; IJ, axe autour duquel pivote la paille; K et K', supports; L, paille; M, pointe de la paille; N, cylindre enregistreur; OP, fil à plomb; QQ', courbe tracée.

II. Détail de la région I. a, paille; bb', lièges; cc', axe.

Pour nous en rendre compte, nous avons construit un petit appareil très simple destiné à enregistrer et à amplifier la courbe du phénomène. Il se compose essentiellement (fig. 4, I) d'une tige légère, découpée dans une paille, ayant environ 20 centimètres de longueur et terminée en pointe effilée à

une extrémité. Au dixième de la longueur environ en partant de l'extrémité non effilée, on colle, à droite et à gauche, deux petits parallépipèdes de liège destinés à en augmenter l'épaisseur (fig. 4, II). Perpendiculairement à cette masse, on introduit un axe métallique autour duquel la paille peut tourner sans frottement. A l'extrémité effilée, on fixe un fil fin, attaché d'autre part à un poids pesant un peu plus que le long bras de levier de la paille. La graine étant posée par une de ses faces au fond d'un petit cristallisoir, on attache, avec de la cire, sur l'autre face, le poids. On maintient la graine en place, en la plongeant dans une couche de sable fin, qui lui permet néanmoins de se dilater. L'appareil étant

Fig. 5. — Tracé décrit par l'appareil de la figure 4 sous l'action d'une graine de Fève (réduit). xy est une horizontale équivalent à 115 heures. La courbe se lit de A en E.

ainsi disposé, on met de l'eau dans le cristallisoir et, à l'aide d'un fin fil à plomb, on appuie l'extrémité pointue de la paille sur un cylindre enregistreur, faisant un tour complet en une semaine. A mesure que la graine gonfle, le long bras de levier s'abaisse et trace une courbe sur le papier enfumé.

La courbe de la figure 5 représente le tracé effectué par une graine de Fève qui s'est gonflée pendant 115 heures dans l'eau ordinaire. Peu de temps après la fin de l'expérience, la graine s'est mise à germer. Le poids reposait sur une des faces de la graine. On voit que le gonflement ne s'est opéré d'une manière sensible qu'au bout d'environ 11 heures. Après quoi, le gonflement a marché très vite pendant 58 heures, puis s'est ralenti jusqu'au moment de la saturation.

Les autres graines donnent des tracés analogues.

CHAPITRE IV

SUR LES VARIATIONS DU POUVOIR ABSORBANT.

Le pouvoir absorbant d'une graine est le poids d'eau absorbé par cette graine pour arriver à saturation, rapporté à 100 de semences sèches.

Dans les livres classiques ou les travaux originaux (Nobbe, Hoffmann, etc.) on trouve des valeurs de ce pouvoir absorbant et l'on se contente d'indiquer un seul chiffre pour chaque espèce. Exemple :

Lupin	123
Fève.....	118
Haricot.....	110
Blé.....	47
Maïs.....	38
Balisier.....	8

On pourrait croire ainsi que le pouvoir absorbant est une valeur fixe et bien déterminée. J'avoue qu'au début de mes recherches, sur la foi de ces chiffres, j'ai cru qu'il en était ainsi, mais je n'ai pas tardé à m'apercevoir que cette valeur du pouvoir absorbant est essentiellement variable. Il est indispensable d'attirer l'attention sur ces faits qui, si l'on n'était prévenu, pourraient conduire à des erreurs grossières.

Pour mettre le fait en évidence, j'ai déterminé le pouvoir absorbant de *graines isolées* et non de lots entiers, comme l'avaient fait sans doute les auteurs antérieurs. Dans ces expériences, pour atténuer autant que possible la cause d'erreur qui provient de l'exosmose des produits solubles, j'ai, conformément aux conseils de MM. Van Tieghem et G. Bonnier (*Soc. bot. de France*, 1880), « immergé les graines et les embryons dans une quantité d'eau peu supérieure à celle qu'un essai préalable avait montré qu'elles peuvent absorber. L'immersion a toujours été prolongée jusqu'à saturation complète, et, pour empêcher à la fois la germination et le développement des organismes étrangers, notam-

ment du *Bacillus Amylobacter*, on a chloroformé l'eau ».

Ceci dit, voici quelques résultats de nos expériences.

a) Pois :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{re} graine.....	0,18	0,36	100
2 ^e —	0,17	0,33	105,8
3 ^e —	0,13	0,28	115,3
4 ^e —	0,16	0,33	106,2
5 ^e —	0,13	0,27	107,6
6 ^e —	0,11	0,25	127,2
7 ^e —	0,12	0,25	108,3
8 ^e —	0,09	0,21	133

b) Lupin blanc :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{re} graine.....	0,61	1,48	142,6
2 ^e —	0,45	1,10	144,4
3 ^e —	0,45	1,10	144,4
4 ^e —	0,35	0,88	151,4
5 ^e —	0,38	0,98	131,5
6 ^e —	0,37	0,91	145,9
7 ^e —	0,17	0,43	142,9
8 ^e —	0,20	0,54	170

c) Maïs :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{re} semence.....	0,40	0,60	50
2 ^e —	0,38	0,59	55,2
3 ^e —	0,45	0,68	51,1
4 ^e —	0,40	0,58	45
5 ^e —	0,45	0,68	51,1
6 ^e —	0,33	0,53	60,6
7 ^e —	0,45	0,67	48,8
8 ^e —	0,26	0,43	65,3

d) Ricin sanguin :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{re} graine.....	0,52	0,67	28,7
2 ^e —	0,40	0,55	37,5
3 ^e —	0,43	0,60	39,5
4 ^e —	0,35	0,54	54,2
5 ^e —	0,33	0,51	54,5
6 ^e —	0,34	0,50	47
7 ^e —	0,31	0,45	45,1
8 ^e —	0,32	0,52	62,5

e) Fève des marais :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant (p. 100.)
1 ^{re} graine.....	2,185	5,55	154
2 ^e —	2,01	5,75	186
3 ^e —	1,78	4,65	161
4 ^e —	1,70	4,57	168
5 ^e —	1,50	3,65	143
6 ^e —	1,31	3,41	160
7 ^e —	1,01	2,90	187

On voit que dans toutes ces expériences,

Le pouvoir absorbant des Pois a varié de 100 à 133.

—	—	du Lupin blanc a varié de	131,5 à 170.
—	—	du Maïs	— 45 à 65,3.
—	—	du Ricin sanguin	— 28,7 à 62,5.
—	—	des Fèves	— 143 à 187.

D'où, cette conclusion que :

Le pouvoir absorbant est une valeur qui diffère considérablement, non seulement d'une espèce à une autre, mais encore d'une graine à une autre de même espèce.

A quoi tiennent les différences observées dans les valeurs de ce pouvoir absorbant? Les causes nous en sont totalement inconnues (1). Tout ce que l'on peut remarquer dans les expériences précédentes, c'est qu'il *n'y a aucune relation entre le poids des graines sèches et la puissance du pouvoir absorbant*. On ne peut pas dire que les petites graines absorbent plus ou moins que les grosses.

Quand on étudiera l'action des influences extérieures sur l'absorption de l'eau, on ne pourra donc tirer de conclusions nettes des expériences, que lorsque les nombres obtenus seront très éloignés l'un de l'autre et lorsque les expériences, répétées à plusieurs reprises, donneront toujours les mêmes résultats.

(1) Ces causes sont sans doute multiples. M. Gain (*Soc. bot. de France*, 13 juill. 1894) a montré que le pouvoir absorbant des graines provenant de plantes élevées dans un sol sec, n'est pas le même que celui de graines provenant de végétaux cultivés dans un sol humide. Ce n'est qu'une partie de la question, car on observe des variations considérables dans le pouvoir absorbant de graines provenant d'un même pied et d'une même gousse, ainsi que je l'ai constaté pour les Pois et les Fèves.

Il y a lieu de se demander maintenant quelle est la partie de la graine qui amène ces variations dans le pouvoir absorbant. Est-ce le tégument ou l'embryon ? Pour le savoir, j'ai cherché la valeur du pouvoir absorbant du tégument d'une part et de l'embryon d'autre part. Ces expériences ont été faites, non sur des graines isolées, mais sur des lots de téguments ou d'embryons, plus ou moins brisés, car il est impossible de les obtenir sous un autre état. Il est à noter que les chiffres obtenus ne sont pas rigoureusement absolus, car les téguments sont difficiles à essayer et les embryons perdent beaucoup plus par osmose quand ils sont mis à nu que dans les graines intactes.

Tous les résultats obtenus ayant été concordants, je ne donne ci-dessous qu'un seul exemple.

a) Fève des marais ; téguments :

	Poids init. du lot. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{er} lot.....	0,48	1,28	166
2 ^e —	0,61	1,70	178
3 ^e —	0,74	2,05	177
4 ^e —	0,72	1,95	170
5 ^e —	0,94	2,48	163

b) Fève des marais ; embryons :

	Poids init. du lot. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Pouvoir absorbant. (p. 100.)
1 ^{er} lot.....	3,35	6,35	89,2
2 ^e —	3,33	6,50	97,8
3 ^e —	3,38	6,35	87,8
4 ^e —	3,28	5,90	79,7
5 ^e —	3,42	6,70	95,8

Ces deux séries d'expériences ainsi que d'autres analogues suffisent à montrer que, de même que pour la graine entière,

1° *Le pouvoir absorbant des téguments d'une même espèce est une quantité variable avec les individus, mais néanmoins enfermée entre certaines limites ;*

2° *Le pouvoir absorbant des amandes d'une même espèce est*

une quantité variable avec les individus, mais néanmoins enfermée entre certaines limites.

3° La variabilité du pouvoir absorbant des graines tient à la variabilité du pouvoir absorbant de toutes leurs parties constitutives.

Pour terminer ce chapitre, je donnerai ci-après les valeurs du pouvoir absorbant comparé chez les téguments et chez les embryons; ces valeurs ne sont, comme nous venons de le voir, qu'approximatives; elles permettent néanmoins des comparaisons.

a) Embryons de Fève. Poids initial : 16 gr. 49. Poids maximum : 31 gr. 80. Pouvoir absorbant approximatif : 90.

b) Téguments de Fève. Poids initial : 3 gr. 49. Poids maximum : 2 gr. 12. Pouvoir absorbant approximatif : 170.

c) Embryons de Lupin blanc. Poids initial : 1 gr. 02. Poids maximum : 2 gr. 12. Pouvoir absorbant approximatif : 107.

d) Téguments de Lupin blanc. Poids initial : 0 gr. 46. Poids maximum : 1 gr. 05. Pouvoir absorbant approximatif : 128.

e) Embryons de Lupin bleu. Poids initial : 0 gr. 87. Poids maximum : 1 gr. 90. Pouvoir absorbant approximatif : 118.

f) Téguments de Lupin bleu. Poids initial : 0 gr. 35. Poids maximum : 0 gr. 85. Pouvoir absorbant approximatif : 142.

g) Embryon de Courge. Poids initial : 0 gr. 49. Poids maximum : 0 gr. 70. Pouvoir absorbant approximatif : 43.

h) Téguments de Courge. Poids initial : 0 gr. 17. Poids maximum : 0 gr. 37. Pouvoir absorbant approximatif : 117.

i) Embryon de Pois. Poids initial : 0 gr. 86. Poids maximum : 1 gr. 67. Pouvoir absorbant approximatif : 94.

j) Téguments de Pois. Poids initial : 0 gr. 08. Poids maximum : 0 gr. 16. Pouvoir absorbant approximatif : 100.

k) Amandes (embryon et albumen) de Ricin sanguin. Poids initial : 1 gr. 200. Poids maximum : 1 gr. 87. Pouvoir absorbant approximatif : 55,8.

l) Téguments de Ricin. Poids initial : 0 gr. 61. Poids maximum : 0 gr. 75. Pouvoir absorbant approximatif : 22,9.

m) Embryon de Haricot blanc. Poids initial : 1 gr. 48.

Poids maximum: 2 gr. 52. Pouvoir absorbant approximatif: 70.

n) Téguments de Haricot blanc. Poids initial: 0 gr. 27. Poids maximum: 0 gr. 76. Pouvoir absorbant approximatif: 181.

Ces expériences montrent que :

1° *Le pouvoir absorbant des amandes et des téguments n'est jamais le même;*

2° *Le pouvoir absorbant des téguments est presque toujours plus grand (Fève, Lupin, Haricot, Pois), que le pouvoir absorbant des amandes; ce n'est que rarement qu'il est plus faible (Ricin).*

CHAPITRE V

SUR LES VARIATIONS DE LA MARCHÉ DE LA PÉNÉTRATION DE L'EAU.

Dans le chapitre précédent, nous avons montré que le pouvoir absorbant des graines est très variable.

La pénétration de l'eau envisagée depuis l'immersion de la graine jusqu'à la saturation est aussi très variable. C'est ainsi qu'en plongeant des graines de Lupin blanc, de Lupin bleu, de Fèves, de Haricots, de Lentilles dans de l'eau, on voit une partie des graines plissées au bout d'une heure, alors que les autres sont encore intactes. Parmi ces dernières, les unes se plissent au bout de deux heures, tandis que celles qui restent se plissent seulement au bout de 10 h., 20 h., 30 h., 50 h. Certaines enfin *ne se plissent pas du tout* et ainsi que je l'ai constaté par des pesées, n'absorbent pas la moindre parcelle d'eau.

Cette question des graines qui ne gonflent pas dans l'eau a déjà été abordée par plusieurs physiologistes et notamment Detmer. Ce dernier a reconnu que cette non-pénétration n'était pas due à une couche cirreuse enveloppant le tégument; j'ai vérifié le fait à maintes reprises. Detmer en conclut

que le phénomène est dû à « certaines particularités de la structure du tégument », ce qui est au moins vague. J'ai fait des coupes dans les graines d'une même espèce, dont les unes s'étaient gonflées et les autres étaient restées sèches, bien qu'immergées, et je n'ai trouvé aucune différence de structure entre elles. Tout au plus signalerais-je l'observation suivante :

Le testa des graines est en général limité extérieurement par une assise de cellules épidermiques aux membranes fortement épaissies et allongées perpendiculairement à la surface. Or, en faisant des coupes dans des graines gonflées, on voit toujours des fentes, disséminées au hasard, isolant deux cellules voisines, tandis que les autres sont étroitement unies les unes aux autres.

D'autre part, par des coupes faites dans des graines non gonflées après une semaine d'immersion, on voit que ces fentes sont extrêmement rares ; peut-être même celles que l'on observe ne sont-elles dues qu'à l'action mécanique du rasoir.

L'eau pénètre-t-elle dans le testa par les fentes que je viens de signaler ? Les graines qui ne se gonflent pas dans l'eau doivent-elles cette propriété à l'absence de ces fentes ? C'est là une simple hypothèse que j'émets sans avoir résolu la question.

A propos des graines qui ne se gonflent pas, des graines réfractaires pourrait-on dire, il y a quelques remarques à faire.

1° Beaucoup d'espèces ne présentent jamais de graines réfractaires. Ex. : Pois.

2° Plusieurs espèces ne présentent que rarement des graines réfractaires. Ex. : Lupin blanc.

3° Certaines espèces présentent très souvent des graines réfractaires. : Ex. : Lupin jaune.

4° De nombreuses espèces présentent beaucoup plus de graines réfractaires que d'autres. Ainsi, sur dix graines de *Cytisus Laburnum* mises dans l'eau pendant trois mois, je n'en ai vu qu'une seule se gonfler, et encore ce phénomène

s'était-il produit rapidement, comme si la graine avait été blessée. Les neuf autres sont restées absolument intactes et n'ont pas absorbé d'eau. Il semble donc que chez le Cytise, les graines réfractaires sont la règle.

5° Les graines réfractaires blessées même très légèrement (par exemple, une piqûre d'épingle) gonflent très rapidement.

6° Les graines réfractaires, blessées et gonflées, germent comme celles qui se sont gonflées naturellement.

Enfin je ferai remarquer que ces graines réfractaires sont très utiles aux espèces qui les possèdent, car elles peuvent rester dans le sol très longtemps sans germer et ne sortir de leur torpeur que lorsqu'une blessure, par exemple, une morsure d'insecte, vient à les effleurer. Si l'espèce a été détruite par un cataclysme quelconque, les graines réfractaires peuvent alors la régénérer.

Le début de l'imbibition est donc très variable. Une variation analogue s'observe aussi dans la marche générale du phénomène.

Dans le tableau ci-dessous j'ai indiqué les quantités d'eau absorbées pour 100 de graines ayant commencé à se plisser en même temps. Ces chiffres sont relatifs à des Fèves placées dans de l'eau chloroformée. La lettre (S) indique la saturation.

Poids initial de la graine. (Grammes.)	Quantité d'eau absorbée p. 100 au bout de 24 h.	Quantité d'eau absorbée p. 100 au bout de 48 h.	Quantité d'eau absorbée p. 100 au bout de 72 h.	Quantité d'eau absorbée p. 100 au bout de 96 h.
1,218	76,6	115,5	149,4	150,40 (S)
1,286	19,5	109,1	151,09 (S)	
1,300	112,15	116,45	123,15	123,84 (S)
1,365	87,3	98,9	131,05	139,9 (S)
1,396	128,9	135,2	136,8	137,8 (S)
1,457	134,3	154,8	156,7 (S)	
1,554	59,8	127,7	148,7 (S)	
1,880	91,9	160,89 (S)		
2,0	126,1	137,1	139,5	148,5 (S)
2,133	28,5	101,1	135,3	183 (S)
2,263	136,5	150,5	157,5	169,5 (S)

Comme on le voit, la pénétration de l'eau dans la graine

suit une marche très irrégulière suivant les semences observées : la saturation arrive tantôt au bout de 48 heures, tantôt au bout de 72 heures et de 96 heures. On voit cependant que, avec des Fèves, elle n'a jamais lieu au bout de 24 heures et qu'elle est toujours complète au bout de 96 heures; c'est même à ce moment que la majorité des graines atteint sa saturation.

Conclusion :

La pénétration de l'eau dans les graines, quant à son début et à sa marche, est très variable dans la même espèce.

CHAPITRE VI

SUR L'EAU LIBRE DANS LES GRAINES GONFLÉES.

De quelle façon se répartit l'eau qui a pénétré dans une graine? On admet généralement qu'elle se partage entre le tégument et l'amande, proportionnellement au volume et au pouvoir absorbant de ces deux parties. Cela est vrai en effet pour un certain nombre de semences, telles que le Maïs, le Blé, l'Avoine, l'Orge, où le tégument, l'albumen et l'embryon forment un tout compact, tant à l'état sec qu'à l'état humide. Mais ce serait une grave erreur de croire qu'il en est toujours ainsi. Il suffit en effet d'ouvrir une graine de Haricot gonflée pour voir qu'entre les deux cotylédons, de même qu'entre ceux-ci et le tégument, il y a une certaine quantité d'eau libre.

Voici quelques expériences qui montrent l'importance de ce liquide sur lequel les auteurs n'ont pas attiré l'attention et qui, si on n'était prévenu, pourrait induire en erreur dans les recherches ultérieures de physiologie :

a) Sept graines de Haricot de Soissons blancs à rames pèsent 5^{gr}, 115. Quarante-neuf heures après leur immersion, elles pèsent 10^{gr}, 285.

On sépare les téguments des amandes et on essuie les

uns et les autres avec beaucoup de soin, à l'aide de papier joseph. On pèse de nouveau et l'on trouve :

Embryons.....	8 ^{sr} ,645
Téguments.....	1 ^{sr} ,020

La quantité d'eau libre pesait donc 0^{sr},620. Elle représente $\frac{1}{8}$ de l'eau totale absorbée. Il est à remarquer que ce chiffre n'est pas tout à fait exact, car l'eau en question tient en dissolution une certaine quantité, très faible d'ailleurs, de matières provenant des substances de réserve.

b) Deux autres expériences faites dans les mêmes conditions ont donné les mêmes résultats.

c) Six graines de Haricot de Soissons pèsent 4^{sr},560. Vingt-deux heures après leur immersion dans l'eau, c'est-à-dire à un moment où elles ne sont pas saturées, elles pèsent 8^{sr},750. En séparant les parties constitutives on trouve :

Embryons.....	7,455
Téguments.....	0,905

Il reste donc 0^{sr},390 pour l'eau libre. Elle représente $\frac{1}{10}$ de l'eau totale absorbée. Cette proportion est notablement inférieure à celle des graines saturées.

d) Trois autres expériences faites dans les mêmes conditions que la précédente, ont donné tantôt un peu moins $\left(\frac{1}{105}\right)$ tantôt un peu plus $\left(\frac{1}{98} \text{ et } \frac{1}{99}\right)$ pour la proportion d'eau libre.

e) Sept Haricots de Soissons pèsent 6^{sr},02. Soixante-cinq heures après leur immersion, à un moment où elles ont dépassé leur point de saturation, ces graines pèsent :

Graines gonflées.....	12,325
Embryons.....	10,35
Téguments.....	1,245
Eau libre.....	0,730

Cette eau libre représente $\frac{1}{9}$ de l'eau totale absorbée.

Cette proportion est également inférieure à celle des graines saturées.

f) Trois expériences analogue sont donné $\frac{1}{85}$, $\frac{1}{91}$ et $\frac{1}{92}$ pour la proportion de l'eau libre.

De ces expériences, il résulte que, les graines de haricots arrivées au point de saturation, il y a une certaine quantité d'eau libre qui représente environ $\frac{1}{8}$ de l'eau totale absorbée.

Cette proportion est plus faible dans les graines non saturées que dans les graines saturées.

Elle paraît aussi plus faible dans les graines qui sont déjà saturées depuis un certain temps, mais, dans ces dernières, on ne peut rien dire de certain, car le poids des matières solides des graines n'est sensiblement plus le même à l'état sec et à l'état humide.

g) Sept graines de Lupin blanc pèsent 3^{gr},035. Quarante-neuf heures après leur immersion (saturation) dans l'eau, elles pèsent 6^{gr},830. Or, les embryons isolés pèsent 5^{gr},548 et les téguments 1^{gr},165. La quantité d'eau libre pesait donc 0^{gr},117. Elle représente $\frac{1}{32}$ de l'eau totale absorbée; elle est donc moins grande que dans le cas du Haricot, mais elle est loin d'être négligeable.

h) Dans quatre autres expériences, la proportion d'eau libre a été trouvée égale à $\frac{1}{35}$, $\frac{1}{34}$, $\frac{1}{34}$, $\frac{1}{34}$.

i) Quatre graines de Fève des marais pèsent 7^{gr},63. Soixante-cinq heures après leur immersion dans l'eau, on trouve les nombres suivants :

Graines gonflées.....	14,680
Embryons.....	14,460
Téguments.....	2,960
Eau libre.....	0,260

Cette eau représente $\frac{1}{27}$ de l'eau totale absorbée; elle est donc moins grande que dans le cas du Haricot et plus grande que dans le cas du Lupin blanc.

j) Deux autres expériences faites dans les mêmes conditions que la précédente ont donné $\frac{1}{26}$ et $\frac{1}{25}$ pour la proportion d'eau libre. Comme on le voit, de même que le pouvoir absorbant de la graine, la quantité d'eau libre varie dans la même espèce de graine.

Ajoutons que les pesées ont d'ailleurs été faites, dans toutes les expériences précédentes, avec une grande rapidité et entre deux verres de montre pour éviter les causes d'erreurs provenant de l'évaporation.

Les expériences que nous avons relatées jusqu'ici étaient faites avec des graines saines et avec de l'eau pure. Mais le phénomène est-il de même avec des graines endormies par le chloroforme? Il est facile de voir qu'il n'en est pas ainsi. Il suffit pour cela de plonger des Fèves dans de l'eau chloroformée pour voir qu'au bout de quatre jours, les semences sont extrêmement gonflées, avec un légument aux formes arrondies et tendu comme la baudruche d'un ballon. En perçant ce légument, l'eau intérieure jaillit au loin avec force. Voici d'ailleurs les chiffres obtenus avec quatre Fèves pesant 7^{gr},690, immergées pendant soixante-cinq heures :

Graines gonflées.....	18,820
Téguments	4,020
Embryons.....	11,410
Eau libre	3,390

Cette dernière représente $\frac{1}{3}$ de l'eau totale absorbée, chiffre considérablement plus élevé que celui obtenu avec des graines indemnes.

Des expériences relatées dans ce chapitre, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Dans un certain nombre de graines gonflées, il y a de l'eau libre qui n'appartient ni au tégument, ni à l'embryon, et qui joue un rôle de réserve pour le développement ultérieur de la plantule.

2° Cette eau libre, dans les graines saturées, représente une quantité différente suivant les espèces, qui, dans les graines mises en expériences, a été trouvée, par rapport à l'eau totale absorbée, de $\frac{1}{8}$ pour le Haricot, $\frac{1}{32}$ pour le Lupin blanc, $\frac{1}{27}$ pour la Fève.

3° La proportion de cette eau libre, rapportée au poids total de l'eau absorbée par la semence, est maximum au moment de la saturation; elle est moindre chez les graines non saturées et chez celles qui sont déjà saturées depuis un certain temps.

4° Cette proportion est beaucoup plus considérable chez les graines endormies par les anesthésiques que chez les graines vivantes, puisque, chez la Fève, elle est de $\frac{1}{3}$ avec les semences endormies, tandis qu'elle n'est que de $\frac{1}{27}$ avec des semences saines.

Nous avons montré au début de ce travail que l'eau ne pouvait s'épancher seule à l'intérieur du tégument. L'eau rencontrée librement dans les graines gonflées ne peut donc venir que du fait de l'embryon, produisant une attraction osmotique au travers du tégument, lorsqu'il arrive au contact avec lui.

CHAPITRE VII

INFLUENCE DE LA VITALITÉ DES GRAINES SUR LE POUVOIR ABSORBANT.

Le pouvoir absorbant est-il le même avec des graines vivantes, mortes ou endormies?

MM. Van Tieghem et G. Bonnier (1) disent que le pouvoir absorbant n'est pas le même avec des graines vivantes et des graines mortes.

Voici les résultats de quelques expériences où nous avons comparé le pouvoir absorbant de graines aussi identiques que possible, mises les unes dans de l'eau pure, les autres dans de l'eau additionnée de quelques gouttes d'éther sulfurique :

a) Treize graines de Lupin blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,29	-
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,94	-
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,65	-
Pouvoir absorbant.....	106,7	-

b) Treize graines de Lupin blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,1	-
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,50	-
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,40	-
Pouvoir absorbant.....	105,8	-

c) Treize graines de Lupin blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,8	-
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,47	-
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,39	-
Pouvoir absorbant.....	106,1	-

d) Onze graines du Lupin blanc, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,6	-
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,42	-
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,36	-
Pouvoir absorbant.....	105,9	-

e) Quatorze graines de Lupin blanc, mises dans l'eau éthérée :

(1) Ph. Van Tieghem et G. Bonnier, *Action de l'eau sur les organes à l'état de vie latente ou ralentie* (Soc. bot. de France, 1880).

Poids initial.....	5 ^{gr} ,25
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,72
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,47
Pouvoir absorbant.....	104,1

f) Quatorze graines de Lupin blanc, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,41
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,97
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,56
Pouvoir absorbant.....	102,7

g) Sept graines de Haricot blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,36
Poids maximum.....	9 ^{gr} ,58
Quantité d'eau absorbée.....	4 ^{gr} ,22
Pouvoir absorbant.....	78,7

h) Huit graines de Haricot blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,58
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,18
Quantité d'eau absorbée.....	4 ^{gr} ,60
Pouvoir absorbant.....	82,40

i) Huit graines de Haricot blanc, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,22
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,82
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,60
Pouvoir absorbant.....	107,20

j) Sept graines de Haricot blanc, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,21
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,58
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,37
Pouvoir absorbant.....	103

k) Huit graines de Haricot blanc, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,15
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,35
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,20
Pouvoir absorbant.....	100

l) Huit graines de Haricot blanc, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,02
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,38
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,36
Pouvoir absorbant.....	106

m) Six caryopses de Maïs, mis dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	1 ^{gr} ,800
Poids maximum.....	2 ^{gr} ,79
Quantité d'eau absorbée.....	0 ^{gr} ,99
Pouvoir absorbant.....	55,5

n) Six caryopses de Maïs, mis dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	2 ^{gr} ,3
Poids maximum.....	3 ^{gr} ,52
Quantité d'eau absorbée.....	1 ^{gr} ,22
Pouvoir absorbant.....	53,1

o) Trois graines de Fève, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	4 ^{gr} ,2
Poids maximum.....	8 ^{gr} ,65
Quantité d'eau absorbée.....	4 ^{gr} ,45
Pouvoir absorbant.....	106

p) Quatre graines de Fève, mises dans l'eau ordinaire :

Poids initial.....	5 ^{gr} ,4
Poids maximum.....	11 ^{gr} ,23
Quantité d'eau absorbée.....	5 ^{gr} ,83
Pouvoir absorbant.....	108

q) Trois graines de Fève, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	3 ^{gr} ,28
Poids maximum.....	8 ^{gr} ,20
Quantité d'eau absorbée.....	4 ^{gr} ,92
Pouvoir absorbant.....	150

n) Trois graines de Fève, mises dans l'eau éthérée :

Poids initial.....	4 ^{gr} ,4
Poids maximum.....	10 ^{gr} ,7
Quantité d'eau absorbée.....	6 ^{gr} ,3
Pouvoir absorbant.....	143

Comme on le voit par les résultats de ces expériences la vitalité des graines de Lupin et de Haricot n'influe pas d'une manière sensible sur leur pouvoir absorbant, du moins autant qu'il est permis de conclure d'après les résultats très variables que l'on obtient.

On arrive à une conclusion identique pour les semences de Maïs.

Mais il ne faudrait pas croire que c'est là une règle absolue. En effet, en étudiant le phénomène chez les Fèves, nous avons vu que le pouvoir absorbant des graines endormies par l'éther est plus considérable que celui des graines à l'état ordinaire; il est fort probable que cette majoration est due à l'eau interposée qui, ainsi que nous l'avons montré, est plus abondante chez les graines endormies.

On peut donc dire en résumé :

Les graines endormies par les anesthésiques, dans la majorité des cas, absorbent autant d'eau que les graines vivantes (Lupin, Haricot, Maïs); ce n'est que rarement (Fève) qu'elles en absorbent une plus grande quantité.

CHAPITRE VIII

INFLUENCE DE LA PRESSION SUR L'ABSORPTION DE L'EAU.

A priori, on pourrait croire que la pression de l'eau a une influence positive sur la pénétration de l'eau dans la graine, c'est-à-dire que plus la pression est grande, plus la vitesse de pénétration est rapide.

Il n'en est rien, ainsi que le prouvent les expériences relatées ci-après :

a) Des graines de Lupin blanc pesant 10^{gr},05 sont plongées

dans l'eau et soumises à une pression de neuf atmosphères. 1^h,20 minutes après, on les retire ; leur poids est de 10^{gr},73. La quantité d'eau absorbée a donc été de 6,1 p. 100.

b) Des graines de Lupin blanc pesant 10^{gr},11 sont plongées dans l'eau à la pression atmosphérique. 1^h,20 minutes après, on les retire ; leur poids est de 11^{gr},74. La quantité d'eau absorbée a donc été de 16,2 p. 100.

c) Dix graines de Lupin blanc pesant 4^{gr},53 sont plongées dans l'eau et soumises à une pression de neuf atmosphères. 1^h,15 minutes après, on les retire ; leur poids est alors de 4^{gr},77. La quantité d'eau absorbée a donc été de 5,3 p. 100.

d) Dix graines de Lupin blanc pesant 4^{gr},62 sont plongées dans l'eau à la pression atmosphérique. 1^h,15 minutes après, on les retire ; leur poids est alors de 5^{gr},40. La quantité d'eau absorbée a donc été de 16,8 p. 100.

Dans l'une et l'autre de ces expériences, on voit que les quantités d'eau absorbées dans le même temps sont :

6,1 et 5,3 p. 100 à la pression de neuf atmosphères ;

16,2 et 16,8 p. 100 à la pression atmosphérique.

On peut en conclure que *l'augmentation de pression retarde notablement la pénétration de l'eau.*

Ce résultat est évidemment dû à la compression qui s'exerce sur la graine, dont toutes les molécules sont ainsi pressées les unes contre les autres, et ne s'écartent qu'avec peine pour laisser passer l'eau dans leurs interstices. Ces expériences montrent, en outre, combien est grande l'attraction des graines pour l'eau, puisque, pour se gonfler, elles arrivent à vaincre une pression de neuf atmosphères.

CHAPITRE IX

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ABSORPTION DE L'EAU.

On met dans trois vases remplis d'eau, un lot de Haricots. Ces vases sont maintenus à la température constante de 10°.

25° et 50°. De temps à autre, on retire les graines et on les pèse. Les quantités d'eau absorbée pour 100 sont portées sur la figure 6, où la ligne des abscisses représente les temps et la ligne des ordonnées, les quantités d'eau absorbées. L'expérience dans chaque vase est arrêtée quand la courbe devient horizontale, c'est-à-dire quand la saturation est arrivée.

C'est ainsi que l'on obtient les courbes A, B et C de la figure 6. On voit que les graines plongées dans l'eau à 50° ont atteint

Fig. 6. — Courbes indiquant la marche de l'absorption de l'eau de graines placées à des températures différentes. ot , ligne des temps; aa , ligne des quantités d'eau absorbées pour 100; A B C, ces trois courbes sont relatives à des Haricots placées respectivement aux températures de 10°, 25°, 50°. La ligne pointillée xy est voisine de celle du pouvoir absorbant maximum des Haricots. E D, courbes relatives à des graines de Ricin, placées respectivement aux températures de 10° et de 50°.

leur saturation beaucoup plus vite que les graines à 25° et encore plus vite que les graines à 10°.

On voit aussi que les courbes ne deviennent pas horizontales au même niveau, mais les différences sont peu sensibles et ne dépassent pas les variations habituelles du pouvoir absorbant.

L'action de la température sur la vitesse de l'absorption se comprend facilement par l'écartement plus grand des molécules de la graine aux températures élevées. Elle varie d'ailleurs avec les graines mises en expériences; elle est plus sensible avec les graines à tégument mince qu'avec

les graines à tégument dur : c'est ce qui se voit fort bien dans le graphique de la figure 6, où l'on a représenté en pointillé la marche de l'absorption de l'eau avec des graines de Ricin placées les unes à 10°, les autres à 50°. La différence des vitesses est bien moins sensible qu'avec les haricots.

Conclusion :

La température n'influe pas sur le pouvoir absorbant des graines; elle ne fait qu'augmenter la rapidité de la pénétration de l'eau. Cette augmentation de vitesse est d'autant plus sensible que le tégument est plus mince.

CHAPITRE X

INFLUENCE DE L'INTÉGRITÉ DU TÉGUMENT SUR LA PÉNÉTRATION DE L'EAU.

Comme il est facile de le voir par l'inspection des graines plongées dans l'eau, l'intégrité du tégument a une influence très nette sur la pénétration de l'eau, ce qui d'ailleurs est très naturel. Voici deux expériences, prises entre beaucoup d'autres, qui montrent bien cette influence :

a) Des graines de Lupin blanc sont blessées à l'aide d'une pince coupante. Elles pèsent 7^{gr},6; on les met dans l'eau à 20° et on les pèse de temps à autre de manière à savoir la quantité d'eau absorbée pour 100.

Nombre d'heures,	Quantité d'eau absorbée p. 100.
85 minutes.....	35,5
2 heures.....	50
4 —	54
10 —	80
12 —	90
17 —	105 (saturation).

b) Des graines du même paquet, mais indemnes, mises dans l'eau à la même température, ont accusé les absorptions d'eau ci-dessous :

Nombre d'heures.	Quantité d'eau absorbée p. 100.
85 minutes.....	14,1
2 heures.....	17,2
4 —	18,3
10 —	25,1
12 —	26,7
17 —	30,2
25 —	50,2
50 —	105,7 (saturation).

c) Des graines de Haricot sont blessées à l'aide d'un scalpel et mises dans de l'eau à 15°. Voici la quantité d'eau absorbée :

Nombre d'heures.	Quantité d'eau absorbée p. 100.
1 heure.....	30,5
2 —	35,2
3 —	40,3
5 —	60,4
8 —	70,7
12 —	80,2
15 —	98
17 —	101,5 (saturation).

d) Des graines du même paquet, mais indemnes, mises dans l'eau à la même température, ont accusé les absorptions d'eau ci-dessous :

Nombre d'heures.	Quantité d'eau absorbée p. 100.
1 heure.....	5,2
2 —	6,3
3 —	7,2
5 —	8,4
8 —	10,2
12 —	17,3
15 —	18,8
17 —	22,2
25 —	33,4
35 —	50,7
40 —	70,4
48 —	98,3
55 —	102,2 (saturation).

On peut conclure de ces expériences :

1° Une blessure dans le tégument augmente dans des proportions considérables la vitesse de la pénétration de l'eau.

2° *Elle n'a pas d'influence sur le pouvoir absorbant maximum.*

3° *Le tégument retarde la pénétration de l'eau.*

CHAPITRE XI

ABSORPTION DE L'EAU PAR LES GRAINES PLONGÉES PARTIELLEMENT DANS L'EAU.

La question de l'absorption de l'eau par les graines plongées partiellement dans l'eau a déjà été abordée par divers physiologistes et notamment par Bœhmer, de Candolle, et en dernier lieu par MM. Van Tieghem et G. Bonnier, mais surtout dans le but de savoir en quel point des graines se fait l'absorption. Il était intéressant de connaître l'influence de l'immersion partielle sur la valeur du pouvoir absorbant et de savoir notamment si les graines arrivent au même point de saturation que lorsqu'elles sont entourées d'eau de toute part.

Pour effectuer des expériences dans cet ordre d'idée, on conseille parfois de recouvrir la partie de la graine que l'on veut laisser à sec de vernis, de bitume, de collodion ou de cire, et de plonger la graine tout entière dans l'eau. Ce procédé est absolument à rejeter, car la graine, en gonflant, fait éclater la couche soi-disant protectrice.

Il est bien préférable de plonger les graines imparfaitement dans l'eau. Pour cela, on peut les suspendre à un fil et faire affleurer la partie que l'on veut humidifier dans l'eau. Ce procédé a un inconvénient : l'eau du récipient, surtout en été ou dans l'étuve, s'évapore très vite et les graines sont bientôt à nu ; il faut la renouveler constamment.

Il est bien plus simple d'employer le procédé suivant. Ce procédé consiste à prendre une carte de visite, à la percer de trous et à y introduire les graines à force, en mettant vers le bas la partie que l'on désire mouiller. Il suffit ensuite de faire flotter la carte sur l'eau. Celle-ci peut s'évaporer

sans crainte; les graines et leur support descendent au fur et à mesure; elles sont toujours dans les mêmes conditions.

Ceci dit, voici quelques expériences qui répondent à la question que nous nous sommes posée au début :

a) Graines de Lupin blanc plongées dans l'eau chloroformée de manière que la région hilo-micropylaire ne soit pas mouillée :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Eau absorbée p. 100.
1 ^{re} graine.....	0,42	0,86	104
2 ^e —	0,44	0,87	112
3 ^e —	0,36	0,70	94

b) Graines de Lupin blanc plongées dans l'eau ordinaire, de manière que la surface de l'eau passe entre les deux cotylédons. Poids initial (3 graines) : 2^{gr},160. Poids maximum : 4^{gr},300. Eau absorbée pour 100 : 101.

c) Graines de Lupin blanc mises dans l'eau verticalement, de manière que la région hilo-micropylaire soit seule mouillée :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Eau absorbée p. 100.
1 ^{re} graine.....	0,36	0,83	130
2 ^e —	0,24	0,55	119
3 ^e —	0,35	5,80	142

La conclusion de ces expériences est que *les graines à tégment mince plongées dans l'eau suivant une large surface arrivent presque au même degré de saturation que les graines immergées entièrement*. On constate aussi que *la quantité d'eau absorbée est suffisante pour provoquer la germination*.

Mais en est-il de même lorsque la région immergée est très petite? Pour le savoir, j'ai mis des graines en contact avec du papier joseph humide par une région très restreinte de leur surface :

A. Lupin blanc, le long de la radicule.

B. Lupin blanc, en un point (2 à 3 millimètres) autre que la région hilo-micropylaire.

C. Fève, le long de la radicule.

D. Fève, le long de la radicule.

Ces quatre graines, quoique placées dans une étuve à 28°, température optimum pour la germination du Lupin, n'ont pas germé.

Le tableau ci-dessous indique les quantités d'eau absorbées :

	Poids initial. (Grammes.)	Poids maximum. (Grammes.)	Eau absorbée p. 100.
A.....	0,46	0,47	2,1
B.....	0,43	0,45	4,6
C.....	1,98	2,03	2,5
D.....	1,33	1,36	2,2

La quantité d'eau absorbée est donc insignifiante.

Conclusion :

Les graines plongées dans l'eau par une région très restreinte de leur surface n'arrivent jamais au même point de saturation que les graines immergées entièrement. La quantité d'eau absorbée n'est d'ailleurs pas suffisante pour provoquer la germination.

CHAPITRE XII

ABSORPTION DE LA VAPEUR D'EAU PAR LES GRAINES.

La question de l'absorption de la vapeur d'eau par les graines n'a jamais été abordée par les physiologistes avec toute l'attention qu'elle mérite. M. Detmer cependant s'en est occupé un peu, mais sans avoir tiré de conclusions nettes. Il met même en doute la possibilité de l'absorption de la vapeur par les graines. Pour lui, lorsqu'on met ces dernières dans une atmosphère saturée, la vapeur se condense sur elles en gouttelettes très fines et c'est cette eau liquide qui est absorbée. Il faisait d'ailleurs ses expériences dans une salle à température variable : ce sont là de mauvaises conditions, car 1°, par suite des changements de température, la vapeur d'eau se condense et peut tomber, en effet, en gouttelettes sur les graines (bien que la condensation ait lieu plutôt sur les parois de la cloche), et 2°, les graines vivantes se moisissent rapidement.

A ce propos, il faut ici rappeler que MM. Van Tieghem et G. Bonnier ont étudié ce qu'ils appellent la quantité d'eau minimum nécessaire à la germination en plaçant les graines dans une atmosphère saturée et en notant leur poids au moment de la sortie de la radicule. Ils donnent les résultats obtenus pour la Fève. Cette question est d'ailleurs fort difficile à étudier en raison des moisissures qui envahissent les matériaux d'études et les détruisent : il est extrêmement difficile d'obtenir des germinations dans ces conditions. Pour nombre de graines ou d'akènes, il m'a été impossible d'en avoir, bien qu'elles aient été placées dans une atmosphère assez spacieuse, à la température *optimum*, et que j'aie pris soin d'enlever les moisissures au fur et à mesure de leur apparition. Il faudrait opérer dans une atmosphère exempte de germes et avec des graines sans spores de champignons à leur surface ou à leur intérieur. Ce sont là des conditions fort difficiles, sinon impossibles, à réaliser.

J'ai étudié l'absorption de la vapeur d'eau par les graines, non au point de vue physiologique de la germination, mais seulement au point de vue physique. Pour cela, sauf dans les cas qui seront indiqués, j'ai placé les graines dans une atmosphère humide et chloroformée (1). De cette façon, le développement des moisissures était entièrement entravé. Les cloches étaient placées dans une étuve Roux à température constante, 28° en général. L'absorption se faisant lentement, les expériences sont fort longues, et, dans l'étuve, l'eau du récipient sur lequel repose la cloche se dessèche rapidement. Comme il peut arriver que, par suite d'une absence involontaire d'un jour ou deux du laboratoire, cette eau disparaisse et vienne troubler les résultats d'une expérience en marche depuis plusieurs semaines, j'ai adopté le dispositif représenté par la figure 7 qui n'a rien de bien nouveau, mais qui est très pratique. Il se comprend facilement : c'est un verre rempli d'eau retourné sur une assiette

(1) On peut aussi prendre des graines tuées par la chaleur, mais celle-ci a le tort d'enlever une partie de l'eau de constitution des semences.

également pleine de liquide. Si ce dernier se dessèche, l'eau du verre s'écoule et vient le remplacer. On place le chloroforme dans un petit récipient à part. Mais le plus simple est, après chaque pesée, d'en enduire la face interne de la cloche.

Tout d'abord, on constate ces deux faits très nets et sur lesquels je n'aurais pas insisté si l'on n'avait émis des doutes sur leur réalité :

1° *Les graines sèches plongées dans une atmosphère saturée absorbent directement la vapeur d'eau sans qu'elle ait besoin de se résoudre en gouttelettes liquides.*

2° *Les graines sèches plongées dans une atmosphère humide, mais non saturée, absorbent la vapeur d'eau dans les mêmes conditions.*

Ces deux faits sont d'ailleurs évidents *a priori*, puisque la plupart des matières que renferment les graines sont hygrométriques.

On peut noter aussi que *les graines à tégument mince ne se plissent pas en absorbant de la vapeur d'eau, comme elles le font quand on les plonge dans l'eau.*

Une graine plongée dans une atmosphère humide absorbe donc de l'eau progressivement jusqu'à un moment où son poids n'augmente plus. A ce moment, elle est saturée. La quantité de vapeur d'eau absorbée rapportée à 100 de graines est ce qu'on peut appeler le *pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau*. Malgré son intérêt, cette valeur n'a jamais été étudiée; j'ai essayé de combler cette lacune pour treize espèces de graines. Pour cela, les graines étaient placées dans une atmosphère saturée et chloroformée. Le tableau représente donc la valeur moyenne du pouvoir absorbant des *graines mortes* pour la vapeur d'eau. Ces graines sont restées près de trois mois en contact avec la vapeur d'eau; des

Fig. 7. — Dispositif pour étudier l'absorption de la vapeur d'eau par les graines. — A, verre retourné; B, cloche; C, verre de montre; D, assiette creuse; E, eau du verre; F, graines; G, chloroforme.

pesées ultérieures ont montré que le poids maximum était bien atteint à cette époque. La température était de 28°. *Avant, pendant ou après la saturation, il n'y a jamais eu trace d'eau libre entre le tégument et l'embryon.*

NOMBRE des GRAINES	NOMS DES GRAINES	POIDS DES GRAINES SÈCHES (Grammes.)	POIDS DES GRAINES SATURÉES (Grammes.)	POUVOIR ABSORBANT (p. 100.)
3	Haricot blanc	3,27	4,05	23,85
3	Ricin sanguin.....	1,50	1,89	26
4	Lupin blanc.....	1,635	2,09	27,82
5	Courge.....	0,91	0,97	6,70
5	Maïs.....	2,18	2,52	15,59
5	Fève.....	8,53	10,39	21,80
7	Orge à deux rangs.....	0,40	0,47	17,50
8	Sarrasin (akènes).....	0,17	0,20	17,64
17	Chauvre (akènes).....	0,305	0,38	24,59
7	Grand Soleil (akènes).....	0,79	0,95	20,25
8	Lentille.....	0,61	0,77	26,22
5	Pois.....	0,905	1,13	24,76
10	Blé.....	0,49	0,57	16,32

On voit tout de suite par ce tableau que *le pouvoir absorbant des graines pour la vapeur d'eau est considérablement moins élevé que le pouvoir absorbant pour l'eau liquide.*

On voit aussi qu'il n'y a pas de relation entre la valeur du pouvoir absorbant et la nature des réserves.

Une question se pose : Y a-t-il une relation entre la puissance du pouvoir absorbant pour l'eau et celle du pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau ? C'est ce à quoi répond le tableau ci-dessous où l'on a indiqué ces deux valeurs moyennes et leur rapport :

Nom de la graine ou de l'akène.	Pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau (P).	Pouvoir absorbant pour l'eau (P').	Rapport $\frac{P'}{P}$.
Haricot.....	23,85	110	4,5
Ricin.....	26	34,6	1,33
Lupin.....	27,82	105	3,8
Courge.....	6,70	132	9,5
Maïs.....	15,59	38	2,4
Fève.....	21,80	118	5,4
Orge.....	17,50	48,2	2,8
Sarrasin.....	17,64	46,9	2,7

Chanvre	24,59	43,9	1,8
Grand Soleil.....	20,25	56,5	2,7
Lentille.	26,22	93,4	3,5
Pois.....	24,76	100,8	4,06
Blé.....	16,32	47	2,8

Bien que ces chiffres soient tous approximatifs, on peut cependant en déduire qu'il n'y a pas une relation étroite entre les deux pouvoirs absorbants pour l'eau et la vapeur d'eau.

On peut encore faire une remarque. Dans le tableau ci-dessous on a indiqué les valeurs précédentes, mais en les disposant de manière que le rapport $\frac{P'}{P}$ aille en croissant :

	$\frac{P'}{P}$	Pouvoir absorbant pour l'eau (P').
Ricin.....	4,33	34,6
Chanvre.....	1,8	43,9
Mais ...	2,4	38
Sarrasin.....	2,7	46,9
Soleil	2,7	56,5
Orge	2,8	48,2
Blé.	2,8	47
Lentille	3,5	93,4
Lupin.....	3,8	105
Pois.....	4,6	100,8
Haricot.....	4,5	110
Fève.....	5,4	118
Courge.....	19,5	132

Il n'y a aucune loi nette à tirer de ce tableau, mais on peut remarquer cependant que les valeurs de P' semblent grossièrement aller en croissant avec le rapport $\frac{P'}{P}$, en d'autres termes que plus le rapport $\frac{P'}{P}$ est élevé, plus P' est grand, et réciproquement.

Au contraire, il n'y a aucune relation entre P et $\frac{P'}{P}$.

Ayant étudié le pouvoir absorbant des graines entières pour la vapeur d'eau, j'ai voulu connaître la même valeur pour leurs parties isolées. Toutes les expériences ayant

abouti au même résultat, je n'en donne qu'une, à titre d'exemple. Elle est relative au Lupin blanc :

	POIDS SEC	POIDS MAXIMUM	POUVOIR ABSORB.
6 léguments.....	0 ^{gr} ,39	0 ^{gr} ,43	15,38 %
6 embryons	1 ^{gr} ,79	2 ^{gr} ,40	34,08 %

On voit que *l'embryon absorbe une quantité de vapeur d'eau plus considérable que le légument*. Nous savons déjà que pour l'absorption de l'eau liquide c'est presque toujours l'inverse.

On peut aussi faire une autre remarque. En supposant les graines ci-dessus intactes, leur poids aurait été de 2,18. Comme leur pouvoir absorbant est de 27,82 p. 100, elles auraient absorbé 0 gr. 6065. Or, dans le cas actuel, elles ont absorbé 0 gr. 67. On peut en déduire que *l'intégrité du légument diminue le pouvoir absorbant des graines pour la vapeur d'eau*.

Dans l'étude du pouvoir absorbant pour les graines plongées dans l'eau, nous avons constaté de grandes différences individuelles. En est-il de même pour le pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau ? Le tableau ci-dessous relatif à du Lupin blanc, résume sept expériences faites en vue de résoudre cette question :

POIDS de la graine sèche. (Gr.)	QUANTITÉ abs. au bout du 6 ^e jour. %	8 ^e jour. %	10 ^e jour. %	12 ^e jour. %	15 ^e jour. %	19 ^e jour. %	22 ^e jour. (saturat.) %
0,43	11,11	14,4	20	26,6	28,8	33,3	37,77
0,26	7,69	11,5	15,3	20,3	25,4	30,3	34,6
0,215	6,73	11,3	18,52	25,2	27,3	32,1	39,5
0,40	10,92	15,3	18,2	19,3	25,2	32,5	37,5
0,49	8,9	10,2	15,2	20,35	25,7	31,8	38,7
0,38	7,3	15,2	18,2	19,3	20	20,5	21,05
0,40	6,2	8,34	9,4	14,2	18,2	19,3	20,2

Il y a donc de grandes différences individuelles relatives au

pouvoir absorbant des graines pour la vapeur d'eau. Les chiffres que nous avons donnés de ce pouvoir absorbant ne doivent donc pas être pris, loin de là, comme des nombres *absolus*, mais *moyens*, donnant simplement une *idée* de sa valeur.

Le tableau que nous venons de donner indique en outre les valeurs successives qu'a prises le pouvoir absorbant. C'est à l'aide de ces chiffres que nous avons établi le graphique de la figure 8. On a porté en abscisses le nombre de jours et en ordonnées la quantité d'eau absorbée. Les courbes A, B, C, D, E, F sont relatives chacune à l'une des graines du tableau.

Fig. 8. — Courbes exprimant la marche de l'absorption de la vapeur d'eau par des graines de Lupin blanc. — *ox*, ligne des temps (le chiffre 22 indique le 22^e jour); *oy*, ligne des quantités d'eau absorbées; A, B, C, D, E, F, G, courbes relatives à des graines mortes; H, I, J, courbes relatives à des graines vivantes.

Les conclusions à tirer de ce graphique ne sont pas très nombreuses. Tout au plus y voit-on que l'allure des courbes reste à peu de chose près la même bien que le point final diffère. Nous allons cependant voir qu'elles ont leur intérêt. Nous avons en effet cherché de quelle façon marchait l'absorption de la vapeur d'eau avec des graines vivantes. A cet effet, nous avons placé des graines ordinaires dans la cloche précédemment décrite, mais sans chloroforme. L'expérience a dû être arrêtée à moitié chemin par suite de l'envahissement des moisissures et des troubles qu'amène la transpiration de l'embryon sorti de sa vie ralentie.

Les pesées ont été résumées dans le tableau ci-après ; elles sont relatives à trois graines de Lupin blanc :

Poids des graines sèches. (Gr.)	Quantité d'eau absorbée au bout de 24 h. ‰	3 ^e jour.	4 ^e jour.	6 ^e jour.	8 ^e jour.	12 ^e jour.	15 ^e jour.	19 ^e jour.	22 ^e jour.
0,365	9,5	26	34,2	42,4	42,5	43	52	60	67,4
0,365	8,7	17,9	27,1	33,4	39,1	45,3	50,2	52,3	58,9
0,45	6,1	15,3	25,4	29,2	30,1	33,1	49,2	55,3	60

Ce sont ces valeurs qui, dans le graphique de la figure 8, donnent les courbes pointillées H, I et J. Le résultat est, on le voit, très net : *la vitalité de la graine influe d'une manière considérable sur l'absorption de la vapeur d'eau*. L'ensemble des courbes des graines chloroformées est franchement distinct de celui des graines vivantes. *Dans le cas du Lupin, la vitalité augmente sensiblement l'absorption, en valeur absolue et en vitesse.*

Il ne faudrait pas croire que toutes les graines agissent de la même façon, comme l'indiquent les expériences relatées ci-après.

Marche de l'absorption de la vapeur d'eau chloroformée par six caryopses de Maïs :

	Grammes,	Quantité d'eau absorbée p. 100.
Poids sec.....	2,17	
1 ^{er} jour.....	2,32	6,9
2 ^e —	2,45	12,9
3 ^e —	2,62	20
4 ^e —	2,65	22,1
6 ^e —	2,70	24,4
8 ^e —	2,71	24,5
10 ^e —	2,85	31,2
12 ^e —	2,89	33,2
15 ^e —	2,92	34,5
19 ^e —	2,96	36,3
22 ^e —	2,99	37,78

Marche de l'absorption de la vapeur d'eau non chloroformée par huit caryopses de Maïs :

	Grammes.	Quantité d'eau absorbée p. 100.
Poids sec.	2,79	
1 ^{er} jour.	2,96	6,9
2 ^e —	3,04	8,9
4 ^e —	3,11	11,4
7 ^e —	3,15	12,2
11 ^e —	3,16	13,2
14 ^e —	3,30	17,9
17 ^e —	3,36	20
22 ^e —	3,36	20

Ces variations sont représentées par deux courbes dans le graphique de la figure 9.

On voit qu'avec le *Maïs*, contrairement à ce qui a lieu pour le *Lupin*, la vitalité de la graine (ou plus exactement du caryo-

Fig. 9. — Courbes exprimant la marche de l'absorption de la vapeur d'eau par des caryopses de *Maïs*. — *ox*, ligne des temps (le chiffre 22 indique le 22^e jour); *oy*, ligne des quantités d'eau absorbées; A, courbe relative à des semences vivantes; B, courbe relative à des semences mortes.

pse) a diminué le pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau, en vitesse et en valeur.

Mais des expériences sur le *Lupin* et le *Maïs*, il résulte nettement que la vitalité de la semence influe d'une manière très notable, en plus ou en moins suivant les cas, sur l'absorption de la vapeur d'eau.

Ce résultat est fort intéressant, car nous avons vu que le pouvoir absorbant pour l'eau liquide n'était pour ainsi dire pas influencé par la vitalité de la semence.

CHAPITRE XIII

SUR LA RUPTURE DU TÉGUMENT DES GRAINES AU MOMENT DE LA GERMINATION.

La radicule, au moment de la germination, doit percer le

tégument pour se développer au dehors. Elle ne se contente pas de trouser simplement le tégument ; on voit celui-ci éclater suivant une surface assez grande. Quelles sont les forces qui interviennent dans ce travail ? Telle est la question que nous allons aborder dans ce chapitre. Dans nombre de livres classiques, il y a à cet égard une erreur qu'il convient de rectifier. On trouve en effet dans ces ouvrages, des phrases dans le genre de celle-ci : « L'amande absorbant beaucoup d'eau, opère une forte tension sur le tégument qui finit par se déchirer. » Ainsi envisagée, la rupture du tégument semble causée par le phénomène de l'absorption de l'eau. Il est facile de montrer qu'il n'en est rien.

Des graines de Haricot, de Lupin, Moutarde, Fèves, Pois,

Lentilles, etc., sont mises dans l'eau chloroformée. Elles se saturent d'eau, mais *jamais* on n'observe de rupture du tégument. Ce n'est donc pas la dilatation de l'amande qui fait rompre ce dernier.

Je ne connais à cette loi qu'une exception, c'est celle de la graine du *Glaucium luteum*. La graine mise dans l'eau chloroformée gonfle et éclate de la même façon qu'elle le fait au moment de la germination. Cette déhiscence s'opère d'ailleurs d'une manière toute particulière, sous la forme d'un clapet (fig. 10) qui se soulève soit à droite, soit à gauche, sur l'une des faces planes de la semence.

Mais s'il est bien démontré que, à part l'exception précédente, l'amande est incapable à elle seule, physiquement, de faire éclater le tégument, peut-être y

aide-t-elle un peu en distendant ce dernier. Voici qui prouve qu'il n'en est rien :

Des graines de Lupin, Haricot, etc., sont mises dans l'eau chloroformée jusqu'à saturation. A ce moment, on découpe

Fig. 10. — Graine (gros-sie) de *Glaucium luteum*. — I, graine vue sur le côté au moment de sa déhiscence ; A, clapet ; B, fente. II, coupe transversale de la graine au moment de sa déhiscence ; A, clapet ; B, amande.

avec un scalpel une calotte plus ou moins considérable du tégument, sans entamer l'embryon. Le tégument est ainsi divisé en deux parties : il reste en place, sans se rétracter et sans mettre à nu la surface de l'amande. Il n'est donc pas distendu par cette dernière.

Dans l'expérience précédente, on pourrait croire que la distension du tégument par l'amande s'est produite lentement et qu'au moment de la saturation, il s'est, pour ainsi dire, adapté à cette distension et que c'est pour cela qu'il ne revient pas sur lui-même. Pour le savoir, coupons une graine sèche de Lupin en faisant passer le scalpel entre les deux cotylédons, et laissons l'amande et le tégument séparément dans l'eau. Au moment de la saturation, on voit que la première entre tout entière dans le second.

Des expériences précédentes, on peut conclure :

1° *La déhiscence du tégument n'est pas produite par l'amande distendue d'eau :*

2° *L'amande gonflée ne produit même pas une tension sur le tégument.*

La déhiscence du tégument et la sortie de la radicule sont des phénomènes essentiellement vitaux produits par la croissance de cette dernière.

Ce fait est à rapprocher du gonflement des grains de pollen. Ceux-ci, on le sait, éclatent généralement, sous la simple action de l'absorption de l'eau.

Cette radicule, devenant trop grande, finit par distendre le tégument et le faire éclater. Le mécanisme de ce phénomène est d'ailleurs mal connu. Quand on compare la résistance considérable du tégument et la fragilité relative de la radicule, on ne peut que se demander comment celle-là peut arriver à percer celui-ci. Pour ma part, bien que je n'aie pu mettre le fait en évidence, je suis persuadé que la radicule sécrète une diastase, laquelle ramollit localement le tégument, ce qui lui permet de le transpercer.

En effet, en examinant des coupes pratiquées dans le tégument au niveau de la radicule, on voit, au moment de

la déhiscence, les cellules plus ou moins dissociées, comme si elles avaient été attaquées par une diastase. D'autre part, en isolant un grand nombre de léguments de graines germées, en les traitant par l'eau, l'alcool, et reprenant par l'eau, on constate la présence manifeste d'une diastase, malheureusement en trop petite quantité pour qu'on puisse connaître ses propriétés. On ne peut d'ailleurs savoir exactement son origine.

Toutefois, à l'appui de l'idée que j'émetts, je veux citer une expérience qui prouve manifestement que la radicule ne peut simplement, par sa force, percer le légument.

Le petit appareil dont je me suis servi (fig. 11. I) se compose essentiellement d'une baguette de verre effilée à la partie inférieure de manière à avoir exactement la même forme que la radicule, et portant à la partie supérieure un plateau de liège sur lequel on peut placer des poids. La baguette glisse dans un tube de verre, qui la maintient verticale, et vient s'appliquer sur une portion du légument d'une graine gonflée et reposant sur l'orifice d'un autre tube plus petit. Les bords du légument sont rabattus et serrés autour du tube, de manière à former une membrane bien tendue. On peut aussi prendre une

Fig. 11. — Appareil destiné à mesurer la force de résistance du légument (schéma). — I. A, partie effilée de la baguette de verre; B, tube dans lequel glisse la baguette de verre; C, baguette de verre; D, support; E, plateau; F, poids; G, tégument; H, support creux pour le tégument; S, table sur laquelle repose l'appareil; II. Autre dispositif: A, partie effilée de la baguette de verre; B, tégument; C, amande; D, canal; S, table sur laquelle repose le panier.

graine et la percer d'un canal de manière à ne laisser subsister qu'une portion du tégument. De cette façon, on est dans les conditions à peu près normales (fig. 11. II).

Quand l'opération est prête, on met des poids sur le

plateau jusqu'à ce que la baguette transperce le tégument. J'ai pu, ainsi, avec des téguments de Lupin blanc, mettre 100, 150 et même 200 grammes sans voir aucune déchirure.

La radicule peut-elle opérer une pareille force ? Pour le savoir, on isole la radicule d'une graine gonflée de Lupin, en la laissant attachée seulement à une petite portion des cotylédons. On plonge le tout dans la cire de manière que le sommet de la radicule sorte seul. Sur elle vient s'appliquer une planchette très légère (fig. 12). On y place

Fig. 12. — Appareil pour mesurer la résistance de la radicule à l'écrasement. — A, radicule; B, partie des cotylédons; C, cire; D, plateau; E, poids.

des poids jusqu'à ce que la radicule soit écrasée. On constate ainsi que 50 grammes suffisent à écraser la radicule, chez le Lupin. Par des coupes, on se rend compte que le point végétatif est atteint et que la racine ne pourrait ainsi plus croître. Cette radicule qui ne peut résister à une pression de 50 grammes, ne peut donc percer le tégument qui demande pour cela une pression d'environ 150 grammes.

Nous concluons :

La radicule, par la simple force qu'elle développe en croissant, est incapable de percer le tégument. Il est probable qu'elle sécrète une diastase, laquelle diminue la résistance de ce dernier en dissociant les cellules.

La sortie de la radicule dans les graines dures et les akènes résistants fera l'objet d'un travail ultérieur.

DEUXIÈME PARTIE

SUR LE GONFLEMENT DES GRAINES

Les graines plongées dans l'eau présentent un phénomène fort curieux. Quand, au bout d'un certain temps d'immersion, on mesure le volume de la graine gonflée, on trouve que celui-ci n'est presque jamais égal au volume de la graine sèche, additionné de celui de l'eau qui y est entrée : tantôt ce volume est plus grand et l'on dit alors qu'il y a eu *dilatation*, tantôt il est plus petit et l'on dit qu'il y a eu *contraction*. Quelles sont les raisons de ces faits en apparence paradoxaux?

CHAPITRE XIV

HISTORIQUE.

Le problème déjà abordé accidentellement par plusieurs auteurs (1) a été surtout étudié par le Dr W. Detmer (2), professeur à l'Université d'Iéna.

Ce savant s'est servi pour étudier les différences de volume d'un ballon d'une capacité d'environ 600 centimètres cubes et dans lequel on met environ 300 grammes de graines, notamment des Pois. On remplit le ballon d'eau et on le

(1) Citons surtout les travaux suivants :

Wiesner, *Versuchsstationen*.

Nobbe, *Handbuch der Samenkunde*.

Horky in F. Haberlandts, *Wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues*.

Hales, *Statique des végétaux*.

N. J. C. Müller, *Botanische Untersuchungen*, IV.

(2) Detmer, *Wollnys Forschungen auf dem Gebiete des Agriculturphysik*, H. 2.

Id., *Journal f. Landwirthschaft*, 27 Jahrgang.

Id., *Vergleichende Physiologie des Keimungs Processes der Samen*. Iéna, 1880.

ferme à l'aide d'un bouchon traversé par un thermomètre et par un tube de 0,3 centimètres de diamètre, ouvert aux deux bouts. Toutes les cinq minutes on note le niveau de l'eau dans ce tube, au moyen d'une règle graduée en millimètres. On fait ensuite si on le désire la correction due à la température.

Le procédé employé par l'auteur est extrêmement grossier, car il ne fait aucune sélection dans les graines qu'il emploie et qui sont ordinairement des Pois, c'est-à-dire des semences où les téguments sont souvent blessés. Le nombre des expériences effectuées et le peu de variété dans les graines employées, fait que les conclusions qu'il en tire n'ont pas une base suffisamment solide, d'autant plus que les expériences durent un temps beaucoup trop court.

Le second et dernier travail à citer sur le même sujet est celui de M. Leclerc du Sablon (1). Pour étudier les variations de volume, il a employé un moyen simple, mais qui n'est pas très sensible, qui « consiste à mesurer le poids et le volume des graines avant l'immersion et un certain temps après. Le poids de la graine humectée, comparé au poids de la graine sèche, donnera le poids, et, par conséquent, le volume de l'eau absorbée. En ajoutant ce volume à celui de la graine sèche, on a le volume qu'aurait la graine s'il n'y avait eu ni contraction ni dilatation. Il ne reste plus qu'à comparer le nombre ainsi obtenu à celui qu'on a trouvé pour le volume réel de la graine et l'on voit s'il n'y a eu ni contraction, ni dilatation. Si l'on effectue des mesures après des temps différents d'immersion, on peut suivre les variations qui se produisent. » M. Leclerc du Sablon donne les résultats obtenus sur 10 grammes de Fève, Maïs, Orge, Courge, Buis, Févier, Lupin, etc. Quand les différences de volume étaient très faibles, il s'est servi de la méthode suivante : « On se sert d'un flacon muni de deux tubulures, une à la partie supérieure, comme dans les

(1) Leclerc du Sablon, *Expériences sur l'absorption de l'eau par les graines.* (Bull. Soc. bot. de France, 6 avril 1889.)

flacons ordinaires, et une autre, horizontale à la partie inférieure. La tubulure inférieure est fermée par un bouchon traversé par un agitateur qu'on peut faire monter ou descendre par glissement. Ceci posé, on remplit le flacon d'eau, on y met en même temps un poids connu de graines et on ferme de façon que l'intérieur du flacon ne communique avec l'extérieur que par le tube de la tubulure inférieure. » On note le déplacement de l'eau dans le tube et l'on voit ainsi s'il y a dilatation ou contraction. M. Leclerc du Sablon a appliqué cette méthode aux Pois, aux Haricots, au Colza, au Lin, etc.

M. Leclerc du Sablon n'émet aucune hypothèse sur les causes des variations de volume ; sa principale conclusion est qu'il y a de très grandes variations individuelles et que, dans certains cas, avec une même espèce de graine, on a tantôt une dilatation, tantôt une contraction.

Le problème du gonflement des graines restait, pour ainsi dire, presque totalement à résoudre. Il fallait perfectionner les méthodes employées, voir à quoi étaient dues les variations individuelles observées et enfin trouver les raisons de la dilatation et de la contraction. Ce sont ces différents points que nous allons aborder.

CHAPITRE XV

DESCRIPTION D'UN APPAREIL INSCRIPTEUR DU PHÉNOMÈNE.

L'appareil dont je me suis servi pour étudier les changements de volume de l'eau et des graines qui se gonflent se compose essentiellement (fig. 13) d'une boule en verre B, d'une capacité d'environ $\frac{1}{3}$ de litre. A sa partie supérieure, ce réservoir porte une tubulure A de 0^m,06 de longueur et 0^m,04 de diamètre, pouvant être oblitérée par un bon bouchon de caoutchouc E, traversé en son milieu par un agitateur mobile F, glissant à frottement doux.

A sa partie inférieure, le réservoir se continue avec un

tube de 0^m,08 de long, se recourbant de manière à devenir

Fig. 13. — Appareil servant à inscrire les variations de volume des graines et de l'eau qu'elles renferment. — U, cylindre enregistreur; X, courbe tracée; N, paille inscriptrice; O, fil à plomb; P, poids; L, tige du flotteur; G, douille guidant le flotteur; JKL, flotteur; M, tube renfermant le mercure où repose le flotteur; S, courant d'eau; H, branche ascendante; G, branche horizontale; D, mercure de l'ampoule; B, ampoule; C, graines; T, support du fil à plomb; Q, support de l'ampoule; A, col de l'ampoule; E, bouchon; F, agitateur.

Nota. — Dans ce dessin il y a deux points à rectifier : 1^o les graines C ne doivent former qu'une seule couche à la surface du mercure D; 2^o la paille N doit avoir la même longueur de part et d'autre de la tige L.

horizontal sur une longueur de 0^m,09. Ce dernier se recourbe enfin en une branche verticale, bien calibrée, de

0^m,20 de long et 0^m,0035 de diamètre intérieur. La section de la cavité intérieure de ce tube est donc de 9^{mm},65.

J'ai également employé, mais plus rarement, des réservoirs de 1/6 de litre et des tubes de 1^{mm},5 de diamètre intérieur.

Dans le réservoir se trouvent les graines, l'eau et du mercure qui se continue dans la branche horizontale et jusqu'à une certaine hauteur dans la branche verticale du tube.

Sur la surface libre du mercure repose un petit flotteur en aluminium, formé d'un tronc de cône et d'un cylindre. Ce dernier porte à sa partie supérieure une mince tige de fer de 0^m,22 de long qui supporte à son sommet une paille réunie à elle par de la cire et coupée en biseau à une de ses extrémités. La tige de fer est maintenue verticale par un petit chapeau en laiton, percé en son centre d'un petit trou dans lequel elle peut glisser sans frottement.

Quand on commence à faire des expériences, on est tenté de fixer la tige de fer à l'extrémité non pointue de la paille; c'est une pratique essentiellement mauvaise et qui fait parfois manquer nombre d'expériences. En effet, la paille, pesant d'un seul côté, entraîne la tige obliquement et lui fait toucher les bords du trou du petit chapeau. Ce frottement est alors suffisant pour arrêter la marche du flotteur. Il faut donc coller la tige *au milieu* de la paille: le flotteur reste de cette façon vertical et ne frotte pas sur le chapeau.

La pointe du style en paille est guidé par un fil de soie maintenu vertical par un petit poids. Elle s'appuie sur un cylindre inscripteur recouvert d'un papier enduit de noir de fumée. Les cylindres que j'ai employés avaient une circonférence de 0^m,295 et faisaient un tour complet, l'un en une semaine, l'autre en un jour.

Tout l'appareil, à l'exception de la tubulure et du sommet de la branche verticale, est plongé dans un vase rempli d'eau et parcouru par un courant à température constante. De cette façon on n'a pas à craindre que les changements de la température ambiante ne viennent dilater ou contracter le

mercure et faire croire ainsi, à une augmentation ou à une diminution de volume des graines.

Le courant d'eau a aussi l'avantage d'enlever la chaleur dégagée par la combinaison de l'eau et des matières de réserve, chaleur qui serait capable de produire un déplacement notable du flotteur : ce courant d'eau est très important.

D'après la description de cet appareil, il est facile de concevoir son mode de fonctionnement. Si l'augmentation de volume des graines est exactement égal à la quantité d'eau qu'elles ont absorbée, le volume du liquide du réservoir ne change pas et le style trace une ligne horizontale. Si l'augmentation de volume des graines est plus grande que la quantité d'eau qu'elles ont absorbée, le volume du liquide du réservoir devient plus grand, le flotteur s'élève et le style inscrit une ligne ascendante. Si enfin, il y a contraction, c'est-à-dire si l'augmentation du volume des graines est inférieure à la quantité d'eau qu'elles ont absorbée, le volume total diminue, le flotteur s'abaisse et le style inscrit une ligne descendante.

De cette façon, les moindres différences de volume s'inscrivent sur le cylindre enregistreur, à la condition d'employer un nombre de graines suffisamment grand et un tube suffisamment étroit. Ceci dit, voyons de quelle façon on procède pour mettre l'appareil en travail.

Du mercure *bien propre* étant versé dans le réservoir, on achève de remplir celui-ci avec de l'eau et on projette dans le liquide les graines, en ayant soin de suivre les conseils que nous donnons plus loin. Ceci étant fait, on met en place le bouchon et on enfonce l'agitateur. Le mercure s'élève dans la branche verticale et une partie s'écoule par l'extrémité libre. On retire alors un peu l'agitateur, suffisamment pour que le mercure descende vers le milieu environ de la branche verticale. C'est alors seulement que l'on introduit le flotteur et qu'on appuie légèrement la pointe de la paille à l'aide du fil à plomb sur le cylindre.

Ici se place un détail, infime en apparence, mais qui a eu, pour moi, une importance considérable, puisque, pour l'avoir méconnu, mes recherches ont été très aléatoires pendant fort longtemps : ce n'est guère qu'à partir de l'époque où je l'ai mis en lumière que j'ai pu recueillir les graphiques dont il est question dans ce travail. Les variations de volume étant presque toujours très faibles, et comme on est obligé pour des raisons que j'exposerai plus loin à se limiter dans le nombre des semences mises en expériences, on est forcé de ne se servir que d'un tube de très faible diamètre.

Au début, pour me conformer à l'habitude des physiologistes qui ont l'occasion d'employer des manomètres inscripteurs, je prenais grand soin de tenir l'intérieur du tube bien sec, ainsi que la surface du mercure. Malgré le bon calibrage du tube et la régularité du cylindre d'aluminium, presque à chaque expérience il arrivait un accident à ce dernier. Avec un tube de très faible diamètre, le flotteur se laissait submerger par le mercure se dilatant ou restait adhérent au verre quand le mercure redescendait. Si la lumière du tube était moyenne, le premier accident était bien écarté, mais le second subsistait souvent. Or, ce fait se produisant même une seule fois, l'expérience était perdue. En désespoir de cause, j'eus l'idée, pour rendre l'adhérence du mercure et du flotteur plus intime, de mouiller légèrement la surface du ménisque avec de l'eau. Les résultats obtenus furent, s'il était possible, encore plus mauvais que précédemment : l'eau se glissant entre le verre et le flotteur, maintenait celui-ci fixe par capillarité quand le mercure descendait. Continuant mes tâtonnements, j'eus le plaisir de voir aboutir mes efforts d'une façon aussi simple qu'inattendue, en mettant dans le tube suffisamment d'eau pour noyer complètement le flotteur. Dès lors, je vis l'appareil inscripteur suivre avec la plus grande fidélité les divers mouvements du mercure : l'eau faisait adhérer facilement le flotteur au mercure et lui permettait de glisser le long du tube. De plus, le petit

chapeau étant percé d'un très petit orifice, il n'y a pas à craindre l'évaporation de l'eau du tube : l'appareil peut fonctionner plusieurs jours sans inconvénient. Cette méthode n'est pas applicable à un cylindre d'ivoire, car celui-ci, en contact de l'eau, se dilate et ne peut plus glisser dans le tube.

CHAPITRE XVI

CHOIX DES GRAINES A EMPLOYER.

Nous venons d'indiquer comment on peut recueillir les graphiques des changements de volume. Tous les détails que nous avons donnés sont indispensables pour arriver à des résultats satisfaisants. Mais ce n'est pas seulement sur l'appareil que doit se porter l'attention, mais encore et surtout sur les graines.

En effet, avec l'appareil décrit, en le mettant toujours dans les mêmes conditions, et en se servant d'une même espèce de graine, il arrive souvent qu'on aboutit à des résultats tout à fait différents les uns des autres. Nous avons élucidé les raisons de ces variations et nous avons fini par fixer les conditions de l'expérience.

Pour étudier en effet les changements normaux de volume qui se manifestent pendant le gonflement, il convient de faire parmi les graines que l'on récolte dans la nature ou que l'on trouve dans le commerce un choix méticuleux : on ne doit prendre que les graines qui sont absolument exemptes de toute blessure. Il faut à cet effet examiner la surface du tégument à l'aide d'une loupe et faire bien attention à ce qu'il ne présente aucune fissure. C'est là, bien qu'il y paraisse au premier abord, une opération très délicate et de la plus haute importance pour avoir des résultats toujours identiques à eux-mêmes : en effet, la contraction due à la présence d'une seule graine blessée peut parfois être plus importante que la dilatation due à dix graines intactes ; on

comprend que, dans ces conditions, le résultat final soit profondément altéré.

En général, on opère sur une dizaine de graines de manière qu'elles ne soient disposées que sur une seule couche à la surface du mercure : de cette façon, en regardant au travers du verre, on peut surveiller le gonflement et voir s'il se fait d'une façon normale. Les graines blessées se gonflent, en effet, considérablement plus vite que les graines intactes ; il arrive souvent que, parmi les semences que l'on a mises dans l'eau, croyant qu'elles étaient intactes, une ou deux d'entre elles présentent une petite fissure ; on reconnaît leur présence à leur gonflement rapide et à leur plaie dont les bords s'entr'ouvrent petit à petit. Quand cet accident survient, il faut arrêter l'expérience et en recommencer une autre, avec de nouvelles graines. Avec des Lentilles ou des Pois, j'ai souvent été obligé de recommencer l'expérience plus de trente fois, avant d'obtenir un résultat satisfaisant.

Avant de mettre les graines dans le réservoir, on les compte et on les pèse. On les prend alors avec les doigts humides et on les frotte de manière à imprégner bien d'eau la surface. Sans cette précaution, les graines entraînent avec elles des bulles d'air qui, plus tard, se dissout en partie ou vient se rassembler au-dessous du bouchon et créer une couche élastique dont la compressibilité altère les mouvements du flotteur. Si, par hasard, quelque bulle est entraînée, on la détache en agitant fortement l'eau avec un agitateur.

Mais, nous le répétons, *en ce qui concerne l'étude des variations de volume total des graines et de l'eau qu'elles contiennent, la condition nécessaire, pour obtenir des résultats toujours identiques, consiste à ne prendre que des graines indemnes de toute blessure et qui se gonflent en même temps et de la même façon.*

CHAPITRE XVII

DISPOSITIF POUR METTRE EN ÉVIDENCE, DANS UN COURS PUBLIC, LE PHÉNOMÈNE DES VARIATIONS DE VOLUME DUES AU GONFLEMENT.

Dans un cours public, on peut montrer le phénomène du gonflement en mettant simplement des graines avec de l'eau dans un flacon dont le bouchon est percé d'un tube vertical. On note le niveau de l'eau au début de l'expérience à l'aide d'un trait de couleur. On fait constater au bout d'un instant à l'auditoire que le niveau de l'eau s'est élevé.

Cette façon de procéder n'est pas très bonne, à notre avis, parce que la colonne d'eau est pour ainsi dire invisible pour l'auditoire et celui-ci est obligé de croire le professeur sur parole.

Le dispositif que nous avons imaginé ne prête pas à la même observation (fig. 14). Voici en quoi il consiste. On prépare d'avance : 1° un flacon à col droit de trois quarts de litre et à parois assez résistantes ; 2° un bouchon percé de deux trous, dont l'un est traversé par un agitateur enduit de vaseline et dont l'autre donne passage à un tube d'abord vertical, puis horizontal, et enfin recourbé à son extrémité légèrement effilée par une branche verticale et descendante ; 3° un tube à essais dans lequel on a agité du rouge d'aniline en poudre, de manière à en imprégner les parois.

Ceci étant établi, au moment où le professeur commence à parler du gonflement, on met dans le flacon un demi-litre

Fig. 14. — Dispositif pour mettre en évidence dans un cours public le phénomène des variations de volume dues au gonflement (dilatation). — A, vase ; B, graines ; C, agitateur ; D, tube ; E, eau ; F, tube ; G, partie effilée du tube.

de graines de Lupin blanc (graines que nous recommandons tout particulièrement) et l'on achève de remplir avec de l'eau en ayant soin de remuer les graines avec un tube pour chasser l'air interposé entre les semences. On bouche aussitôt le flacon avec le bouchon muni d'un tube E, mais sans agitateur. Quand le bouchon est bien enfoncé, on introduit l'agitateur de manière à amener l'eau jusqu'à l'extrémité effilée du tube, en F. A ce moment, tout l'appareil est absolument rempli d'eau. On met le tube à essai G

Fig. 15. — Modification à l'appareil de la figure 14, pour montrer la contraction. — A, partie du tube (branche F dans la figure 14) contenant de l'eau; B, index d'air; C, liquide coloré; D, branche verticale du tube; E, vase renfermant un liquide coloré. La flèche indique le sens dans lequel se produit l'aspiration.

au-dessous de l'extrémité F. Bientôt on voit l'eau couler goutte à goutte en G; aussitôt bouché, il prend une couleur rouge foncé visible de tous les points de la salle. Personne ne peut douter après cette expérience que la quantité dont le liquide se

gonfle n'est pas égale à la quantité d'eau absorbée. On pourrait l'appeler l'expérience « du vase qui se vide tout seul ».

Pour montrer la contraction qui accompagne le gonflement de certaines graines, on se sert (fig. 15) encore du flacon A, du bouchon D, du tube E et de l'agitateur C. Mais, on met dans le vase des caryopses de Maïs et l'on ne fait venir l'eau que jusqu'au milieu de E. Quant à la pointe F, on la plonge dans une petite cuvette remplie d'une matière colorante quelconque. Bientôt on voit celle-ci pénétrer dans le tube E; on le montre à l'auditoire en plaçant derrière cette région un écran blanc, une simple feuille de papier; il est séparé de l'eau par un index d'air.

CHAPITRE XVIII

RÉSULTATS OBTENUS.

Les graphiques que nous avons recueillis avec l'appareil

décrit plus haut sont très nombreux. Nous allons donner les résultats obtenus, en nous bornant aux principaux. Les figures que nous donnons représentent la feuille du cylindre fendue suivant une génératrice et étalée sur le papier (réduite par la photographie).

A. *Lupin blanc.*

a) Six graines du Lupin blanc intactes sont mises dans l'appareil et dans de l'eau pure. Aussitôt que l'appareil est mis en marche, on voit le flotteur et par suite la courbe (fig. 16, courbe pleine), s'élever rapidement. Au bout de 1^h,9, l'ascension commence à être moins rapide. La courbe s'élève ainsi et atteint un point maximum au bout de 9^h,16. La courbe décroît ensuite progressivement et atteint la ligne des abscisses au bout de 23^h,10. Puis la ligne continue à descendre progressivement et devient sensiblement horizontale. Au bout de 11 jours cependant la courbe commence à se relever lentement.

Voici quelques-uns des changements de volume observés :

Nombre d'heures.	Millim. cubes.
1 ^h ,9 ^m	+ 115,80
9 ,16	+ 186,23
14 ,28	+ 96,65
23 ,10	0
30 ,15	— 77,20
68 ,20	— 135,10
236 ,20	— 154,40
264 ,25	— 145,75

b) Avec d'autres graines de Lupin placées dans les mêmes conditions, on obtient des courbes analogues, *en ce qui concerne leur allure générale*, c'est-à-dire une dilatation au début, puis une contraction. Mais les chiffres obtenus diffèrent d'une manière très sensible. Le temps pendant lequel s'effectuent les différentes phases de la courbe sont variables, ainsi que les hauteurs de cette dernière.

c) En mettant trois graines de Lupin blanc dans de l'eau chloroformée, on obtient la courbe pointillée de la figure 16.

Comme on le voit, elle ne diffère de celle obtenue avec l'eau ordinaire que par ses dimensions, très variables dans tous

Fig. 16. — Lupin blanc. Graines entières. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en sept jours. La courbe pleine A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S est relative à six graines plongées dans l'eau pure. La courbe pointillée a, b, c, d, e, f, g, h, i, j est relative à trois graines plongées dans l'eau chloroformée.

Fig. 17. — Lupin blanc. Dix embryons isolés. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en vingt-quatre heures. — La courbe se lit en suivant l'ordre des lettres A, B, C, etc.

Fig. 18. — Lupin blanc. Embryons brisés en fragments. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale directe en vingt-quatre heures. — La courbe se lit en suivant l'ordre des lettres A, B, C, etc.

les cas, comme nous venons de le dire. Nous n'avons représenté cette courbe qu'en partie. Comme dans les cas

précédents, il y a eu un léger relèvement de la courbe au bout d'une huitaine de jours.

d) Enlevons le tégument à des graines de Lupin et plongeons les embryons dans l'appareil. La courbe obtenue avec 10 embryons (fig. 17) montre qu'il n'y a pas dilatation, mais contraction, puis que la courbe tend à remonter, mais sans jamais atteindre l'horizontale passant par le volume initial.

Fig. 19. — Lupin blanc. Onze graines vernissées. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en seize heures. — La courbe se lit en suivant l'ordre des lettres A, B, C, etc.

Ensuite la courbe redescend et la contraction augmente. Il y a donc toujours contraction avec des embryons isolés. Le seul fait curieux à noter, c'est ce qu'on pourrait appeler la dilatation dans la contraction, dilatation qui se produit environ une heure après l'immersion. Cette petite dilatation n'est d'ailleurs pas constante ; elle manque souvent, sans qu'on puisse dire à quoi cela est dû.

Fig. 20. — Lupin blanc. Graines enveloppées de cire. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en seize heures. — La courbe se lit en suivant l'ordre des lettres A, B, C, etc.

e) En brisant les graines en fragments d'environ 1 ou 2 millimètres, on n'obtient jamais qu'une contraction, sans le phénomène parasite que nous venons d'indiquer (fig. 18).

f) Enveloppons 11 graines de Lupin blanc d'une mince couche d'un vernis peu résistant, par exemple le vernis au pinceau que l'on trouve dans le commerce. Détachons le vernis en un point. Le tégument s'imbibe plus lentement que dans le cas normal et finit par faire éclater la couche

de vernis qui s'oppose à la dilatation de la graine. On obtient la courbe de la figure 19. On voit que l'allure générale ne diffère pas de celle des graines normales, mais que la dilation est considérablement diminuée, du fait de la résistance qu'offre le vernis au plissement.

g) Enveloppons plusieurs graines de Lupin blanc d'une épaisse couche de cire et détruisons celle-ci en un point : nous ne permettons à l'eau de pénétrer que par cet orifice : les graines sont dans le cas des graines à tégument dur où l'eau ne pénètre que par le micropyle. On obtient la courbe de la figure 20. On voit que la dilatation est complètement supprimée et qu'il ne reste que la contraction.

B. *Fève des marais.*

D'un certain nombre d'essais préliminaires, j'avais cru devoir conclure, et nous verrons plus loin que c'est à cette idée que je me suis arrêté, que toutes les graines à téguments minces devaient présenter une dilatation. Or le cas de la Fève, d'après les chiffres de M. Leclerc du Sablon, m'embarrassait singulièrement. Voici en effet les chiffres donnés par cet auteur : t étant le temps d'immersion, V_1 le volume de la graine, V_2 la somme des volumes de la graine sèche et de l'eau absorbée, et d , la différence de ces deux volumes :

t heures.	V_1 cent. cubes.	V_2 cent. cubes.	d cent. cubes.
0	8,6	8,6	0
7	4,8	9,4	0,6
13	11,5	11,9	0,4
36	14	15,1	1,1
53	15,6	16,2	0,6
74	18	18,2	0,2
93	19,9	19,1	0,3

« On voit, dit-il, que la contraction passe par un maximum au bout de trente-six heures d'immersion et qu'elle devient ensuite nulle. Lorsque la germination commence, comme à la fin de l'expérience, dont les résultats sont consignés dans le tableau précédent, il y a une légère dilatation. »

Or, il suffit de regarder les courbes (fig. 21) que j'ai obtenues avec mon appareil pour voir qu'il y a au début de l'expérience une dilatation manifeste (1). Pour bien montrer ce fait j'ai représenté deux courbes, obtenues toutes deux avec 10 graines. La courbe pleine correspond à de petites Fèves, la courbe pointillée à des petites et des grosses Fèves mélangées. J'ai pris grand soin que les semences ne soient pas blessées et que leur gonflement se fasse d'une manière bien homogène. La température était de 9°.

Examinons spécialement la courbe pleine A, B, C, etc., qui se continue jusqu'à M, c'est-à-dire pendant quarante-huit heures. On voit cette courbe s'élever progressivement jusqu'en B, point culminant. A ce moment,

c'est-à-dire environ 5 heures 20 après l'immersion, l'augmentation de volume

Fig. 21. — Fève des marais. Graines intactes. Eau chloroformée. — La courbe pleine est relative à dix Fèves petites. La courbe pointillée est relative à dix Fèves petites et grosses. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — *xy* est une horizontale décrite en vingt-quatre heures. — Les courbes se lisent en suivant les lettres A, B, C, etc., pour la courbe pleine, et les chiffres 1, 2, 3, etc., pour la courbe pointillée.

(1) Cette dilatation avait d'ailleurs été déjà constatée par Nobbe.

était de $173^{\text{mm}3}$,7. La courbe descend ensuite brusquement jusqu'en C, puis lentement jusqu'en D et arrive en D, c'est-à-dire que là, le volume de la graine humide est égal à celui de la graine sèche et de l'eau absorbée. Dans les deux expériences, ce moment arrive environ quinze heures après l'immersion.

Dès lors, la courbe passe au-dessous de l'horizontale, c'est-à-dire qu'il y a contraction, phénomène qui dure et qui augmente très vite, au début, plus lentement à la fin.

Un fait curieux dans la courbe que donne la Fève, ce sont ces abaissements rapides qui sont si visibles et dont je n'ai pas pu savoir la cause.

Je dois aussi noter qu'au moment où la courbe pointillée prend fin, c'est-à-dire en 10, j'ai trouvé de l'eau sous les téguments encore plissés et que les graines ouvertes sous l'eau laissaient échapper des gaz.

C. *Haricot.*

Chez les différentes espèces et variétés de Haricots, la courbe est la même que celle du Lupin, avec cette seule différence que l'ascension de la courbe au début se fait plus lentement que dans le Lupin.

Mais le fait à noter ici c'est la très grande variabilité dans les résultats obtenus, quant à la hauteur de la courbe, variabilité qui est beaucoup plus grande que celle des autres graines que j'ai envisagées. Avec des graines aussi identiques que possible à la vue, on obtient des courbes d'élévation qui varient du simple au triple et même au quadruple. Si l'on se demande à quoi peuvent être dues des différences aussi considérables, on ne tarde pas à être amené à en chercher la cause dans le plissement des graines plongées dans l'eau. Cette idée préconçue nous a amené à des résultats intéressants. En effet, en mettant des Haricots dans l'eau, on voit que la zone qui se plisse est plus ou moins étendue suivant les individus considérés. Chez les uns, elle se réduit à une surface d'un millimètre carré, tandis que,

chez les autres, elle occupe tout le pourtour de la graine et, chez d'autres même, elle envahit toute la surface. En cherchant à quoi sont dues ces différences, on voit que, chez les Haricots, le tégument adhère toujours sur une plus ou moins grande surface aux cotylédons : ce n'est que dans les zones où il n'y a pas adhérence que se produit le plissement. En regardant les graines sèches, il est impossible de savoir si ces différences existent et il est nécessaire pour s'en rendre compte, de plonger les graines dans l'eau. Dans notre grand appareil, il est impossible de tirer des conclusions certaines, car, sur les 5 à 10 graines que l'on emploie, les unes se plissent beaucoup, et les autres peu.

Aussi, pour analyser le phénomène de plus près, me suis-je servi d'un petit appareil analogue à celui de la figure 13, mais où le tube manométrique était presque capillaire. On ne pouvait pas, bien entendu, employer de flotteur, mais une règle divisée en millimètres indiquaient les déplacements de mercure. Il était ensuite facile de tracer la courbe du phénomène. Grâce à la finesse du tube manométrique, les déplacements de la colonne mercurielle étaient considérables. On pouvait par suite opérer avec *une seule* graine et noter en même temps la manière dont celle-ci se plissait.

J'ai obtenu ainsi des résultats fort intéressants qui peuvent se résumer en ceci : *La hauteur de la colonne de mercure soulevée, c'est-à-dire la dilatation, est d'autant plus grande que la surface plissée l'est plus.* Je représente (fig. 22) trois de ces courbes obtenues, avec, à côté d'elles des schémas représentant, sur des Haricots, la zone qui s'était plissée.

Fig. 22. — Haricot blanc. — A, B, C, graphiques obtenus avec les haricots A' B' C' (début de l'imbibition), où la zone plissée est couverte de hachures. *xy* est une horizontale.

Il est même arrivé des cas, mais ceux-là tout à fait exceptionnels, où il n'y a pas eu de dilatation. Mais, c'est là une exception qui confirme la règle, puisque chaque fois que ce résultat a été obtenu, les graines ne s'étaient pas plissées : c'étaient des graines où le tégument était adhérent par toute sa surface à l'embryon.

D. *Pois.*

Les graines de Pois sont de très mauvais types pour étudier le gonflement, car elles ne se plissent que fort peu, et, d'autre part, le nombre des graines blessées est extrêmement considérable. Par un hasard singulier, mais qui

Fig. 23. — Pois gris de printemps. Quarante graines intactes. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en six jours. — La courbe se lit en suivant l'ordre des lettres A, B, C, etc.

s'explique cependant si l'on remarque que, dans les laboratoires, on a presque toujours des Pois à sa disposition, c'est à ces graines que beaucoup d'auteurs se sont adressés pour étudier le phénomène qui nous intéresse. Hales avait déjà noté que lorsqu'on met de l'eau et des Pois dans un récipient complètement plein, tantôt l'eau déborde, tantôt ne déborde pas. M. Leclerc du Sablon note des variations tout aussi considérables. Quant à M. Detmer il donne des chiffres qui ne paraissent guère plus concluants.

a) Or, en recommençant souvent des expériences, on arrive à obtenir que les graines se gonflent toutes en même temps. On obtient ainsi, avec des Pois gris de printemps, la courbe de la figure 23 qui représente la courbe normale de gonflement. La courbe a été obtenue avec 40 graines et

de l'eau ordinaire. On voit qu'après la première phase du gonflement, la courbe présente deux élévations et deux abaissements successifs avant de passer de nouveau au-dessous de l'horizontale et cette fois d'y rester.

b) En mettant des graines dans de l'eau chloroformée,

Fig. 24. — Pois gris de printemps. Trente graines intactes. Eau chloroformée. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en cinq jours. — La courbe se lit en suivant les lettres A, B, C, etc.

on obtient la courbe de la figure 24. Comme on le voit, les deux élévations et abaissements que nous venons de signaler ont disparu : ce sont des phénomènes physiologiques dont nous n'avons pas à nous occuper. La courbe des phénomènes physiques est donc la même que celle du Lupin.

c) Quand sur 40 graines, 2 ou 3 sont blessées, la courbe de dilatation diminue.

d) Quand 4 ou 5 graines, sur 40 sont blessées, la courbe de dilatation est à peine visible.

e) Quand il y a plus de 5 graines blessées, la dilatation disparaît complètement ; il n'y a plus qu'une contraction.

f) On voit par ces trois expériences combien l'intégrité du tégument est importante. En nous servant de l'appareil décrit à propos des Haricots, avec un tube encore plus fin, nous avons pu opérer avec une seule graine. Nous

Fig. 25. — Courbe montrant le début de la contraction avec 3 graminées de Pois, coupées en deux (a), en quatre (b), en huit (c), en onze (d), et pulvérisées (e). — xy est une horizontale. — Ces courbes ont été obtenues séparément. Sur le dessin on les a toutes reportées à partir du point O.

avons vu ainsi qu'il y avait toujours dilatation avec une graine indemne et toujours contraction avec une graine blessée.

Fig. 26. — Maïs. Six caryopses intacts. Eau ordinaire. (Graphique fendu suivant une génératrice du cylindre et étalé.) — xy est une horizontale décrite en sept jours. — La courbe se lit en suivant les lettres A, B, C, etc.

g) Les courbes de la figure 25 sont fort intéressantes. Elles représentent le début de la contraction avec des graines coupées en 2 (*a*), en 4 (*b*), en 8 (*c*), en 11 (*d*) et pulvérisées (*e*).

On voit que la contraction est d'autant plus rapide que l'état de division de la graine est plus fort, c'est-à-dire que l'eau est plus vite en contact avec les matières de réserve.

E. *Colza*.

Très légère dilatation, puis contraction.

F. *Lentille*.

Légère dilatation, puis contraction. La dilatation est fort difficile à constater en raison des blessures que présentent presque tous les légumes.

G. *Maïs*.

Avec le Maïs (fig. 26), on n'obtient jamais trace de dilatation. La contraction commence aussitôt après l'immersion. Elle se produit sans différences importantes avec de l'eau ordinaire et de l'eau chloroformée. Elle est plus rapide si les graines sont blessées.

H. *Blé, Orge, Soleil, Lin, Courge, Ricin.*

Avec les caryopses de Blé et d'Orge, les graines à téguments durs de Ricin et de Courge, les graines à téguments gélifiables de Lin, les akènes de Soleil, il y a toujours contraction, jamais de dilatation.

CHAPITRE XIX

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS.

Avant de faire la synthèse des résultats obtenus dans l'étude des variations de volume relatives des graines plongées dans l'eau, il est nécessaire de faire une remarque.

En plongeant des graines dans l'eau, on se met dans des conditions qui ne se trouvent pas réalisées dans la nature. Il y a donc lieu de se demander si les phénomènes que nous avons examinés sont bien naturels ou si ce sont de simples « curiosités ».

Pour le savoir nous avons mesuré le volume et le poids de quelques graines et nous les avons mises dans de la terre humide. Au bout d'un certain temps nous les avons retirées de la terre et nous avons mesuré de nouveau leur volume et leur poids.

Nous avons ainsi constaté des phénomènes exactement semblables à ceux obtenus plus haut, c'est-à-dire une dilatation, puis une contraction chez le Lupin, une simple contraction chez le Maïs.

Le paradoxe du gonflement des graines est donc un phénomène qui se passe dans la nature.

Si nous envisageons maintenant d'une manière générale les résultats obtenus, nous obtenons quatre lois qui ne souffrent aucune exception, à la condition de n'envisager que des graines absolument saines :

1° *Chez toutes les graines à tégument dur, il y a contraction du volume total des graines et de l'eau absorbée* (Ex. : Ricin).

2° Chez toutes les graines où le tégument est adhérent à l'albumen ou à l'embryon, il y a contraction (Ex. : Maïs).

3° Chez toutes les graines enfermées dans un akène, il y a contraction (Ex. : Soleil).

4° Chez toutes les graines qui possèdent un tégument mince et qui se plissent, il y a d'abord une dilatation, puis une contraction (1) (Ex. : Lupin).

Or, même en n'envisageant que ces quatre conclusions, nous sommes amenés naturellement à voir une concordance remarquable entre la nature du tégument et les changements de volume :

1° Il y a toujours chez les graines, plus ou moins tard, suivant les graines, une contraction.

2° Cette contraction est précédée d'une dilatation seulement dans le cas où le tégument est mince et n'adhère pas à l'amande, c'est-à-dire chez les graines où le tégument se plisse.

CAUSES DE LA CONTRACTION. — La contraction est le phénomène le plus général de gonflement des graines. L'explication de la contraction ne souffre aucune difficulté : elle est produite par la contraction qui accompagne la combinaison chimique des matières de réserve avec l'eau.

On constate en effet une pareille contraction en prenant pour point de départ les matières de réserve elles-mêmes, amidon, gomme, caséine, aleurone, etc.

Les mélanges d'eau et des matières de réserve montrent une augmentation de chaleur, comme celles des graines plongées dans l'eau.

Nous avons vu (Pois. Exp. *g*) que la contraction se produit d'autant plus vite que l'embryon est brisé en fragments plus petits, c'est-à-dire d'autant plus que la combinaison a des raisons de se faire plus rapidement.

Elle a seule raison de se produire avec des graines à tégu-

(1) Nous laissons de côté la dilatation qui se produit quelquefois au bout de plusieurs jours et qui est due à des phénomènes complexes, dus à l'action de l'eau sur les matières de réserve et qui exigerait, pour être étudiée avec soin, un mémoire spécial.

ment dur, où l'eau pénètre lentement par le hile et se combine avec les matières de réserve. De même pour les caryopses.

La contraction résulte donc le plus souvent de la combinaison de l'eau et des matières de réserve.

Elle est aussi quelquefois due en outre à la dissolution des gaz des téguments lacuneux par l'eau qui y pénètre : c'est ce qui a lieu par exemple pour la Courge et la plupart des akènes.

CAUSES DE LA DILATATION. — Si l'explication de la contraction ne souffre aucune difficulté, il n'en est pas de même de la dilatation. A cet égard cependant nos expériences nous paraissent concluantes.

Comme nous l'avons dit plus haut, il y a un rapport étroit, indispensable, entre la dilatation et le plissement : c'est là, selon nous, qu'est le nœud de la question.

Envisageons en effet ce qui se passe dans une graine, à tégument mince et non adhérent, plongée dans l'eau. Celle-ci, comme plusieurs auteurs l'ont démontré, ne s'introduit pas seulement par le hile, mais par toute la surface du tégument. Aussi qu'arrive-t-il ?

Le tégument s'imbibe rapidement et augmente immédiatement de volume. Par suite, il se plisse et s'éloigne de l'amande qui ne peut le suivre dans ce mouvement. Il en résulte, comme nous l'avons vu dans le chapitre I^{er}, des vides au-dessous des plissements, vides où les gaz contenus entre le tégument et l'amande se trouvent raréfiés : c'est à ce fait qu'est due l'augmentation de volume de la graine.

Pour combler les vides ainsi produits, une partie des gaz de l'amande, soumis à une tension négative, se dégagent et viennent les combler en partie, d'où une nouvelle cause d'augmentation de volume.

Quand le plissement est à son maximum ou même un peu avant, l'eau passe directement des points du tégument qui touchent à l'amande, à celle-ci ; là, il se produit une combinaison, une contraction ; la courbe d'inscription

descend et dès lors la contraction ne fait qu'augmenter.

Cette théorie s'accorde en tous points avec les faits que nous avons mis en lumière.

Si, en effet, le tégument est blessé, l'eau se combine directement avec les matières de réserve et le tégument ne se plisse pas : il y a contraction (Pois. Exp. *f*). C'est à ce fait qu'il faut attribuer les erreurs de certains auteurs qui prenaient des graines telles quelles dans un paquet et les mettaient ainsi dans un appareil quelconque : certaines d'entre elles présentaient bien une dilatation, mais celles qui avaient le tégument blessé présentaient une contraction qui non seulement neutralisait la dilatation, mais la dépassait même en valeur ; de sorte qu'au total, ils trouvaient une contraction, alors que normalement, ils auraient dû trouver une dilatation.

Le rapport entre la dilatation et le plissement est bien montré par notre expérience, faite avec des Haricots et qui prouve que la dilatation est d'autant plus considérable que la surface du plissement est plus large.

Ainsi envisagé, le phénomène de plissement est purement physique. Et, en effet, nous avons constaté (Lupin. Exp. *c*), qu'il n'était nullement troublé en se servant de graines vivantes, mortes ou endormies.

D'ailleurs, il est facile d'empêcher la dilatation en empêchant le plissement, ainsi que le montre l'expérience *g* (Lupin). Dans celle-ci, nous avons transformé une graine de Lupin à graine à tégument dur, où l'eau ne peut pénétrer que par un point, un micropyle artificiel. Aussi qu'est-il arrivé ? Nous n'avons pas eu de dilatation, mais une simple contraction, comme dans les graines à tégument naturellement dur. La dilatation peut d'ailleurs (expérience *f*, Lupin) être simplement diminuée, par un durcissement artificiel moins grand du tégument.

Mais ce n'est pas tout. On peut ajouter d'autres faits non moins probants à ceux que nous avons déjà exposés, ainsi qu'on va le voir dans les chapitres suivants.

CHAPITRE XX

SUR LA RARÉFACTION DE L'ATMOSPHÈRE INTÉRIEURE DES GRAINES QUI SE GONFLENT.

On peut démontrer la raréfaction de l'air contenu entre l'amande et le tégument quand celui-ci se dilate par suite de l'imbibition de l'eau. J'ai employé à cet effet un appareil très simple à construire.

La graine dont je me suis servi est celle du *Canavalia ensiformis*, sorte de gros Haricot des Antilles. J'ai choisi cette graine parce que le phénomène morphologique du gonflement est très net et très puissant. A l'un des sommets, je perce un petit orifice arrondi d'environ un millimètre et demi de diamètre. Ce trou intéresse seulement le tégument et non l'amande.

D'autre part, je prends un tube de verre ordinaire dont je fonds le milieu à la lampe et que j'étire ensuite de manière à avoir une longueur d'environ 60 centimètres. Je coupe la partie effilée au milieu. J'ai ainsi un tube de très mince diamètre (environ 1 millimètre) qui est encore attaché au restant du tube. Je coupe celui-ci avec soin de manière que le petit tube possède à son extrémité une forme évasée (fig. 27).

Ceci étant fait, je courbe le tube à angle droit à environ 3 centimètres de la partie évasée.

En aspirant dans un bain de mercure, je loge dans la branche horizontale un petit index de mercure et je m'arrange pour que celui-ci occupe à peu près le milieu du tube.

C'est alors que j'applique l'extrémité évasée sur l'orifice pratiqué à la graine et que j'entoure cette extrémité de cire

Fig. 27. — Coupe théorique du dispositif destiné à montrer la raréfaction de l'atmosphère intérieure des graines qui se gonflent. — e, eau ; f, tégument de la graine ; g, amande de la graine ; h, partie évasée du tube ; j, cire molle ; ikl, tube capillaire ; m, index de mercure.

molle (et non de cire à cacheter qui se fendille trop facilement). J'étale ensuite celle-ci sur le sommet de la graine. Pour que l'adhérence soit parfaite, j'étale les bords avec un petit scalpel légèrement chauffé. Il est bon pendant cette opération de ne pas frotter le reste de la graine avec les doigts qui ont touché la cire molle : la très faible quantité de cire molle que l'on dépose ainsi sans le savoir à la surface du tégument suffit à empêcher l'imbibition.

Quand l'opération est terminée, l'espace intercotylédono-

Fig. 28. — Dispositif pour montrer la raréfaction de l'atmosphère intérieure d'une graine pendant l'imbibition. — A, vase; B, support soutenant la graine; C, eau; D, graine; E, cire; F, branche verticale du tube; G, branche horizontale du tube; H, index de mercure; I, bande de papier; M, indique la direction du déplacement de l'index H.

tégumentaire ne communique plus qu'avec la cavité du tube et non avec le dehors. On s'assure qu'on est arrivé à ce résultat quand, en inclinant le tube, soit dans un sens, soit dans un autre, l'index ne bouge pas de place.

Après avoir collé (fig. 28) sur le tube horizontal une feuille de papier portant des divisions

très rapprochées, je plonge la graine dans de l'eau. Elle ne doit plonger que jusqu'à 2 millimètres environ au-dessous de la cire molle. Sans cette précaution, le tégument se dilate tout près de celle-ci, la cire se décolle et l'eau pénètre dans le tube. Au contraire si la graine ne plonge que dans sa région non cirée, le tégument se dilate tout à son aise, au moins pendant tout le début de l'expérience.

L'expérience étant ainsi disposée et, presque tout de suite après, on voit l'index se rapprocher lentement de l'extrémité coudée du tube, c'est-à-dire vers la graine, indiquant ainsi nettement que l'atmosphère intérieure de la graine se raréfie (1).

(1) Comme la capillarité entrave quelquefois la marche de l'index, il

L'appareil que je viens de décrire n'est destiné qu'à *montrer* le fait de la raréfaction de l'air et non à la mesurer. Rien ne serait plus facile cependant que de le faire en calculant les déplacements de l'index; je ne l'ai pas fait, car les résultats obtenus ne seraient pas intéressants, vu qu'une partie seulement de la graine plonge dans l'eau, ce qui n'est pas une condition normale. D'autre part, il n'est pas possible de suivre l'expérience pendant longtemps, car, à la longue, la dilatation du tégument finit par gagner la région située au-dessous de la cire et à décoller celle-ci.

Le volume de cet appareil étant très petit, on peut fort bien le projeter tout entier dans un cours public, mais il faut se hâter, car, à peine la graine est-elle plongée dans l'eau, que les déplacements de l'index sont très rapides.

On peut aussi quelquefois constater les mêmes faits d'une manière plus simple, mais, il est vrai, moins probante. Il faut pour cela choisir une graine de Lupin *bien plissée*. En portant son attention sur un pli, on pique la graine en un autre point à l'aide d'une épingle ou d'un scalpel : aussitôt on voit le pli s'élargir, s'étaler, montrant ainsi que l'air atmosphérique a pénétré sous le tégument.

Nous concluons donc que :

Chez les graines qui se plissent, l'atmosphère intérieure, au début de l'imbibition, se raréfie par suite de l'extension du tégument.

CHAPITRE XXI

DES GAZ LIBRES DANS LES GRAINES QUI SE GONFLENT.

Lorsque le tégument s'imbibe d'eau, il s'éloigne comme nous l'avons vu de l'amande. Il se forme au-dessous de lui un vide partiel, une raréfaction des gaz contenus entre le

suffit de donner de petits coups à la table qui supporte l'appareil, pour le faire marcher. — Quand la raréfaction se produit, il est facile de démontrer que la cavité du tube communique bien avec l'intérieur de la graine : en pressant celle-ci entre les doigts on refoule l'index vers l'extrémité ouverte du tube.

tégument et l'amande. On comprend qu'au début le tégument peut résister à la faible pression qui pèse sur lui. Mais il est évident que la dilatation continuant sans que l'eau pénétre aussi, le tégument ne pourrait vaincre la pression extérieure. *A priori* donc, on peut dire que l'espace qui augmente constamment entre les cotylédons et le tégument se remplit de gaz venant des gaz internes de l'amande. Pour vérifier cette idée préconçue, il y avait un moyen simple de le savoir : c'était de mesurer la quantité totale de ces gaz libres dans les graines. Voici le dispositif que nous avons adopté :

Une éprouvette graduée, de très faible calibre, est remplie d'eau et repose sur la cuve à eau. Remarquons à ce propos qu'on ne peut malheureusement pas employer la cuve à mercure, car il est nécessaire de *voir* ce que l'on fait. Au-dessous de l'orifice de l'éprouvette, on dispose un entonnoir très évasé, plongeant tout entier dans l'eau et dont la partie effilée pénètre dans l'éprouvette.

Ceci étant fait, on prend une graine, de Lupin je suppose, on la plonge dans l'eau et en la frottant avec les doigts, on enlève tout l'air extérieur qui peut être retenu à la surface. Quand cela est terminé, la prenant de la main gauche, on la place au-dessous de l'entonnoir. Avec une pince coupante que tient la main droite, on pratique une entaille dans la graine : aussitôt, on voit se dégager de petites bulles de gaz qui montent dans l'éprouvette. On pratique ensuite une deuxième entaille, puis une troisième, de manière à faire partir tous les gaz libres. On isole ainsi le tégument qu'il faut avoir soin de presser dans tous les sens, de frotter avec les doigts, pour enlever toutes les traces de gaz qui peuvent y rester attachées. En recommençant ainsi un grand nombre de fois, autant que possible avec des graines de même grossueur, on a une quantité suffisamment grande de gaz pour pouvoir en mesurer le volume, grâce à la graduation de l'éprouvette.

On répète exactement la même opération avec des graines plongées dans l'eau depuis des temps divers.

Les résultats que l'on obtient sont très nets.

Voici les chiffres que nous avons obtenus avec des graines de Lupin *sèches* :

	Volume du gaz en centimètres cubes.
30 graines	0,5
40 —	0,6
40 —	0,55

Les différences, en somme très minimes, que l'on observe tiennent à la différence de volume des graines, les petites contenant moins de gaz que les grosses.

En prenant la moyenne des résultats, on trouve $0^{\text{cm}^3},65$ de gaz pour 40 graines sèches.

Or, avec des graines plissées plongées dans l'eau depuis $1^{\text{h}},15'$, on trouve que 40 graines contiennent $0^{\text{cm}^3},8$ de gaz, chiffre notablement supérieur à celui des graines sèches.

Avec 40 graines plissées, plongées dans l'eau depuis $2^{\text{h}},15'$, on trouve $0^{\text{cm}^3},75$ de gaz.

Ces nombres ne sont évidemment pas absolus, car il y a, dans les expériences, de petites causes d'erreur. C'est ainsi que, malgré le très grand soin que j'ai pris, il reste cependant des traces de gaz adhérent aux cotylédons ou au tégument. D'autre part, pendant l'ascension des bulles, ainsi que, dans le gaz arrivé au sommet de l'éprouvette, une faible quantité se dissout dans l'eau. Mais ce sont là des points presque théoriques et qui ne peuvent fausser notablement les résultats (1), car ils se présentent d'une manière à peu près identique dans les diverses expériences : les chiffres relatifs sont donc exacts : ce sont les seuls qui nous intéressent.

Reste à savoir maintenant d'où proviennent les gaz en question. Viennent-ils de l'eau ambiante ou de l'embryon ? Rien n'est plus facile que de répondre à cette question. En met-

(1) D'autant plus que les différences provenant des variations individuelles des graines sont beaucoup plus considérables que celles qui proviennent de ces causes d'erreur.

tant des graines dans de l'eau privée de gaz, par l'ébullition, on observe la même augmentation de gaz au-dessous du tégument. Ces gaz ne peuvent donc provenir que de l'amande.

Nous concluons donc que, *chez les graines déjà plissées depuis un certain temps, il semble y avoir apparition entre l'amande et le tégument de gaz qui se sont dégagés de l'embryon par suite de la raréfaction produite par la dilutation du tégument.*

Pour terminer ce chapitre je donne ci-après les résultats d'un certain nombre d'analyses des gaz contenus dans les graines, analyses que j'ai faites à l'aide de l'appareil si pratique de MM. Bonnier et Mangin :

a. Gaz contenu à l'intérieur de graines de Lupin blanc plongées dans l'eau ordinaire depuis vingt-deux heures :

CO ²	3,4
O.....	3,4
Az.....	93,2

b. Gaz contenu à l'intérieur de graines sèches de Lupin blanc :

CO ²	0
O.....	24
Az.....	79

c. Gaz contenu à l'intérieur de graines de Lupin blanc plongées dans de l'eau chloroformée depuis vingt-quatre heures :

CO ²	0
O.....	3,8
Az.....	96,2

d. Gaz contenu à l'intérieur de graines sèches de Fève, où il est très abondant, surtout dans le voisinage de la région hilo-micropylaire :

CO ²	traces.
O.....	49,4
Az.....	80,6

Avec des graines provenant d'un autre paquet, plus ancien, j'ai trouvé :

CO ²	8
O.....	14,81
Az.....	77,19

e. Gaz contenu à l'intérieur d'akènes secs de *Grand Soleil* :

CO ²	5,69
O.....	10,89
Az.....	83,42

f. Gaz contenu à l'intérieur de graines de *Lupin bleu* mises dans l'eau ordinaire depuis deux heures :

CO ²	0
O.....	23
Az.....	77

g. Gaz contenu à l'intérieur d'akènes de *Chanvre* secs :

CO ²	5,1
O.....	7,69
Az.....	87,21

h. Gaz contenu à l'intérieur de *Haricots* secs :

CO ²	3,06
O.....	16,7
Az.....	80,24

i. Gaz contenu à l'intérieur de graines de *Fève* plongées dans l'eau chloroformée depuis vingt-quatre heures :

CO ²	5,8
O.....	4,65
Az.....	89,55

Dans une autre analyse j'ai trouvé :

CO ²	5,34
O.....	5,57
Az.....	89,09

j. Gaz contenu à l'intérieur de graines de *Fève* plongées dans l'eau chloroformée depuis quarante-huit heures :

CO ²	2,7
O.....	2,7
Az.....	97,6

On voit que le gaz contenu dans les graines *a*, A PEU PRÈS, la composition de l'air atmosphérique, dont l'oxygène aurait été plus ou moins brûlé et transformé en acide carbonique. Les différences que l'on observe dans les graines plongées dans l'eau, tiennent à ce qu'une partie des gaz se dissout dans le liquide.

CHAPITRE XXII

INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LE PLISSEMENT DES GRAINES.

Les raisons qui m'ont fait étudier l'influence de la pression atmosphérique sur le plissement des graines ont été les suivantes : Comme nous l'avons démontré dans les pages précédentes le tégument, en s'imbibant d'eau, qui s'éloigne de la graine, crée au-dessous de lui un espace qui n'est pas à la pression atmosphérique, mais à une pression moindre ; il est donc obligé d'effectuer un certain travail, de vaincre la pression atmosphérique qui tend à l'appliquer contre les cotylédons. Mais si ce que nous disons est juste, il doit exister une certaine limite à cette force. Faisons donc augmenter la pression atmosphérique pour voir comment se comporte le plissement.

L'appareil dont je me suis servi est celui qui a été imaginé par M. G. Philippon (1) pour étudier l'influence de l'air comprimé et de sa décompression brusque sur les animaux. Il se compose essentiellement de deux parties : 1° d'une pompe aspirante et foulante de Golaz ; 2° d'une éprouvette de verre mastiquée à un manchon métallique, sur lequel peut fortement se visser, au moyen de deux clefs à main, une pièce de bronze creusée d'un canal à robinet ; ce dernier canal lui-même se visse au tube de refoulement de la pompe ; un manomètre communique avec l'intérieur de l'éprouvette. Grâce à ce dispositif, en mettant dans celle-ci de l'eau et

(1) G. Philippon, *Effets produits sur les animaux par la compression et la décompression*. Thèse Paris, 1894.

des graines, on peut suivre toutes les phases du plissement. D'autres graines sont placées dans l'eau à la pression atmosphérique; elles permettent de voir la différence des deux phénomènes.

Des graines de Lupin blanc sont pesées. On mesure leur volume. On effectue une pression de cinq atmosphères. L'expérience est commencée à 1 h. 55 m.

	GRAINES COMPRIMÉES (P = 5)	GRAINES TÉMOINS (P = 1)
2 ^h , 10 ^m	Léger plissement sur le bord mince des graines.	Graines toutes plissées.
2 ^h , 20 ^m	Plissement augmente et fait les deux tiers du tour des graines. Le plissement est pincé, il est formé par l'accolement des deux parois du tégument.	Graines très plissées.
2 ^h , 53 ^m	Plissement fait tout le tour des graines (fig. 29). Tégument opaque.	Graines très plissées. Tégument opaque.
3 ^h , 5 ^m	Le plissement reste tel quel jusqu'à la fin de l'expérience. Il n'y a pas trace de plissement sur les deux faces. Le tégument devient translucide.	Graines très plissées. Tégument opaque.
3 ^h , 20 ^m	Toujours le même plissement. Tégument encore plus translucide; il est étroitement collé sur l'embryon. L'embryon devient manifestement plus volumineux que celui des graines témoins.	Plissements deviennent un peu plus lâches, plus étalés. Tégument devient légèrement translucide. Les embryons ne sont guère plus volumineux qu'au début de l'expérience.

A 3 h. 30 m., on sort les graines de l'appareil. En les coupant, on voit qu'il n'y a aucun espace vide entre le tégument et l'amande (fig. 29). La partie plissée est formée du

tégument replié et étroitement collé à lui-même : ce plissement, ou mieux ce « pincement » n'est donc pas comparable à celui qui s'opère à la pression atmosphérique et que nous avons décrit dans le chapitre I^{er}. Quant à l'embryon, comme l'indique la coloration foncée de sa zone périphérique, il a absorbé une grande quantité d'eau.

Fig. 29. — Lupin blanc.
— A, graine plongée de puis 2 h. 53 m. dans l'eau à la pression de 5 atmosphères. P, pli marginal. — B, Coupe de la même graine. P, pli; T, tégument; C, cotylédon; R, radicule.

Au contraire, dans les graines lémoins, le tégument forme une large cavité où ballotte librement l'embryon.

Comme on le voit, le tégument, en absorbant de l'eau, a effectué une tentative de plissement qui, si j'ose m'exprimer ainsi, a échoué. Bien que se plissant un peu, il n'a pu créer de vide au-dessous de lui.

A la fin de l'expérience, on mesure de nouveau le poids et le volume des graines. En comparant ces chiffres à ceux fournis au début, on constate que le volume dont a augmenté les graines est inférieur à celui de l'eau qui a pénétré : il n'y a jamais de dilatation, mais toujours une contraction, comme chez les graines à tégument dur ou adhérent.

En mettant des graines de Lupin dans le même appareil, à la pression de 9 atmosphères, on constate des phénomènes absolument semblables.

Comme on le voit, *si la pression extérieure est forte, les graines ne se plissent pas de la même façon qu'à la pression atmosphérique : il n'y a pas dilatation au début de l'expérience, mais contraction.*

CHAPITRE XXIII

PRESSIION EXERCÉE PAR DES GRAINES QUI SE GONFLENT.

C'est un fait bien connu que les graines qui se gonflent exercent, sur les parois du vase qui les contient, une pression

considérable. C'est en se basant sur ces faits que, pour désarticuler les os d'un crâne, on met dans celui-ci des Haricots et que l'on plonge le tout dans l'eau. C'est aussi pour la même raison, que, dans les navires, on ne met pas le Blé à fond de cale. Dans ce dernier cas, en effet, les graines en se gonflant par suite de l'infiltration de l'eau peuvent faire éclater le navire.

Quelques-uns des auteurs qui se sont occupés de cette action des graines, ont fait une confusion regrettable sur laquelle il est important d'appeler l'attention. Ils se sont imaginé, en effet, que la pression qu'exercent les graines provient du phénomène que nous avons étudié dans les chapitres précédents, c'est-à-dire de la dilatation qui se manifeste chez certaines d'entre elles quand elles se gonflent. Pour faire tomber cette hypothèse à néant, il suffit de remarquer que la même pression se produit aussi bien avec des graines où il y a une contraction que chez celles où il y a une dilatation. Non, la pression qu'exercent les graines qui se gonflent provient de leur grande affinité pour l'eau, attraction qui leur permet de vaincre la pression extérieure pour l'absorber. Dans l'expérience du crâne, par exemple, les graines attirent l'eau extérieure qui pénètre par les orifices de la boîte crânienne et l'accumulent dans leurs tissus. C'est un phénomène qui n'est pas particulier aux graines, mais commun à tous les corps avides d'eau, comme les éponges ou les morceaux de Laminaires dont on se sert pour dilater le col de l'utérus.

M. Leclerc du Sablon (1) a cherché à mesurer ce qu'il

(1) *Soc. bot. de France*, 6 avril 1889.

Fig. 30. — Schéma de l'appareil de M. Gréban. — A, marmite de fer; B, couvercle; C, vis fixant le couvercle à la marmite; D, tube conduisant l'eau jusqu'au fond de la marmite; E, petit entonnoir; F, robinet amenant l'eau; G, graines; H, poire de caoutchouc; I, tube rempli d'eau; J, manomètre; K, trou.

appelle cette force d'aspiration, au moyen d'une poire en caoutchouc remplie d'eau et de graines mise en rapport avec un tube où du mercure est aspiré.

M. Gréhant (1) a aussi cherché à mesurer cette pression à l'aide (fig. 30) d'une marmite très épaisse d'une capacité de 800 centimètres cubes et fermée par un couvercle de fer solidement vissé. Ce couvercle est percé de deux trous : dans l'un passe un tube de cuivre, dans l'autre un autre tube terminé en haut par un manomètre et en bas par une ampoule de caoutchouc qui plonge au milieu des graines. Par le premier tube on fait arriver de l'eau qui s'écoule au fur et à mesure par l'orifice où passe le tube manométrique. L'appareil étant rempli de graines, celles-ci se gonflent et pressent sur l'ampoule qui transmet sa pression au manomètre. Les chiffres obtenus par M. Gréhant sont variables avec une même espèce de graine. J'ai répété quelques-unes des expériences de M. Gréhant et j'ai trouvé des résultats non moins variables. A cet égard, on ne peut donner aucun chiffre absolu : tout ce qu'on peut dire, c'est que certaines semences, celles de Lupin blanc par exemple, donnent des pressions plus fortes que d'autres, telles que celles de Maïs par exemple. La variabilité des résultats obtenus ne doit pas d'ailleurs nous étonner, car cette pression dépend de la position des graines les unes par rapport aux autres et des vides qu'elles laissent entre elles. D'autre part, les chiffres obtenus ne mesurent pas la pression maximum que les graines peuvent effectuer, car, ainsi que je l'ai constaté, celles-ci ne sont pas saturées quand la pression ne monte plus, ce qui se comprend d'ailleurs, étant donnée l'inextensibilité de l'enveloppe solide dans laquelle elles sont enfermées et le tube d'arrivage de l'eau qui ne tarde pas à se boucher et à empêcher celle-ci d'arriver.

Ainsi que l'a fait remarquer M. Régnard (2), ce qui aug-

(1) N. Gréhant, *Sur la pression exercée par les graines qui se gonflent dans l'eau*. Trois communications. (Bull. de la Soc. de biologie, 1889.)

(2) L. Régnard, *Note à propos de la pression exercée par les graines qui se gonflent*. (Soc. de biologie, 1889.)

mente dans l'appareil, ce n'est pas la pression intérieure, c'est une simple compression locale qui s'effectue sur les parois de l'ampoule. Pas plus que dans l'expérience du crâne, il ne peut y avoir augmentation de pression, puisque le récipient communique avec l'extérieur (1).

Mais si le récipient contenant les graines et l'eau est fermé de toute part, il peut y avoir aussi, et il y a même toujours, des modifications dans la pression totale.

Pour le démontrer, prenons un vase à parois résistantes (fig. 31) que nous remplissons au tiers avec des graines de Lupin ou de Haricot et que nous achèverons de remplir avec de l'eau. On ferme le récipient avec un bouchon, traversé par un tube ouvert en haut et portant en bas une ampoule de mercure, ampoule qui plonge dans l'eau. Celle-ci contient du mercure qui s'élève un peu dans le tube. Par un autre orifice peut passer un agitateur. Quand tout est en place, on enfonce ce dernier de manière à avoir une fermeture hermétique. On plonge tout l'appareil dans l'eau, pour éviter les changements de température. Les graines se plissent, le volume total de l'eau et des graines augmente et il se produit une pression sur l'ampoule. Le mercure monte de quelques centimètres.

Au bout d'un certain temps, le mercure redescend et vient même au-dessous de son niveau initial. En un mot, on

Fig. 31. — Dispositif montrant les changements de pression du volume total des graines et de l'eau. — A, vase résistant; B, agitateur; C, bouchon; D, tube manométrique; E, mercure; F, ampoule de caoutchouc; G, graines de Lupin; H, eau.

(1) M. Régnard emploie une comparaison très juste : « Supposons, dit-il, que, dans une chambre, une barre de fer se trouve tendue entre les deux murs. Supposons que cette barre s'échauffe, elle augmente de longueur, elle presse sur un point limité des murs, elle pourrait les renverser. Si entre le mur et le bout de cette barre on met une ampoule de caoutchouc pleine de mercure, la barre pressera sur le mercure et le fera remonter à une grande hauteur. Pourtant, on ne pourra pas dire qu'il y ait eu augmentation de pression dans la chambre. »

observe une courbe analogue à celle de la figure 16. Il y a d'abord *augmentation* de pression, puis *dépression*.

Prenons d'autre part un appareil différent (fig. 32) : un tube deux fois recourbé plonge d'une part dans l'eau du flacon, d'autre part en dehors, dans un vase contenant du mercure. Ce tube est rempli d'eau. En mettant dans l'appareil des graines de Ricin ou de Maïs, on voit le mercure monter de quelques centimètres dans le tube, et cela progressivement. Il y a donc *dépression* (1). On ne peut pas poursuivre l'expérience longtemps, car les graines, entassées les unes sur les autres, effectuent sur les parois du vase la compression dont il est question plus haut (2).

Fig. 32. — Autre dispositif maintenant les changements de pression du volume total des graines et de l'eau. — A, vase; B, eau; C, caryopses de Maïs; D, agitateur; E, tube rempli d'eau; F, cuvette de mercure; G, colonne de mercure s'élevant dans le tube.

On peut d'ailleurs montrer, d'une façon très nette, cette dualité des phénomènes de pression. Pour cela, à l'appareil de la figure 32, on ajoute le tube à mercure de la figure 31, mais de manière que l'ampoule soit placée *au milieu* des graines (fig. 33), lesquelles devront occuper les deux tiers du flacon. On assiste alors à un phénomène extraordinaire en apparence : le mercure monte dans le tube I, ce qui indique une dépression, et monte dans le tube N, ce qui semble indiquer une augmentation de la pression du volume total, mais ce qui n'est produit, en somme, que par une compression locale.

Les choses se passent comme si une main enfermée

(1) Cette expérience avait été déjà faite par M. Régnard, mais d'une manière inexacte : avec des Haricots et des Lentilles, il aurait dû voir, en effet, l'eau du tube s'écouler et passer sur le mercure.

(2) Ayant voulu un jour noter la température de graines se gonflant, j'ai vu mon thermomètre écrasé rapidement.

dans le vase B venait comprimer la poire du tube E; dans ce cas, il y aurait ascension du liquide dans H et aucune dans I. Mais si la main était enduite d'une couche d'amidon, la compression produite par la main ferait monter le liquide en H et la contraction due à l'hydratation de l'amidon ferait diminuer le volume du liquide de I et produirait par suite l'ascension du mercure en J.

Nous concluons donc que le volume total des graines et de l'eau est soumis, pendant toute la durée du gonflement, à des changements de pression, d'ailleurs très faibles.

1° Il y a d'abord une augmentation de pression, puis une dépression, avec des graines qui se plissent.

2° Il y a toujours une dépression avec les graines qui ne se plissent pas.

3° Toujours, quand les graines sont entassées les unes sur les autres, il y a au milieu d'elles une compression énergique qui provient de leur attraction pour l'eau.

Cette compression est un simple fait de l'entassement des graines.

Fig. 33. — Dispositif destiné à montrer la dualité des phénomènes de pression des graines qui se gonflent. — A, eau; B, vase; C, tube manométrique; D, graines; E, ampoule de caoutchouc; F, agitateur; G, tube manométrique; H, mercure; I, tube rempli d'eau; J, colonne mercurielle; K, cuvette de mercure.

TROISIÈME PARTIE

SUR LA DESSICCATION NATURELLE DES GRAINES

Les graines, une fois arrivées à leur maximum de grosseur, s'isolent du reste de la plante en se détachant du

funicule. A partir de ce moment leur poids va en décroissant, par dessiccation, pour atteindre cet état de dureté qui caractérise les graines mûres. Quelle est la nature du travail qui s'opère dans ces graines? On considère généralement que la perte d'eau est une simple dessiccation, une simple

Fig. 34. — Courbes représentant les quantités d'eau perdues par les graines pendant leur maturité (détachées du funicule). Expériences faites sur des Haricots. — *oy*, ligne des quantités d'eau perdues pour 100; *ox*, ligne des temps, les chiffres indiquent le nombre de jours; A, graines placées dans l'air saturé; B, graines placées dans une atmosphère chloroformée; C, graines tuées par la chaleur; D, graines placées à l'obscurité; E, graines placées à l'air et à la lumière; H, embryons isolés; M, téguments isolés.

évaporation, telle que la présenterait un corps quelconque imprégné d'eau et exposé à l'air sec. On peut se demander s'il y a ici un phénomène physiologique, une perte d'eau par transpiration?

Pour répondre à cette question, nous nous sommes adressé à des Haricots, choisis au moment où la gousse allait s'entr'ouvrir et en ne choisissant que les graines qui se détachaient sans aucune difficulté du funicule. Voici

quelques-unes des expériences que nous avons effectuées; elles sont résumées dans les courbes de la figure 34:

a) Neuf Haricots nouvellement écossés pèsent 6^{gr},563. On les laisse exposés, dans un verre de montre, à l'air du laboratoire, le 12 octobre 1893, à 4 heures du soir ($t^{\circ}=15^{\circ}$).

DATE	HEURE DE LA PESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	QUANTITÉ D'EAU perdue par les graines.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
13 octobre.	10	18	5,746	0,817	12,44
14 —	10	42	5,060	1,503	24,42
15 —	9	66	4,764	1,779	27,41
16 —	10	91	4,255	2,308	41,48
17 —	2	119	3,810	2,753	41,94
18 —	5	147	3,575	2,988	45,52
19 —	10	164	3,435	3,128	47,66
20 —	10	188	3,321	3,242	49,39
21 —	5	217	3,313	3,250	49,51
25 —	5	313	3,185	3,378	51,47
26 —	5	337	3,183	3,378	51,47

b) Dix Haricots nouvellement écossés pèsent 9^{gr},465. On les met le 12 octobre à 11 heures du matin dans une atmosphère saturée.

DATE	HEURE de l'observation.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	PERTE DE POIDS des graines.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
13 octobre.	10	23	9,397	0,068	0,718
14 —	10	47	9,345	0,120	1,26
15 —	10	71	9,290	0,175	1,84
16 —	10	95	9,234	0,231	2,44
17 —	3	124	9,168	0,297	3,13

A ce moment on arrête l'expérience, parce que les radicules de deux graines sont sorties et s'allongent.

c) Neuf graines de Haricots, fraîchement écosés, pèsent 9^{gr},307. On les tue par l'action de la vapeur d'eau surchauffée. Après cette opération elles ne pèsent plus que 6^{gr},624. C'est sur ce chiffre que l'on établit les calculs de la perte d'eau. On les expose à l'air du laboratoire, le 14 octobre, à 10 heures.

DATE	HEURE DE LA PESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	PERTE DE POIDS des graines.	QUANTITÉ D'EAU perdue par les graines.
14 octobre.	4	6	6,500	0,124	1,87
15 —	9	23	6,227	0,397	5,93
16 —	10	48	5,507	1,117	16,86
17 —	2	78	4,947	1,677	25,31
18 —	5	105	4,522	2,102	31,73
21 —	5	177	3,777	2,847	42,96
23 —	5	293	3,572	3,052	46,07

d) Dix Haricots entiers, fraîchement écosés, pèsent 9^{gr},973. On les expose dans un large récipient, avec un flacon de chloroforme, le 12 octobre à 5 heures.

DATE	HEURE DE LA PESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	QUANTITÉ D'EAU perdue par les graines.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
13 octobre.	10	17	9,757	0,216	2,16
14 —	10	41	9,577	0,396	3,96
15 —	10	75	9,432	0,541	5,42
16 —	10	99	9,274	0,699	7
17 —	3	128	9,107	0,866	8,67
18 —	5	154	8,952	1,021	10,23

e) Onze Haricots, nouvellement écosés, pèsent 9^{gr},230. On les expose à l'air du laboratoire, mais à l'obscurité, le 15 octobre 1893 à 9 heures du matin ($t^{\circ} = 15^{\circ}$).

DATE	HEURE DE LA PESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	QUANTITÉ D'EAU perdue par les grames.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
16 octobre.	10	23	8,330	0,880	9,53
17 —	2	41	7,510	1,720	18,63
18 —	3	68	6,743	2,483	26,92
19 —	10	83	6,360	2,870	31,09
20 —	10	109	5,860	3,370	36,51
21 —	3	140	5,460	3,770	40,84
24 —	3	212	5,023	4,203	43,53
26 —	3	260	4,933	4,273	46,31
28 —	10	301	4,923	4,303	46,64
31 —	3	380	4,910	4,320	46,8

f) A neuf Haricots, nouvellement écossés, on enlève délicatement le légument sans blesser l'embryon. Ces neuf embryons pèsent 6^{sr},121. On les met, dans un verre de montre, à l'air du laboratoire le 12 octobre à 4 heures ($t^{\circ} = 15^{\circ}$).

DATE	HEURE DE LA PESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	QUANTITÉ D'EAU perdue par les embryons.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
13 octobre.	10	18	5,193	0,928	15,1
14 —	10	52	4,366	1,733	28,6
15 —	10	76	4,183	1,938	31,6
16 —	10	100	3,756	2,363	38,6
17 —	2	128	3,406	2,713	44,3
18 —	3	133	3,241	2,880	46,8
21 —	3	227	3,087	3,034	49,3

g) A huit Haricots, nouvellement écossés, on enlève les léguments. Ceux-ci pèsent 1^{sr},395, on les met dans un verre de montre, à l'air du laboratoire, le 12 octobre à 4 heures ($t^{\circ} = 15^{\circ}$).

DATE	HEURE DE LA PRESÉE.	NOMBRE D'HEURES écoulées.	POIDS OBSERVÉS	QUANTITÉ D'EAU perdue par les téguments.	QUANTITÉ D'EAU perdue p. 100.
13 octobre.	10	48	0,802	0,593	42,5
14 —	10	52	0,454	0,841	60,3
15 —	10	76	0,361	1,034	74,7
16 —	10	100	0,328	1,067	76,4
17 —	2	128	0,332	1,073	76,9

Comme il est facile de le voir par les expériences dont nous venons de donner le détail, il n'y a pas de doute que *les graines qui mûrissent perdent de l'eau par transpiration et non par évaporation*. Cette perte persiste en effet dans l'air saturé, là où toute évaporation cesserait. C'est un phénomène vital, car il est modifié par toutes les actions qui agissent sur la vitalité de la graine; elle n'est pas non plus la même à l'obscurité et à la lumière.

On voit aussi que *le tégument perd une quantité d'eau beaucoup plus considérable que les embryons isolés ou les graines intactes*.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Après avoir exposé les données de notre travail, il convient de jeter un coup d'œil sur les principaux résultats obtenus.

Nous avons d'abord établi qu'*au point de vue de la morphologie du gonflement, les graines peuvent se ranger en deux catégories, celles qui se plissent et celles qui ne se plissent pas*. Cette division est intéressante en ce qu'elle concorde avec les phénomènes principaux du gonflement des graines qui ont été étudiés dans la seconde partie de ce travail. Quant au processus même de la pénétration de l'eau, nous avons établi que *l'eau ne peut passer de l'extérieur à l'embryon que par le contact du tégument*; l'eau ne se déverse pas à l'intérieur de ce dernier.

La mesure des dimensions des graines, sèches et humides, nous a amené à conclure que *les graines plongées dans l'eau ne se dilatent pas également dans tous les sens*; la forme générale des graines humides n'est pas, par suite, la même que celle des graines sèches.

Le pouvoir absorbant des graines a été déjà très étudié; nous avons été amené à appeler l'attention sur les faits suivants : *le pouvoir absorbant des graines d'une même espèce est extrêmement variable; la pénétration de l'eau dans les graines, quant à son début et à sa marche, est aussi très variable.*

Un fait important et qui semble avoir échappé aux physiologistes, c'est que *dans un certain nombre de graines gonflées, il y a de l'eau libre qui n'appartient ni au tégument, ni à l'amande.* Des pesées nous ont montré que *cette eau libre, dans les graines saturées, représente une quantité, différente suivant les espèces, qui, dans nos expériences, a varié de $1/8$ à $1/30$ de l'eau totale absorbée.* La proportion d'eau libre, rapportée au poids total de l'eau absorbée par la semence, est maximum au moment de la saturation; elle est moindre chez les graines non saturées et chez celles qui sont saturées depuis un certain temps. *Cette proportion est beaucoup plus considérable chez les graines endormies par les anesthésiques.*

Nous avons étudié ensuite un certain nombre d'influences extérieures sur le pouvoir absorbant. Voici les principales conclusions que nous avons tirées de ces recherches :

Les graines endormies, dans la majorité des cas, absorbent autant d'eau que les graines vivantes; ce n'est que rarement qu'elles en absorbent une plus grande quantité.

L'augmentation de pression retarde notablement la pénétration de l'eau.

La température n'influe pas sur le pouvoir absorbant des graines; elle ne fait qu'augmenter la rapidité de la pénétration de l'eau. Cette augmentation de vitesse est d'autant plus sensible que le tégument est plus mince.

Une blessure dans le tégument augmente dans des propor-

tions considérables la vitesse de la pénétration de l'eau; elle n'a pas d'influence sur le pouvoir absorbant maximum.

Dans ce qui précède on n'avait en vue que l'absorption de l'eau par les graines plongées entièrement dans le liquide. Il était nécessaire d'étudier comment se comportaient les graines plongées partiellement dans l'eau. *Les graines à tégument mince plongées dans l'eau suivant une large surface arrivent presque au même degré de saturation que les graines immergées entièrement. Les graines plongées dans l'eau par une région très restreinte de leur surface n'arrivent jamais au même point de saturation que les graines immergées entièrement; dans ces conditions, la quantité d'eau absorbée n'est d'ailleurs pas suffisante pour provoquer la germination.*

Le chapitre qui suit est consacré à une question encore très mal connue, l'absorption de la vapeur d'eau. Après avoir mis en évidence que *cette vapeur, saturée ou non, est absorbée directement par les graines*, nous donnons les valeurs d'une quantité nouvelle, le *pouvoir absorbant pour la vapeur d'eau*, et nous les comparons au pouvoir absorbant pour l'eau. Nous montrons ensuite les faits suivants : *l'embryon absorbe une quantité de vapeur d'eau plus considérable que le tégument. L'intégrité du tégument diminue le pouvoir absorbant des graines pour la vapeur d'eau. Il y a de grandes différences individuelles relatives au pouvoir absorbant des graines par la vapeur d'eau. La vitalité de la graine influe d'une manière considérable sur l'absorption de la vapeur d'eau.*

Enfin nous terminons la première partie par l'étude de la rupture du tégument au début de la germination. *La déhiscence du tégument n'est pas produite par l'augmentation du volume de l'amande qui absorbe de l'eau. L'amande gonflée ne produit même pas une tension sur le tégument. La radicule, par la simple force qu'elle développe en croissant, est incapable de percer le tégument. Il est probable qu'elle sécrète une diastase, laquelle diminue la résistance de ce dernier en dissociant les cellules.*

Avec la seconde partie nous abordons un phénomène très

général : dans une graine plongée dans l'eau, le volume total n'est jamais égal à la somme des volumes de la graine sèche et de l'eau absorbée. Tantôt ce volume est plus grand et l'on dit alors qu'il y a eu *dilatation*, tantôt ce volume est plus petit et on dit qu'il y a eu *contraction*.

L'étude de ces variations de volume est très délicate à cause de leur faible amplitude et des variations considérables que l'on observe entre les graines d'une même espèce. Après de nombreuses recherches, nous avons établi que, *en ce qui concerne les variations du volume total des graines et de l'eau qu'elles contiennent, la condition pour obtenir des résultats toujours identiques, consiste à ne prendre que des graines indemnes de toute blessure* (ce qui d'ailleurs est fort difficile) *et se gonflant en même temps et de la même façon.*

A l'aide d'un appareil inscripteur, nous avons pu établir les points suivants :

Il y a dilatation, puis contraction chez toutes les graines à tégument mince et qui se plissent.

Il y a contraction chez les graines à tégument dur, les graines où le tégument est adhérent à l'amande, les akènes et les graines blessées.

Recherchant les causes de ces variations de volume, nous avons été amené à conclure ainsi :

La contraction est due à la diminution de volume qui accompagne la combinaison chimique des matières de réserve avec l'eau.

La dilatation est produite par l'imbibition rapide du tégument qui se plisse et s'éloigne de l'amande, créant ainsi au-dessous de lui un espace où les gaz sont raréfiés. A ces gaz semblent s'ajouter des gaz venus de l'embryon.

Pendant que ces modifications de volume se produisent, il y a des changements de pression totale. *Le volume total des graines et de l'eau est soumis pendant toute la durée du gonflement, à des changements de pression, d'ailleurs très faibles. Il y a d'abord une augmentation de pression, après une dépression, avec des graines qui se plissent. Il y a dès le*

début une dépression avec les graines qui ne se plissent pas.

Il ne faut pas confondre cette pression avec la compression énergique qui se manifeste au milieu de graines entassées et qui provient de leur affinité pour l'eau : ce sont là deux phénomènes absolument distincts.

Dans la troisième partie de ce travail, nous avons établi que les graines, en mûrissant, se dessèchent par transpiration et non par simple évaporation.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — L'Autotomie dans la série animale.

GÉOLOGIE. — Massif central français ; Orographie et Géologie.

Vu et approuvé : Paris, le 22 avril 1896.

Le Doyen,

G. DARBOUX

Vu et permis d'imprimer : Paris, le 22 avril 1896.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

New York Botanical Garden Library

QK658 .C6
Coupin, Henri Eugen/Recherches sur l'abs gen

3 5185 00069 3125