

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

PH. VAN TIEGHEM

Recherches physiologiques sur la germination

Annales scientifiques de l'É.N.S. 2^e série, tome 2 (1873), p. 13-30

http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1873_2_2__13_0

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1873, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES SUR LA GERMINATION,

PAR M. PH. VAN TIEGHEM,

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A L'ÉCOLE NORMALE.



Je me suis proposé de déterminer par l'expérience d'abord le degré de solidarité des divers organes de l'embryon, puis le degré de dépendance de l'embryon tout entier vis-à-vis de l'albumen (¹).

Examinons d'abord le premier de ces points.

I. — *Développement indépendant et régénération des organes de l'embryon.*

Il s'agit de savoir si, pendant l'évolution germinative qui transforme un embryon en une plante complète, les divers organes de cet embryon, sa radicule, sa tigelle, son unique ou ses deux cotylédons, sa gemmule, enfin, sont solidaires, de telle sorte que dissociés ils périssent sans s'accroître, ou si, au contraire, chacun de ces organes, ayant en soi la raison et jusqu'à un certain point les éléments de son évolution, est capable de se développer seul comme lorsqu'il fait partie de l'ensemble. Dans ce dernier cas, il faudra rechercher en outre si chacune des parties de l'embryon, non contente de se développer isolément, peut régénérer les autres pour reformer à elle seule une plante complète, et à quelles conditions cette régénération aura lieu.

(¹) Les principaux résultats de ce travail ont été communiqués à l'Association française pour l'avancement des Sciences, session de Bordeaux, le 6 septembre 1872.

Pour obtenir une réponse à ces questions, j'ai pratiqué sur l'embryon, avant de le soumettre à la germination, des mutilations systématiques, dont je vais indiquer ici les résultats.

1. *Embryon dépourvu d'albumen.* — Je traiterai d'abord le cas où, n'étant pas accompagné d'albumen, l'embryon présente le plus grand développement, et je prendrai, pour plus de précision, un exemple particulier : le Grand-Soleil (*Helianthus annuus*).

Préalablement dépouillé de l'enveloppe ligneuse du fruit et de la fine membrane de la graine, l'embryon du Grand-Soleil mesure en moyenne 7 millimètres, longueur qui se décompose ainsi : radicule, $\frac{1}{2}$ millimètre ; tigelle, 1 millimètre ; cotylédons, $5 \frac{1}{2}$ millimètres.

Première expérience. — Sur dix de ces embryons, on sépare par deux sections transversales la radicule de la tigelle, et celle-ci des deux cotylédons, puis on met à germer à une température de 22 à 25 degrés ces dix radicules, ces dix tigelles et ces vingt cotylédons, en plaçant au milieu d'eux sur le même lit d'ouate humide et sous la même cloche deux embryons complets, destinés à servir de témoins.

Après vingt-quatre heures, les radicules qui, au début, avaient à peine $\frac{1}{2}$ millimètre de longueur, se sont développées par voie d'allongement terminal en racines coniques étendues horizontalement sur le lit d'ouate, longues de 8 à 11 millimètres, couvertes de longs poils blancs dans leur moitié la plus âgée, et assez brusquement atténuées. Elles ne portent pas de radicelles, mais sont aussi longues que les pivots plus épais des plantules témoins. Ces racines isolées s'accroissent encore un peu le second jour, puis demeurent stationnaires et finissent par s'altérer et moisir. La structure en est, de tout point, semblable à celle du pivot normal de même âge. Les quatre faisceaux vasculaires lamelliformes et centripètes, ainsi que les quatre groupes alternes de cellules libériennes, y présentent leur aspect ordinaire. A la base de l'organe, quelques divisions commencent même à s'opérer dans les cellules situées entre le bord interne des faisceaux libériens et la croix vasculaire, pour former le début des arcs générateurs. Les méats quadrangulaires creusés dans l'épaisseur de la membrane protectrice dédoublée, et qui sont rapprochés en arc au dos de chaque fais-

ceau libérien, renferment une huile essentielle jaune verdâtre ⁽¹⁾. En un mot, la racine a acquis, dans son développement solitaire, tous les caractères anatomiques qu'elle revêt quand elle demeure, pendant son évolution, attachée au reste de l'embryon.

Séparées de la radicule et des cotylédons, les tigelles s'allongent aussi dès le lendemain par simple accroissement intercalaire et, après trois jours, elles atteignent 15 à 20 millimètres de longueur; après quoi elles demeurent stationnaires. Elles ont alors la même organisation interne que la tigelle normale; mais ce qu'il y a d'intéressant, c'est que vers le cinquième jour on voit poindre sur la tranche inférieure de la plupart de ces tigelles trois ou quatre petites racines adventives qui s'allongent les jours suivants et peuvent atteindre, en demeurant très-grêles, 20 à 30 millimètres. Ainsi non-seulement la tigelle isolée s'allonge tout d'abord comme celle de l'embryon témoin, mais en outre la radicule enlevée s'y régénère en se multipliant. Des racines adventives peuvent aussi se développer sur la tranche supérieure de la tigelle, et même à la fois sur les deux tranches. Toutefois ces tigelles, ainsi enracinées à la base, au sommet, ou aux deux bouts, n'ont pas tardé à périr, faute de nourriture.

Les cotylédons isolés verdissent progressivement, tout aussi bien que ceux des embryons témoins. Après huit jours, ils sont d'un vert intense. En même temps, ils se sont développés en surface et leur dimension dépasse déjà sensiblement celle des cotylédons témoins. Les jours suivants cette différence va sans cesse augmentant, et, après dix-sept jours de germination, tandis que les cotylédons des plantules témoins ont 10 à 12 millimètres de longueur et 6 à 7 millimètres de largeur, les cotylédons isolés atteignent 19 à 20 millimètres de longueur et 9 à 10 millimètres de largeur. Considérées comme exactement ovales, les surfaces sont dans le rapport de 8 à 20. En outre, ces cotylédons isolés commencent, vers le treizième jour, à former sur leur section inférieure,

(1) C'est même pour m'assurer que l'huile essentielle, renfermée dans les méats oléifères du pivot de l'Hélianthus et des autres Composées, se forme sur place dans cet organe, indépendamment de la tigelle et des cotylédons, et y est sécrétée directement par les cellules dédoublées de la membrane protectrice, que j'ai été tout d'abord conduit à faire germer la radicule indépendamment du reste de l'embryon. Cette expérience m'ayant donné un résultat intéressant, j'en ai varié les conditions, et ainsi s'est développé peu à peu le travail dont je donne ici les principaux résultats.

où ils ont été séparés de la tigelle, plusieurs racines adventives qui, quatre jours après, c'est-à-dire après dix-sept jours de germination, sont très-développées et ramifiées. Ainsi, par exemple, sur un cotylédon qui n'avait formé qu'une seule racine adventive, cette racine atteignait à ce moment 42 millimètres de longueur et portait de nombreuses radicules elles-mêmes ramifiées. Sur la partie supérieure du bourrelet d'où s'échappent les racines adventives, j'ai vu à plusieurs reprises se former un mamelon verdâtre, premier indice d'un bourgeon adventif, d'une gemmule réparée; mais, ayant dû interrompre l'expérience peu de temps après, je n'ai pas pu suivre le développement ultérieur et fort lent de ce bourgeon. Ainsi les cotylédons privés de tigelle et de radicule se développent et verdissent d'abord comme lorsqu'ils font partie de l'embryon. Mais comme ils gardent pour eux toute la provision de nourriture qu'ils renferment et que, dans l'état normal, ils partagent largement avec la tigelle et la radicule, ils acquièrent bientôt plus de surface et une vigueur plus grande, et non-seulement ils régénèrent la radicule enlevée en la multipliant pour s'enraciner fortement dans le sol, mais encore ils réparent la gemmule et reconstituent par conséquent une plante complète. En d'autres termes, on obtient ainsi des boutures de cotylédons, comme on obtient des boutures de feuilles dans les Gloxinias, les Orangers, les Bégonias, etc. Par ce procédé, chaque graine, chaque embryon de Grand-Soleil donne deux plants; nous verrons tout à l'heure qu'il en peut donner bien davantage.

Voilà comment se comportent les trois organes isolés. On voit déjà par cette première expérience que les trois organes fondamentaux de l'embryon ont en soi la raison de leur propre évolution, et qu'ils peuvent, en effet, se développer, germer indépendamment, avec une intensité et une durée proportionnelles à la provision de matières nutritives assimilables qu'ils possèdent au moment de la séparation. Bien plus, chacun d'eux peut, dans la même proportion, réparer les deux autres et reconstituer une plante complète. Ils ne sont donc pas solidaires en tant qu'organes, mais seulement vis-à-vis de cette réserve alimentaire. Si celle-ci se concentre dans l'un quelconque des trois organes, les deux autres seront solidaires de celui-là, quelle qu'en soit la nature. Si cette réserve est également distribuée, en qualité et en quantité, dans tous les trois, ils auront alors une indépendance complète.

On pourrait donc prévoir ce qui arrivera si, développant cette étude, on n'enlève à l'embryon, dans une seconde expérience, qu'un seul organe à la fois, pour suivre le développement des deux autres demeurés conjoints.

Deuxième expérience. — Cinq embryons, dont on a coupé la radicule, sont mis à germer, à une température de 22 à 25 degrés, à côté de deux embryons entiers servant de témoins. Après cinq jours, la tigelle a atteint 2 centimètres de longueur; les cotylédons sont verts, étalés et plus larges que ceux des témoins qui, en revanche, ont une tigelle longue de 10 centimètres. A la base de la tigelle, sur la plaie provenant de la section de la radicule, se sont développées plusieurs racines adventives, qui, sur certaines plantules, ont 2 centimètres de longueur. Après huit jours, ces racines adventives ont atteint 5 centimètres de longueur, la plantule est maintenant solidement enracinée et sa gemmule commence à se développer.

Ainsi la radicule enlevée se répare, et la jeune plante, dont le développement se trouve un peu retardé par cette ablation, ne paraît pas en souffrir autrement.

Le résultat est le même si, avec la radicule, on coupe une fraction de la tigelle, et même si l'on enlève la tigelle tout entière, en n'en laissant subsister que la partie supérieure où s'insèrent les cotylédons. Une fois les racines adventives développées sous cette tranche, les cotylédons s'écartent et la gemmule s'allonge plus tôt que lorsque la tigelle subsiste, plus tôt aussi que dans les plantules témoins. En ramenant ainsi la plante à avoir ses cotylédons à la surface du sol, en la rendant sessile, si je puis m'exprimer ainsi, on en accélère donc le développement; c'est un moyen assez inattendu d'obtenir des germinations précoces.

On peut, en même temps, ne laisser subsister qu'un seul des cotylédons, ou seulement une moitié de ce cotylédon; l'enracinement, le développement rapide de la gemmule ne s'en opèrent pas moins, bien qu'avec une vigueur proportionnellement réduite. On peut, dans les deux cas, enlever la gemmule; ce sont alors les bourgeons axillaires des deux cotylédons ou celui du cotylédon unique qui se développent et forment la tige. On se trouve ainsi ramené peu à peu à l'enracinement et au bourgeonnement du cotylédon isolé constaté dans la première expérience.

Au lieu de couper la radicule avec ou sans tigelle, détachons les co-

tylédons et soumettons à la germination l'axe seul de l'embryon. Nous verrons s'allonger la racicule par accroissement terminal, la tigelle par accroissement intercalaire, comme lorsque ces deux organes étaient isolés dans notre première expérience. Après six jours, la tigelle atteint 20 millimètres et le pivot 20 à 25 millimètres. Mais les choses en restent là, et, privée de cotylédons, la plantule périt sans développer sa gemmule. Laisse-t-on subsister l'un des cotylédons, ou seulement la moitié ou le tiers d'un cotylédon, la plantule acquiert une vigueur plus grande, proportionnée à la réserve alimentaire qu'on lui conserve, et sa gemmule se développe.

En résumé, le résultat des mutilations partielles que nous avons fait subir à l'embryon dans cette seconde expérience vient confirmer, en les étendant, ceux que la première nous avait donnés.

Troisième expérience. — Allons plus loin maintenant dans notre analyse. Sachant que chacun des organes de l'embryon a une vie propre et la faculté de régénérer les autres, voyons si cette autonomie de développement et cette propriété de régénération ne persisteraient pas dans les divers fragments de chacun de ces organes. Dans ce but, soumettons ces divers fragments à la germination.

Si l'on coupe le petit cône radiculaire en deux dans le sens de l'axe, on voit chaque moitié s'accroître et donner, après deux jours, un demi-pivot d'environ 10 millimètres de longueur. Chaque moitié du cône végétatif de la racicule se comporte donc isolément comme lorsqu'elle est unie à l'autre moitié.

Les tranches horizontales de la tigelle verdissent, s'allongent par voie d'accroissement intercalaire et prennent la forme de tronçons de colonne, qui, placés bout à bout, sont assez loin d'atteindre la longueur qu'acquiert dans les mêmes circonstances une tigelle entière; cela se comprend d'ailleurs aisément. Les tranches longitudinales de la tigelle se développent dans leur plan et atteignent après quelques jours sensiblement la même longueur que la tigelle demeurée entière.

Les fragments de cotylédons, séparés par des sections transversales, verdissent comme les cotylédons tout entiers; ils s'étalent, se développent, et, s'ils ne sont pas trop petits, si l'on n'en a taillé que deux ou trois dans chaque cotylédon, par exemple, ils forment, sur les sections, des racines adventives qui partent des points où les nervures ont été

coupées; dans quelques cas, j'y ai vu des traces de bourgeons adventifs. Les tranches longitudinales des cotylédons se comportent de même.

En un mot, tel fragment qu'on voudra de l'un quelconque des organes de l'embryon germe indépendamment des autres fragments. Il se développe comme lorsqu'il fait partie de l'organe et proportionnellement à la quantité de matière nutritive assimilable et transformable qu'il renferme au moment de sa séparation. S'il en possède une quantité assez grande pour que cette vie dure assez longtemps, et c'est le cas pour un gros fragment de cotylédon, il pourra même régénérer les deux autres organes et reconstituer une plante complète. Un embryon de Grand-Soleil pourra donner ainsi huit plantes, si l'on ne divise qu'en quatre chaque cotylédon.

Quatrième expérience. — Les résultats de cette troisième expérience permettent de prévoir ce qui arrivera si, dans une quatrième série de mutilations, qui sera à la troisième ce que la deuxième est à la première, nous faisons porter nos sections sur l'ensemble de l'embryon, de manière à le diviser suivant sa longueur en fragments complexes, comprenant chacun une partie des trois organes.

Divisons l'embryon en deux par un plan passant par les nervures médianes des cotylédons, de façon que chaque partie entraîne deux moitiés de cotylédon, ou par un plan perpendiculaire qui laisse à chaque partie un cotylédon tout entier. Chacune de ces moitiés d'embryon se comporte, avec moins de vigueur naturellement, comme l'embryon tout entier. La demi-radicule donne d'abord un demi-pivot qui, par une extension du cône terminal, se prolonge bientôt en une racine très-grêle, mais complète. La demi-tigelle s'allonge en un demi-cylindre dont la face plane se cicatrise aisément, et une gemmule, normale, axillaire ou adventive, nourrie par le cotylédon ou par les deux moitiés de cotylédon, ne tarde pas à prendre son essor.

Il en est de même encore si l'on partage l'embryon en quatre par ces deux sections longitudinales à la fois, ou en trois par deux plans parallèles perpendiculaires aux cotylédons. Dans ce dernier cas, la manière dont se comporte la tranche médiane est particulièrement remarquable. Les deux faces se cicatrisent. Le cône terminal inférieur forme un pivot; la tigelle s'allonge autant que dans les plantules témoins et le cône terminal supérieur, la gemmule se développe.

Tous ces résultats viennent confirmer ceux de la troisième expérience.

Je ne quitterai pas cette partie du sujet sans ajouter que beaucoup d'embryons dénudés, provenant de graines dépourvues d'albumen, et appartenant aux familles naturelles les plus diverses, ont été soumis aux mêmes traitements et se sont comportés avec plus ou moins de facilité, comme celui du Grand-Soleil. Je citerai surtout l'embryon des Légumineuses et celui des Cucurbitacées. Les cotylédons du Potiron, par exemple, séparés de la tigelle, qu'ils soient entiers ou coupés en plusieurs fragments, s'enracinent profondément au bout de quelques jours et régénèrent une gemmule. Quand on enlève la radicule et la tigelle, il se forme sous les cotylédons de nombreuses racines adventives; les cotylédons verdissent et s'écartent pour laisser passer aussitôt la gemmule, dont le développement très-vigoureux est ainsi de beaucoup accéléré. On obtient de la sorte de jeunes plants de Courge sans tigelle, sessiles, si l'on peut s'exprimer ainsi, plus précoces et plus vigoureux que les plantules témoins.

Il y a longtemps que, dans le but d'apprécier l'importance des cotylédons, on a pensé à les enlever plus ou moins à l'embryon au moment de la germination. Dans ses *Éléments de Physiologie végétale* (1815), Mirbel est très-explicite à cet égard. « Les cotylédons, dit-il, jouent un grand rôle à la première époque de la vie. Si vous les retranchez dans le Potiron avant ou au moment de la germination, la plantule se fane et meurt; si vous en supprimez la majeure partie, la plante n'a qu'une végétation faible et languissante; mais si vous laissez subsister en entier ces *mamelles végétales*, comme parle Charles Bonnet, vous pouvez impunément couper la radicule et toutes les radicelles qui se développeront durant l'expérience; la tige ne poussera pas avec moins de vigueur que si la jeune plante fût restée intacte. Faites plus: divisez un embryon de Haricot dans sa longueur, de telle sorte que chaque portion emporte avec elle un cotylédon; ces deux moitiés se développeront aussi bien qu'un embryon tout entier, preuve évidente que la blessure occasionnée par la soustraction des lobes séminaux n'est pas ce qui met obstacle à la croissance du blastème. Enfin il suffit d'humecter les cotylédons pour que l'embryon se développe ('). L'utilité de ces lobes

(') Expériences de MM. Vastel, Desfontaines, Thouin et La Billardière.

dans la germination ne saurait donc être révoquée en doute » (p. 71 et 72).

2. *Embryon pourvu d'albumen.* — Considérons maintenant le cas où l'embryon est accompagné d'albumen. Il faudra néanmoins, dans les recherches actuelles, qu'il soit assez développé pour que la distinction de ses diverses parties soit facile et que les mutilations y aient un sens précis. Il faudra encore qu'il soit situé dans la graine extérieurement à l'albumen, de manière qu'on puisse l'atteindre et y opérer les mutilations sans léser cet albumen et sans déranger les rapports qu'ont avec lui les parties de l'embryon qui subsistent. Parmi les plantes qui remplissent ces conditions, celles qui m'ont donné les résultats les plus satisfaisants sont la Belle-de-Nuit (*Mirabilis Jalapa*) et les Graminées, notamment le Maïs (*Zea Maïs*).

Sur dix embryons de Belle-de-Nuit préalablement dénudés, c'est-à-dire dépouillés non-seulement de l'involucre ligneux, mais encore des fines membranes du fruit et de la graine, séparons par deux sections transversales la radicule et les cotylédons, ces derniers enfermant dans leur concavité l'albumen farineux avec lequel l'un d'eux seulement est en contact. J'appellerai celui-ci cotylédon interne, l'autre cotylédon externe. Mettons à germer ces dix radicules, ces dix tigelles, ces dix paires de cotylédons albuminés, sur le même lit de mousse humide, à une température de 22 à 25 degrés, à côté de cinq embryons pareillement dénudés, mais entiers, qui nous serviront de témoins.

Après quarante-huit heures, les radicules sont en voie d'allongement et les jeunes pivots se couvrent de poils. Après cinq jours, ces pivots, rapidement amincis, ont 12 à 15 millimètres de longueur et portent de courtes radicelles. Ils ont, d'ailleurs, la même organisation interne que ceux des plantes témoins qui sont à cette heure beaucoup plus longs et plus épais. Les jours suivants ils ne s'allongent plus et moisissent. Si l'on ne coupe que le sommet de la radicule, en laissant sa base adhérente à la tigelle, on voit cette base s'allonger notablement (5 millimètres environ) et se couvrir de poils et de jeunes radicelles. Il s'opère donc dans la racine, au moins dans le voisinage de la base, un certain accroissement intercalaire.

Les tigelles isolées s'allongent de même, verdissent, et, au bout de

cinq jours, elles atteignent 15 millimètres environ, la même longueur que les pivots. Quelques mamelons radicellaires se forment sur leur tranche inférieure ; mais les jours suivants, ces racines adventives ne se développent pas et les tigelles périssent.

Les cotylédons, séparés de la tigelle au-dessus de leur point d'insertion, commencent à verdir vers le cinquième jour, et l'action se continue lentement les jours suivants. Au bout de seize jours, ils sont d'un vert intense et plus larges que les cotylédons des plantes témoins, dont la gemmule a déjà, à cette époque, développé un entre-nœud de 4 à 5 centimètres. Ce plus grand développement des cotylédons s'explique, puisqu'ils gardent pour eux toute la matière nutritive que leur fournit l'albumen. Ils sont d'ailleurs inégalement développés ; le cotylédon interne est plus large que l'autre, et cette différence se conçoit aisément, puisque c'est lui qui absorbe directement l'albumen. Toutefois, le grand développement du cotylédon externe, la différence assez faible qu'il y a entre ces deux feuilles portent à croire que le cotylédon absorbant a transmis à son congénère une partie de la substance de l'albumen, et cette transmission ne peut avoir lieu que par les deux épidermes supérieurs en contact. Pour s'en assurer, que l'on détruise l'adhérence des deux surfaces en laissant les cotylédons aussi rapprochés que possible, le cotylédon externe verdra bien encore, mais il se développera beaucoup moins. Cette transmission par contact mérite d'ailleurs de nouvelles recherches, et je ne puis que la signaler ici. A la base des pétioles cotylédonaires, au cotylédon interne, notamment, il s'est formé quelques courtes racines adventives qui s'allongent les jours suivants ; mais je n'ai pas prolongé l'expérience assez longtemps pour obtenir une gemmule adventive (1).

Ainsi les trois organes de l'embryon de Belle-de-Nuit se développent isolément comme ceux de l'embryon du Grand-Soleil, et nul doute que, dans les mêmes conditions de nutrition, chacun d'eux ne puisse réparer les deux autres.

On peut donc aisément prévoir ce qui arrive quand on n'enlève à l'embryon que l'un des trois organes à la fois. Se borne-t-on, par exemple,

(1) Un fragment quelconque du cotylédon interne, demeuré adhérent à la surface de l'albumen, verdit, s'étale, et quelquefois même s'enracine, comme le cotylédon tout entier.

à couper la radicule, la tigelle s'allonge et produit à sa base, après six ou sept jours, plusieurs racines adventives; tout se passe ensuite comme à l'ordinaire. Il en est de même si, avec la radicule, on enlève une fraction plus ou moins grande de la tigelle, ou même la tigelle tout entière, sauf la tranche supérieure qui réunit les deux cotylédons; dans ce dernier cas, la plante est sessile et le développement de sa gemmule et des bourgeons cotylédonaire est très-précoce. On peut, en outre, sans nuire sensiblement à la plantule, détacher le cotylédon externe. Si l'on enlève à la fois les deux cotylédons, et, par conséquent, l'albumen qu'ils renferment, l'embryon, réduit à son axe, s'allonge d'abord comme à l'ordinaire. Après cinq jours, cet axe atteint 30, 35 et 40 millimètres, longueur qui se divise à peu près également entre le pivot et la tigelle; mais les jours suivants le développement s'arrête: privée de cotylédons, la plantule périt. Pourtant j'ai vu plusieurs fois son développement se prolonger avec une assez grande vigueur jusqu'au début de l'allongement de la gemmule: c'est lorsque je réussissais à enlever les cotylédons en laissant l'albumen adhérent à la partie supérieure de la tigelle et quand cette adhérence se maintenait dans la suite. Nul doute que l'épiderme de la partie supérieure de la tigelle n'absorbât alors l'albumen, comme l'épiderme inférieur du cotylédon interne l'absorbe dans les conditions ordinaires.

Des résultats analogues s'obtiennent avec le Maïs; je n'en citerai qu'un seul. Enlevons à un embryon de Maïs sa radicule et sa gemmule, c'est-à-dire toute la partie de l'axe située au-dessous et au-dessus de l'insertion de l'écusson. Ce dernier, on le sait, constitue la partie médiane, le limbe du cotylédon, dont la coiffe conique de la gemmule est la gaine bistipulaire. Ainsi réduit à son limbe cotylédonnaire appliqué contre l'albumen et à la tranche de tigelle où ce cotylédon s'insère, l'embryon développe, après deux jours, de nombreuses racines adventives sur les deux sections de la tranche. Au bout de douze jours, ces racines adventives sont très-puissamment ramifiées et forment dans la mousse un réseau inextricable. Après vingt et un jours, ce réseau s'est beaucoup développé, et il est beaucoup plus puissant que le faisceau de racines formé dans le même temps sur les plantes complètes qui servent de témoins, résultat qui s'explique, puisque toute la réserve nutritive de l'albumen est consacrée ici à la formation des racines. Les

jours suivants, et tant que l'albumen n'est pas totalement absorbé, ce développement de racines continue sans qu'il apparaisse le moindre grain de chlorophylle dans l'écusson, sans que cet organe prenne la moindre extension, sans qu'il se forme de gemmules adventives. On obtient ainsi des plants de Maïs, âgés de plus d'un mois, entièrement dépourvus de tiges et de feuilles, réduits à un magnifique système de racines en pleine voie d'allongement.

Quand j'ai isolé entièrement l'écusson sans laisser subsister une tranche de tigelle, je n'ai pas obtenu de racines adventives et la graine a moisi.

Si l'on enlève la gemmule de l'Orge ou de l'Avoine, par exemple, en laissant subsister la partie inférieure de la piléole et, par conséquent, le bourgeon cotylédonaire simple ou double qu'elle porte à son aisselle, l'enracinement a lieu de la même manière; mais il est bientôt suivi du développement de ce bourgeon cotylédonaire simple ou double, qui répare la gemmule et complète la plante.

En résumé, qu'il n'y ait pas d'albumen ou qu'il y en ait un, l'embryon répond essentiellement de la même manière aux diverses mutilations qu'on lui fait subir, et la conclusion la plus générale des expériences dont j'ai rendu compte dans cette première partie de mon travail, c'est qu'on doit étendre à l'embryon deux propriétés bien connues dans le végétal adulte et qui y sont la source d'innombrables applications, je veux dire : 1^o l'autonomie de développement des trois organes fondamentaux, l'un par rapport à l'autre, ainsi que des divers systèmes élémentaires dans chacun de ces organes fondamentaux; 2^o la régénération possible de deux quelconques des trois organes fondamentaux au moyen du troisième. C'est même, semble-t-il, dans l'embryon que cette indépendance de développement et cette activité réparatrice se manifestent avec le plus d'énergie.

II. — *Degré de dépendance de l'embryon vis-à-vis de l'albumen.*

Considérons maintenant l'embryon tout entier dans ses rapports avec l'albumen, pour savoir jusqu'à quel point cet albumen est nécessaire au développement de l'embryon et s'il est possible de le remplacer par une autre matière nutritive convenablement préparée.

Pour sujet d'expériences comparatives, j'ai choisi encore la Belle-de-Nuit. Après avoir dénudé la graine de cette plante, on arrive, en effet, facilement, avec un peu d'habitude, à séparer sans lésion aucune l'embryon de l'albumen; en outre, le reploiement des cotylédons en forme de sacs'y prête bien à l'introduction de matières nutritives étrangères à l'état pâteux et au moulage de cette pâte sur la surface interne de la cavité.

Première expérience. — Précisons d'abord l'influence de l'albumen sur le développement de l'embryon.

Sur un lit de mousse humide placé sous cloche à une température de 22 à 25 degrés, disposons dix graines dénudées, c'est-à-dire dix embryons pourvus de leur albumen, et dix autres embryons d'où l'on a complètement extrait ce tissu nutritif. Après deux jours les plantules sont assez profondément enracinées, les cotylédons verdissent, les tigelles commencent à s'allonger. Après quatre jours, les tigelles ont 20 à 25 millimètres de hauteur. Jusque-là aucune différence entre les deux espèces d'embryons. Au bout de six jours, une petite inégalité se manifeste : les plantules albuminées ont 40 à 45 millimètres de hauteur, les autres 30 à 35 millimètres seulement; des deux parts, la gemmule ne s'est pas encore développée. Après onze jours, les plantules albuminées ont 60 millimètres de tigelle, leurs cotylédons longuement pétiolés ont 30 millimètres de longueur; la gemmule a développé un premier entre-nœud long de 35 millimètres environ, et elle continue à s'allonger les jours suivants. Les plantules sans albumen ont 40 à 45 millimètres, quelques-unes même 50 millimètres de tigelle; leurs cotylédons verts et étalés n'ont que 10 millimètres de longueur; mais surtout la gemmule n'a pas commencé à se développer; les jours suivants, la plante reste stationnaire et, dans les conditions où elle est placée, elle ne tarde pas à périr.

Ainsi l'embryon sans albumen se développe pendant les premiers jours, comme s'il en possédait un; il forme une plantule munie d'un pivot, d'une tigelle et de deux feuilles vertes, et presque aussi vigoureuses en apparence, mais il ne développe pas sa gemmule. C'est donc par le développement de la gemmule que se traduit principalement au dehors l'influence de l'albumen sur l'embryon de la Belle-de-Nuit.

Ceci posé, cherchons à obtenir le même effet en substituant à l'albumen une autre matière nutritive convenablement préparée.

Mais, pour nous guider dans ce nouveau genre d'essais, il est nécessaire que nous sachions, avant toute chose, si le pouvoir nutritif de l'albumen est ou non lié nécessairement à son organisation cellulaire, en d'autres termes, s'il est ou non indispensable que la matière nutritive que nous lui substituerons soit contenue dans les cellules d'un tissu. L'expérience suivante répond à cette question préalable.

Deuxième expérience. — A dix embryons de Belle-de-Nuit on enlève l'albumen et on le remplace aussitôt par une boulette de même forme et de même dimension, obtenue en triturant avec quelques gouttes d'eau les masses albumineuses que l'on vient d'extraire. Dans cet albumen artificiel, toute organisation cellulaire est détruite, sans que la proportion des principes immédiats y ait été changée. La pelote une fois introduite entre la tigelle et les cotylédons, on a soin d'exercer avec les doigts une pression légère et uniforme, de manière à la mouler pour ainsi dire dans la cavité cotylédonaire et à établir un contact intime entre elle et l'épiderme inférieur du cotylédon interne.

Ainsi empâtés, ces dix embryons sont mis à germer sur un lit de mousse humide à côté de cinq embryons simplement séparés de leur albumen, et de deux autres embryons qui l'ont conservé. Après cinq jours de germination, on voit que la pâte albumineuse a moisi sur trois des plantules empâtées qui se sont fort peu développées; les sept autres, qu'il faut seules considérer, sont vigoureusement enracinées: les tigelles ont 25 millimètres de hauteur et les cotylédons ont verdi. Les embryons non empâtés se sont bien développés aussi, et leurs tigelles ont 20 à 25 millimètres. Il n'y a entre les deux lots qu'une différence très-légère, mais elle est à l'avantage des embryons empâtés; d'ailleurs, comme nous le savons déjà, les deux embryons pourvus d'albumen normal n'ont guère eux-mêmes à cette époque une vigueur plus grande. Après douze jours, la différence est prononcée. Les plantules empâtées ont 60 millimètres de hauteur de tigelle, leurs cotylédons longuement pétiolés atteignent environ 25 millimètres, et leur gemmule qui commence à se développer a acquis 20 millimètres de longueur. Les plantules non empâtées n'ont que 35 millimètres de tigelle, leurs cotylédons ont environ 15 millimètres et leur gemmule ne s'est pas allongée. Par contre, les embryons munis d'albumen ont 70 millimètres de tigelle, et leur gemmule a fourni un premier entre-nœud de plus de 40 millimètres.

Il y a donc eu absorption sensible de la pâte albumineuse fournie à l'embryon; mais l'effet nutritif de cette pâte est inférieur à celui de l'albumen normal, ce qui peut s'expliquer par l'imperfection du contact établi et par un commencement de développement d'êtres microscopiques, infusoires ou moisissures.

Ainsi l'absorption de l'albumen par l'embryon et son pouvoir nutritif ne sont pas nécessairement liés à son organisation cellulaire; seulement cette organisation protège efficacement les principes nutritifs jusqu'au moment même de leur emploi, c'est-à-dire de leur absorption par le cotylédon, contre l'action destructive des êtres microscopiques venus du dehors. Nous pouvons donc désormais, dans nos essais ultérieurs, substituer au tissu albumineux une pâte molle convenablement préparée; mais cette première expérience nous montre quelle espèce d'ennemis nous aurons à combattre et de quel genre de précautions nous devrons nous entourer, en même temps qu'elle nous fait entrevoir par avance la cause des échecs qui ne manqueront pas de venir parfois ruiner nos espérances.

Troisième expérience. — Essayons d'abord une pâte simple formée de fécule de pomme de terre mouillée d'eau distillée.

Dix embryons, ainsi empâtés, sont mis à germer sur un même lit de mousse humide, à côté de cinq embryons isolés et de cinq embryons albuminés. Après cinq jours, les plantules empâtées ont 22 millimètres de tigelle, leurs cotylédons sont verts, mais encore bien appliqués l'un contre l'autre; l'une d'elles seulement, où la pâte de fécule a coulé le long de la tigelle, n'a que 15 millimètres. Les plantules non empâtées ont environ 20 millimètres de tigelle, à peine moins, mais cependant un peu moins développées que les précédentes. Après douze jours, les plantules empâtées ont 35 millimètres de tigelle, mais n'ont pas développé leur gemmule. Les plantules non empâtées n'ont que 25 millimètres environ. Les plantules albuminées ont plus de 50 millimètres de tigelle et la gemmule y est en plein développement.

Si j'étudie d'ailleurs au microscope la fécule qui demeure adhérente au cotylédon, je vois que dans la partie qui touche l'épiderme cotylédonaire les grains sont rongés, perforés par place, tandis que dans le reste de la masse ils demeurent parfaitement intacts.

Ainsi donc la fécule de pomme de terre a produit un léger effet nu-

tritif sur la plantule de Belle-de-Nuit, et elle a été en partie dissoute et absorbée par le cotylédon. Cet effet est petit, sans doute, et ne va pas, dans nos expériences du moins, jusqu'à faire développer la gemmule; mais nous ne saurions nous en étonner. Des quatre espèces de principes immédiats que renferme l'albumen de la Belle-de-Nuit, l'amidon, les matières grasses, les matières azotées et les sels, notamment les phosphates, nous n'en avons présenté à notre plante qu'une seule, l'amidon, et, bien que ce principe y prédomine de beaucoup sur les trois autres, ces derniers ne peuvent cependant pas être négligés.

Ce résultat est toutefois en lui-même très-intéressant si l'on réfléchit à la nature et à l'origine on ne peut plus différentes des grains d'amidon de la Belle-de-Nuit et de la Pomme de terre. Les premiers sont les plus petits grains qui se puissent voir, ayant environ $0^{\text{mm}},001$; les autres comptent au contraire parmi les plus gros et atteignent jusqu'à $0^{\text{mm}},185$, près de 200 fois la taille des premiers, avec une constitution beaucoup plus complexe. Les premiers naissent dans un tissu nouveau produit à l'intérieur du sac embryonnaire, les autres dans le parenchyme des rameaux souterrains. Cette différence de taille et de constitution, cette diversité d'origine, n'empêchent donc pas les grains d'être attaqués par le même liquide diastasique et de pouvoir se substituer jusqu'à un certain point l'un à l'autre dans la nutrition de la plante.

Quatrième expérience. — Offrons maintenant à notre embryon de Belle-de-Nuit un aliment, étranger encore, mais complet, condition que nous pouvons réaliser de deux manières, soit en ajoutant à la fécule de pomme de terre des nitrates et des phosphates, soit en triturant et réduisant en pâte l'albumen farineux d'une autre plante, du Sarrasin, par exemple, ou du Froment.

Les embryons de Belle-de-Nuit, empâtés avec une pelote de pâte ferme, composée de fécule de pomme de terre délayée avec une solution saline contenant principalement des nitrates et des phosphates en diverses proportions, ont constamment poursuivi leur développement sensiblement plus loin qu'avec de la fécule délayée dans l'eau distillée. Plusieurs fois même j'ai réussi à obtenir ainsi le début du développement de la gemmule.

Empâtés avec de la farine de Sarrasin (*Polygonum Fagopyrum*) et mis à germer sur de la mousse humide, à une température de 22 à

25 degrés, à côté de cinq embryons exalbuminés et de cinq autres embryons albuminés, dix embryons de Belle-de-Nuit ont présenté, au bout de sept jours, une végétation remarquable. Deux plantules, dont la pâte, attaquée par des moisissures, avait noirci, ne se sont pas développées; mais les huit autres ont actuellement une vigueur plus grande que les plantules exalbuminées qui servent de témoins. Leur tigelle a 30 à 35 millimètres de hauteur, tandis que la tigelle des autres atteint à peine 25 millimètres. Mais les plantules albuminées sont plus vigoureuses encore et ont 38 à 45 millimètres de tigelle. Les trois lots s'échelonnent donc régulièrement.

L'examen microscopique montre d'ailleurs que les grains d'amidon de la farine de Sarrasin sont, au voisinage de l'épiderme cotylédonaire, corrodés à l'intérieur, creusés d'anfractuosités irrégulières, chagrinés, en un mot, en partie détruits, tandis qu'ils sont intacts dans le reste de la masse où vivent, circonstance évidemment défavorable, de nombreux infusoires : bactéries, monades, paramécies, etc.

Enfin, après douze jours, la différence de végétation des trois lots est encore plus marquée et dans le même sens. Les plantules exalbuminées ont 30 millimètres de tigelle, leurs cotylédons ont 10 millimètres de longueur, pas de gemmule. Les huit plantules empâtées sont un peu inégales, ce qui paraît tenir à un moisissement partiel de la pâte sur les plus courtes; mais le plus grand nombre a 50 millimètres de tigelle; les cotylédons ont 20 millimètres de longueur, moitié pour le pétiole, moitié pour le limbe; la gemmule, s'allongeant en une tige grêle, a 20 millimètres de longueur. Les plantules albuminées enfin ont 60 millimètres de tigelle, des cotylédons de 30 millimètres, ayant le pétiole long de 20 millimètres, enfin 40 millimètres de tige provenant du premier entre-nœud de la gemmule. Les jours suivants, ces dernières continuent à gagner, tandis que les premières sont stationnaires depuis longtemps, et que les secondes s'arrêtent à cet état.

Ainsi la pâte de farine de Sarrasin peut, jusqu'à un certain point, remplacer l'albumen normal de la Belle-de-Nuit dans la nutrition de la jeune plante; du moins obtient-on avec elle des résultats équivalents à ceux que donne l'albumen propre de la plante quand on le réduit en pâte, c'est-à-dire quand on le ramène aux mêmes conditions expérimentales, conditions défavorables à l'assimilation directe, éminem-

ment favorables, au contraire, au développement des êtres microscopiques.

Pour la farine de Froment, ce développement, celui des moisissures surtout, et notamment du *Mucor stolonifer*, est si rapide, que, jusqu'à présent, tous mes essais ont échoué. Les embryons ainsi empâtés ne se développent presque pas; l'albumen artificiel leur nuit et les empêche de parvenir à l'état relativement florissant où ils ne manquent pas d'arriver quand on les livre à leurs propres ressources.

En résumé, les expériences dont les résultats sont exposés dans la seconde partie de ce travail permettent de formuler les conclusions suivantes :

L'embryon de la Belle-de-Nuit (et l'on trouverait sans doute bien d'autres plantes qui se comporteraient de la même manière) peut se développer en une jeune plante verte sans le concours de l'albumen. L'influence de l'albumen ne se manifeste que plus tard et se traduit par le développement de la gemmule. Le tissu nutritif désigné par ce nom peut être remplacé jusqu'à un certain point, en tenant compte des causes d'échec introduites par les manipulations, par une pâte formée de sa propre substance, ou par une pâte provenant d'un albumen étranger de nature chimique analogue, ou encore, quoique à un moindre degré, par une pâte ne renfermant que le seul principe immédiat qui domine en lui, c'est-à-dire par une pâte d'amidon, dont on améliore l'effet en y ajoutant des nitrates et des phosphates minéraux ⁽¹⁾.

(¹) Je ne terminerai pas cette seconde partie de mon travail sans rappeler que l'on doit à M. Arthur Gris, dont la mort prématurée vient d'attrister tous les amis de la science, une première tentative pour obtenir un commencement de germination dans l'embryon séparé de son albumen. Il opérait sur l'embryon du Balisier, et dans le but de savoir si l'amidon se développe sur place dans cet embryon indépendamment de l'action de l'albumen farineux qui l'entoure. Il s'est assuré qu'après vingt-quatre heures environ de séjour dans les lacunes d'une éponge fine légèrement mouillée, et sous l'influence d'une douce chaleur, l'embryon isolé acquiert un abondant dépôt d'amidon dans le parenchyme cotylédonaire qui n'en contenait que des traces avant l'expérience. Dès lors, la question spéciale que l'auteur s'était posée se trouvait résolue, et l'expérience n'était pas poursuivie plus loin. [A. GRIS, *Recherches sur la germination*. Mémoire couronné. (*Annales des Sciences naturelles*, 5^e série, t. II, 1864, tirage à part, p. 107.)]