

- f) Petrographische Kartographie
- g) Stratigraphische Kartographie
- h) Morphologie und Orographie
- i) Synoptische Meteorologie (Physik der Atmosphäre)
- k) Klimatologie
- l) Hydrographie (Ozeanologie, Limnologie)
- 3. Biogeographie
 - a) Geobotanik
 - b) Geozologie
 - c) Anthropogeographie (Ethnologie)
- 4. Wirtschaftsgeographie
 - a) Agrargeographie
 - b) Industrie- und Gewerbegeographie
 - c) Handels- und Verkehrsgeographie
 - d) Siedlungsgeographie
 - e) Geopolitik
 - f) Historische Geographie

II. Spezielle Geographie (Länderkunde).

Wir hoffen, mit unseren leider nur skizzenhaften Ausführungen gezeigt zu haben, wie die These der Einheitswissenschaft zu praktischen Folgerungen allgemein kultureller Bedeutung drängt.

Le rôle des vitamines chez les plantes. Leur signification du point de vue de la physiologie générale.

Par

W. H. SCHOPFER (Berne)¹⁾

Les vitamines sont des constituants normaux des cellules végétales et animales. La plante seule est capable de les synthétiser au même titre que les autres composants de sa matière vivante. La cellule animale n'est, en principe, pas capable de cette biosynthèse à partir du gaz carbonique, de l'eau, et des sels minéraux: elle reçoit de la plante les vitamines qui lui sont indispensables. Cette dernière est autotrophe du point de vue des vitamines, tandis que la cellule animale est hétérotrophe.

L'autotrophie générale de la plante verte supérieure n'est concevable que si l'on considère la plante dans sa totalité. Malgré la présence de chlorophylle dans les feuilles, la plante possède des organes, tels que la racine, et des tissus, qui, envisagés séparément, sont hétérotrophes. Les expériences ont montré que ces derniers ne sont pas seulement hétérotrophes en général,

¹⁾ Nach dem in der Sitzung vom 23. November 1942 der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich gehaltenen Vortrag.

mais aussi du point de vue de leurs vitamines. Une culture pure de racine de tomate p. ex., en milieu synthétique n'est possible que si l'on adjoint à ce dernier des vitamines telles que l'aneurine, l'adermine. Les besoins des diverses racines varient selon les espèces. De même, la culture d'un embryon de *Pisum* privé de ses cotylédons et de ce fait rendu partiellement hétérotrophe, requiert plusieurs vitamines; l'aneurine (vitamine B₁) et la biotine (vitamine H) sont en tous les cas indispensables. Il semble que l'acide ascorbique (vitamine C) soit également favorable. Il en est de même pour certaines cultures de tissus dont le développement est favorisé par la présence d'aneurine. Le rôle d'une vitamine chez une plante supérieure n'apparaît donc qu'à l'expérience, en plaçant la plante ou l'organe étudié dans des conditions artificielles. Dans la plante entière et intacte, un organe tel que la feuille est le siège des principales synthèses vitaminiques. De là, les vitamines, ou les parties de vitamines synthétisées parviennent aux organes qui ne les peuvent fabriquer.

L'hétérotrophie en général n'est pas forcément liée à l'hétérotrophie du point de vue des vitamines. Nous connaissons de nombreux microorganismes, bactéries et champignons, aptes à se développer dans un milieu strictement synthétique, sans facteurs de croissance vitaminiques. Il en existe cependant quelques-uns qui ne peuvent être cultivés sur un milieu synthétique et qui nécessitent ce que l'on appelle en microbiologie des facteurs de croissance. *Phycomyces blakesleeanus* (Phycomycète, Mucorinée) est le type idéal des microorganismes de ce genre: cultivé dans des conditions déterminées, il requiert pour son développement 0,5 γ d'aneurine (vitamine B₁) sans laquelle il est absolument inapte à croître. Un autre champignon, *Ustilago violacea*, dont les spores charbonneuses se forment dans les anthères de *Melandrium rubrum* et *album*, a des besoins identiques: cultivé dans des conditions déterminées, il exige 0,01 γ d'aneurine pure, cristallisée. Il fut donc bien démontré, dès 1934, qu'une vitamine typiquement animale est requise par une plante inférieure. Celle-ci se comporte comme un animal, et a les mêmes besoins que lui.

A quoi correspond ce besoin en vitamines? D'une manière générale, nous savons que le besoin en vitamine de l'animal correspond à une perte de pouvoir de synthèse. Or, il peut être démontré à l'aide de méthodes très précises que, si *Phycomyces* a besoin de vitamine B₁, c'est qu'il a réellement perdu le pouvoir d'en faire la synthèse. Ce principe a été démontré à l'aide d'autres microorganismes et il constitue actuellement la base sur laquelle s'est développé tout le problème des vitamines chez les plantes.

On peut à vrai dire se demander s'il s'agit réellement d'une perte de pouvoir de synthèse, ou d'une synthèse non encore acquise! Le dilemme peut être tranché en faveur du principe des pertes de pouvoir de synthèses. L'aneurine est un constituant cellulaire universellement répandu. Il est synthétisé par de nombreuses bactéries, organismes qui phylogénétiquement sont inférieurs à *Phycomyces*. L'aneurine fait partie de la matière vivante de *Phycomyces*, sans laquelle il ne peut en aucun cas se développer. Il

faut donc immanquablement que les premiers *Phycomyces* aient possédé ce pouvoir de synthèse, ou qu'il ait été présent chez l'ancêtre immédiat de cette espèce. D'autres considérations phylogénétiques d'ordre général parlent en faveur de ce principe qui peut être appliqué tant qu'il s'agit d'une vitamine de répartition très générale. C'est le cas pour beaucoup de vitamines, mais pas pour toutes. La vitamine E, p. ex. ne se retrouve pas dans le thalle de *Phycomyces*. Adjoint au milieu elle n'exerce aucune action. Il faut donc, dans ce cas, admettre qu'elle est apparemment inutile et que l'organisme n'a jamais appris à en faire la synthèse. Malgré ces réserves, le principe des pertes de pouvoir de synthèse, non seulement rend des services, mais est indispensable à l'interprétation des résultats obtenus dans le domaine des vitamines chez les plantes.

Nous pouvons résumer l'ensemble des résultats obtenus en un certain nombre de principes:

1. *Les pertes de pouvoir de synthèse sont polytopiques.* Elles se manifestent à tous les niveaux du phyllum végétal, sans égard à la position systématique de l'organisme. Le besoin en aneurine se manifeste chez des Bactéries (*Staphylococcus aureus*), chez des champignons Phycomycètes (*Phycomyces blakesleeanus*), Ascomycètes (*Nematospora gossypii*) (*Helvella infula*), Basidiomycètes (*Ustilago violacea*, *Polyporus zonatus*), chez des Fungi Imperfecti (*Dematium nigrum*), chez des Flagellés chlorophytes et leucophytes, chez des Chlorophycées et finalement chez la plante supérieure rendue hétérotrophe. Dans le phyllum animal, nous retrouvons ce besoin chez des Flagellés parasites, des Rhizopodes et des Ciliés.

Fréquemment nous trouvons dans le même genre (*Ustilago* p. ex.) des espèces réclamant l'aneurine, d'autres qui peuvent la synthétiser. Nous appelons les premières espèces auxo-hétérotrophes, les secondes auxo-autotrophes.

2. *Les pertes de pouvoir de synthèse sont généralement graduelles.* En ce qui concerne l'aneurine, dont la molécule est constituée par une pyrimidine et un thiazol, nous avons des organismes qui ne requièrent que la moitié pyrimidine et peuvent synthétiser la moitié thiazol (*Rhodotorula rubra*); d'autres, comme *Mucor Ramannianus* requièrent le thiazol et fabriquent la pyrimidine. Cultivés ensemble sans facteurs de croissance ils se développent en échangeant les moitiés d'aneurine qu'ils fabriquent, ce qui permet à chacun des partenaires de cette symbiose artificielle de se reconstituer une molécule d'aneurine complète.

On peut de même relever des intensités variables dans le pouvoir de synthèse d'une substance donnée, comme nous l'avons montré pour *Absidia ramosa* et *Parasitella simplex*.

Ce principe d'hétérotrophie fractionnée est valable non seulement pour l'aneurine, mais pour la molécule d'autres facteurs de croissance. On peut admettre qu'un organisme réclamant la β -alanine comme facteur de croissance l'utilise pour constituer la molécule plus complexe d'acide pantothénique dont il ne fabrique qu'une partie, alors que d'autres organismes

exigent la molécule complète d'acide pantothénique. L'acide nicotinique est facteur de croissance pour de nombreux organismes (bactéries, p. ex. *Staphylococcus aureus*). Il est fort probable que cette substance, dont le pouvoir de synthèse a été perdu, participe à la constitution de la molécule plus complexe de codéhydrase (di- ou triphosphopyridino-nucléotide). D'autres organismes (*Hemophilus influenzae*) requièrent la molécule complète de codéhydrase.

3. *Les pertes de pouvoir de synthèse sont généralement multiples.* Quelques organismes exigent, selon l'état actuel de nos connaissances, un seul facteur de croissance: aneurine pour *Phycomyces* p. ex. ou acide nicotinique pour le *Proteus*. Le plus souvent, les pertes de synthèse ont atteint plusieurs substances et l'organisme requiert alors une constellation plus ou moins complexe. *Staphylococcus aureus* exige l'aneurine, l'acide nicotinique ou son amide, et la biotine (vitamine H). Certaines levures (*Saccharomyces cerevisiae*) ont une constellation compliquée: biotine, aneurine, mésoinositol, adermine (vitamine B₆), acide pantothénique, β -alanine, éventuellement acide nicotinique et acide p-aminobenzoïque.

Corynebacterium diphtheriae réclame l'acide nicotinique, la β -alanine, et l'acide pimélique. Les recherches effectuées dans divers laboratoires ont permis de préciser la constitution de nombreuses constellations. Dans l'ensemble, ce sont toujours les mêmes substances qui reviennent et, à part de rares exceptions les mêmes qui, chez l'animal supérieur et l'homme, jouent le rôle de vitamines. Chez les microorganismes, nous pouvons compter un minimum de 17 substances fonctionnant comme facteurs de croissance vitaminiques véritables. Il est d'ailleurs souvent difficile de déterminer si l'on a affaire à un facteur de croissance vitaminique, ou à une substance intervenant comme aliment ou micro-aliment. Le critère de la «dose active» n'est pas toujours suffisant; il faut y joindre le critère de la fonction: les facteurs vitaminiques dont la fonction est connue interviennent comme coenzyme ou fragment de coenzyme.

Il existe un synergisme véritable entre les différents composants d'une constellation et non pas seulement un simple effet additif. Pour *Nematospora gossypii*, p. ex. la biotine, l'aneurine et le mésoinositol séparés agissent faiblement, de même que la combinaison aneurine et biotine, tandis que la combinaison inositol et biotine et surtout celle des trois facteurs à la fois provoquent une augmentation du développement dépassant 2500 %.

La raison profonde de ce synergisme nous échappe encore. Nous pouvons admettre que chacun des trois facteurs intervient dans un système particulier; le développement ne pourra se produire que si le fonctionnement des trois systèmes peut avoir lieu.

4. *L'action des facteurs de croissance est spécifique.* La perte de pouvoir de synthèse affecte une substance définie, l'aneurine, p. ex. ou l'adermine. Seule une substance de même constitution peut compenser cette déficience de pouvoir de synthèse. La spécificité d'action a été particulièrement bien étudiée à propos de l'aneurine et de l'adermine, ainsi que l'inositol.

C'était avant tout la spécificité d'action sur l'animal supérieur qui intéressait les chercheurs. Grâce aux études faites avec de nombreux microorganismes et des racines de plantes supérieures, nous pouvons faire des comparaisons entre les spécificités de divers organismes. Nous constatons qu'il n'existe pas de spécificité d'action unique valable pour tous les organismes exigeant l'aneurine ou l'adermine (vitamine B₆), mais que celle-ci est au contraire variable. Avec *Phycomyces*, p. ex. la spécificité est beaucoup plus stricte qu'avec certains Flagellés. Un thiazol p. ex., possédant le groupe CH₃ en position 2 agit sur les Flagellés tandis qu'il est inactif sur *Phycomyces*. Nous admettons qu'en principe seule une vitamine de constitution définie est capable de remplir la fonction qui lui est dévolue. En conséquence, nous devons admettre également que chaque organisme peut, dans une mesure qui lui est propre, transformer le produit de substitution inactif et lui restituer la structure sans laquelle il ne peut pas agir. L'activité d'un produit de substitution est également liée à sa concentration. Une isovitamine B₁, qui possède le groupe CH₃ en 6 de la pyrimidine au lieu de 2 n'agit pas à la dose à laquelle l'aneurine normale exerce son action. En employant une dose 2000 fois plus élevée, un effet partiel peut être observé. D'après notre expérience, nous avons, en ce qui concerne l'aneurine et son action sur les microorganismes: 1) l'aneurine elle-même, 2) des produits synthétiques plus actifs que l'aneurine (groupe C₂H₅ au lieu de CH₃ en 2 de la pyrimidine, 3) des produits moins actifs que l'aneurine mais qui, employés à des doses très élevées exercent finalement le même effet que la vitamine B₁ typique, 4) des produits tels que même une forte élévation de la dose employée ne permet qu'un remplacement partiel de l'aneurine, 5) des produits totalement inactifs, même à doses très élevées.

Un groupe particulier doit être créé avec les espèces du genre *Rhizopus*, qui sont inhibées par la vitamine B₁. Il s'agit là d'un phénomène particulier, à l'étude actuellement et se déroulant sur un autre plan.

Les études faites avec l'adermine, ainsi qu'avec l'inositol, conduisent aux mêmes résultats.

5. *Le besoin en facteurs de croissance, c.-à-d. le pouvoir de synthèse est fonction du milieu, ainsi que du stade de développement.* C'est là un des aspects les plus intéressants du problème. Sur milieu de composition donnée, une vitamine est absolument nécessaire pour le développement du microorganisme; en modifiant la composition quantitative ou qualitative du milieu, ce besoin disparaît. Conformément à notre principe de départ, nous devons admettre que dans le premier milieu, la synthèse de la vitamine n'est pas possible, tandis qu'elle l'est dans le second. Ainsi *Pythium Butleri* réclame normalement la pyrimidine de l'aneurine. Si la composition saline du milieu est modifiée, le champignon se développe très bien sans ce facteur de croissance.

Les phénomènes se compliquent lorsque le besoin en facteurs de croissance varie selon le temps, c.-à-d. selon le stade de développement. Ainsi le mésoinositol est requis comme facteur de croissance par une souche dé-

terminée de *Rhizopus suinus*, mais l'action favorisante de cette vitamine ne se manifeste qu'au début du développement. Après un temps variable, les cultures avec inositol ne se différencient plus des cultures contrôles. Toujours en nous basant sur notre principe de départ, nous admettons, soit que le pouvoir de synthèse affaibli au début est retabli dans la suite, soit qu'à partir d'un certain stade de sa croissance le microorganisme peut se passer de cette vitamine. Comme le microorganisme peut se développer aussi sans inositol et que le besoin en vitamine n'est pas absolu, nous admettons: 1° qu'un pouvoir de synthèse partiel pour le mésoinositol est présent, mais qu'il ne suffit pas pour un développement maximum dans les conditions de culture données, 2° que ce mésoinositol fonctionne comme facteur de départ, c.-à-d. qu'il supplée pendant les premiers stades du développement à une déficience partielle de pouvoir de synthèse, 3° qu'une fois ces stades atteints et dépassés, la vitamine n'est plus nécessaire.

Le cas de *Trichophyton album* est encore plus complexe: non seulement l'effet de la biotine (Vitamine H) varie en fonction du milieu, mais en même temps en fonction du stade de développement. Sur un milieu à base d'aspargine, la biotine exerce au début une faible action, qui est immédiatement compensée de telle sorte que les cultures avec biotine livrent les mêmes résultats que les contrôles. Si le milieu est à base de sulfate d'ammonium, l'effet favorable de la biotine se manifeste plus longtemps, mais on arrive finalement à une égalisation. Si le milieu est à base de citrate d'ammonium, l'effet de la biotine très marqué au début, diminue dans la suite, mais sans que les cultures avec biotine rejoignent les contrôles. Ce cas, très complexe, est difficile à expliquer. Logiquement, nous admettons que le pouvoir de synthèse de la biotine varie en fonction du milieu et principalement en fonction de la source azotée. Comme le champignon croît également en milieu privé de biotine, force nous est d'admettre qu'un pouvoir de synthèse partiel, mais insuffisant est présent; cette insuffisance est plus ou moins marquée selon la nature de la source azotée. Lorsqu'elle est trop marquée, la biotine ajoutée agit fortement et plus longtemps, ce qui n'est pas le cas lorsque la déficience de la synthèse est moins accentuée. Il s'agit là d'une explication en première approximation. Dans un cas, il a été possible de prouver, à l'aide d'une analyse directe des thalles déficients en biotine, que réellement la quantité de ce facteur était inférieure à celle contenue dans les thalles crus en présence de biotine. Il s'agirait là d'une première démonstration expérimentale de la validité du principe des synthèses partielles et, indirectement, de la validité du principe des pertes de pouvoir de synthèse.

Ce genre de recherches indique l'une des directions dans lesquelles les travaux devront désormais se développer afin d'arriver à une compréhension plus complète du mécanisme des biosynthèses et de celui des pertes de pouvoir de synthèse. On peut maintenant concevoir les aspects dynamiques des biosynthèses. Jusqu'à maintenant le problème était purement statique. Nous ne doutons pas que les types établis il y a 6 ans: organismes à pyri-

midine, à thiazol, à pyrimidine + thiazol et à aneurine restent valables, avec cette réserve qu'ils ont été établis à l'aide d'un milieu défini et doivent maintenant être étudiés en fonction d'autres milieux et en fonction du temps.

6. *Mécanisme des pertes de pouvoir de synthèse.* Les pertes de pouvoir de synthèse qui se sont produites dans la phylogenèse, doivent être expliquées dans l'ontogenèse. Sur ce point, nous en sommes réduits à des hypothèses, basées sur un petit nombre de faits observés et d'expériences.

Le pouvoir de synthèse d'une substance donnée est génétiquement déterminé, comme toute autre caractéristique morphologique et physiologique de l'organisme. C'est sur cette base que les pertes de pouvoir de synthèse doivent être étudiés quant à leur mécanisme.

La question se pose tout d'abord de savoir s'il est possible, à propos d'un microorganisme, d'affirmer qu'un pouvoir de synthèse est définitivement perdu. Nous savons que les expressions de ce pouvoir de synthèse sont soumises aux influences du milieu. Pour pouvoir affirmer la perte définitive et totale, il faudrait donc cultiver notre microorganisme sur tous les milieux possibles, en variant les sources de carbone et d'azote ainsi que les sels minéraux et toutes les constantes physico-chimiques des solutions nutritives. Pour quelques microorganismes particulièrement bien étudiés et dont la physiologie du métabolisme est bien connue, nous pouvons admettre que, très probablement, un pouvoir de synthèse est réellement perdu, lorsque la croissance ne se produit en aucune occasion. Pour la plupart des microorganismes, une telle affirmation est impossible. Tant que toutes les possibilités culturales n'ont pas été épuisées, il faut donc être extrêmement prudent dans les conclusions. A priori, on peut même, avec quelque exagération, admettre que pour tous les organismes réputés auxo-hétérotrophes, il peut exister une condition culturale telle que la synthèse partielle ou complète des vitamines nécessaires soit possible. Si réellement l'auxo-hétérotrophie se manifeste comme totale, il faut admettre que le pouvoir de synthèse a été réellement perdu et, dans ce cas, la perte est irréversible: la possibilité, déterminée génétiquement, d'accomplir une synthèse est abolie. Par contre, si le pouvoir de synthèse est variable selon le milieu, nous admettons qu'à un niveau quelconque, ce pouvoir est inhibé, mais d'une manière réversible. Nous pouvons donc parler d'une auxo-hétérotrophie absolue et d'une auxo-hétérotrophie conditionnelle.

Tant qu'un faible pouvoir de synthèse reste présent, on peut toujours espérer parvenir à l'exalter par une modification des conditions culturales ou par une lente accoutumance aux conditions de vie auxo-autotrophe (par repiquage répété sur un milieu synthétique privé de facteurs de croissance).

Nous avons admis comme principe de départ que les pertes de pouvoir de synthèse étaient progressives. Un bon nombre de faits expérimentaux parlent en faveur de la validité de cette conception. L'hypothèse qu'une perte de pouvoir de synthèse se manifeste brusquement, d'une manière totale et définitive, par une sorte de mutation physiologique doit être également prise

en considération. Nous connaissons chez les microorganismes des mutations physiologiques, déterminant la production de races dont le métabolisme est modifié. Dans le domaine des facteurs de croissance vitaminiques, nous ne connaissons pas d'exemple de ce genre.

On voit que sur ce point capital du mécanisme des pertes de pouvoir de synthèse, la clarté est loin de régner.

Des expériences faites récemment aux Etats-Unis jettent cependant un jour nouveau sur ce problème. On sait depuis longtemps qu'une irradiation d'une culture de microorganisme par les rayons ultraviolets est nuisible et empêche le développement de l'organisme. Avec *Neurospora*, de tels effets furent produits. Fait singulier, il est possible de compenser l'effet léthal des UV par l'addition d'acide para-aminobenzoïque. En première approximation, on peut dire que tout se passe comme si l'irradiation empêchait une synthèse importante de se produire, à laquelle devrait être substituée l'action d'un facteur de croissance.

7. *Fonction des facteurs de croissance vitaminiques.* Ici, une réponse satisfaisante est plus aisée à donner. Plusieurs parmi les vitamines les plus importantes fonctionnent dans la cellule comme co-ferment, ou fragment de co-ferment. Nous connaissons le rôle des codéhydrases, dans lesquelles la nicotinamide représente le groupe actif, dans le transport de l'hydrogène. Nous connaissons celui de l'hématine, qui prend part à la constitution du cytochrome, celui de la lactoflavine, de l'aneurine. L'impossibilité de synthétiser le groupe actif d'un enzyme important rend tout développement impossible. Par là s'explique l'importance des vitamines pour tous les organismes des deux règnes chez lesquels les mêmes systèmes enzymatiques sont présents, de même que la spécificité d'action de ces vitamines.

9. *Les microorganismes comme tests pour la détermination quantitative des vitamines.* Nous constatons que les microorganismes réagissent à des doses extrêmement faibles de vitamines. *Phycomyces* requiert 0,5 γ d'aneurine pour 25 ccm de milieu de culture, *Ustilago violacea* 0,01 γ seulement. Les doses nécessaires de biotine sont plus faibles encore: le test levure, utilisable sous des formes diverses, permet de déceler avec certitude 0,0005 γ de vitamine H.

Les organismes n'exigeant qu'une vitamine pour leur développement sont naturellement préférés, à la condition qu'ils réagissent d'une manière aussi spécifique que possible à la vitamine en question. Même si le microorganisme requiert une constellation complexe, il peut être utilisé tout de même si son milieu de culture est enrichi d'une quantité suffisante de toutes les vitamines nécessaires, sauf de celle qui doit être déterminée; c'est le cas du test levure pour la biotine. On peut ainsi déterminer l'aneurine (*Phycomyces*, *Ustilago*, *Glaucoma piriformis*) l'acide nicotinique (*Proteus*), l'acide pantothénique (*Proteus Morganii*), la biotine (*Saccharomyces cerevisiae*); des tests ont été proposés pour la lactoflavine et l'adermine.

Cet aspect pratique du problème des vitamines chez les plantes n'est pas un des moins importants: là où le test animal et les tests chimiques ne sont ni assez sensibles, ni assez spécifiques, le test microbiologique peut encore rendre des services.

10. *Conclusions.* L'étude des vitamines chez les plantes a débuté par des recherches très spéciales, généralement inspirées par le désir de mettre au point des tests pratiques. Très rapidement, le domaine a été élargi. Ce n'est pas seulement le problème de l'action des vitamines, mais aussi, et avant tout, celui de la biosynthèse des vitamines qui devient prépondérant. Avec la plante, nous nous trouvons à la source même du problème et, par l'étude et la compréhension des mécanismes des biosynthèses, nous pouvons mieux comprendre les mécanismes d'action. Par l'intervention de la microbiologie physiologique et de la physiologie végétale, une plateforme a été créée qui permet d'envisager le problème dans toute son ampleur: ce n'est plus un problème intéressant une discipline particulière, mais un problème de physiologie générale mettant en évidence l'identité des besoins dans les deux règnes. Cette grande question démontre d'une manière excellente l'utilité et la nécessité de la collaboration de diverses disciplines: le point de départ est d'ordre médical et pratique; le physiologiste des animaux et de l'homme fournit les éléments grâce auxquels le biochimiste peut isoler, puis synthétiser ces vitamines. L'enzymologue constate que plusieurs de ces vitamines sont les constituants de ferments. Le microbiologiste découvre que ces vitamines sont identiques aux anciens facteurs de croissances requis par les microorganismes tandis que le botaniste, encouragé par tous les succès précédents, retrouve une action des vitamines là où elles ont synthétisées et ramène en dernière analyse le problème à sa source et à son point de départ véritable: la biosynthèse des vitamines par la plante autotrophe.

Indications bibliographiques:

La littérature jusqu'à 1939 peut être trouvée dans les ouvrages d'ensemble suivants:

- A. LWOFF: Les facteurs de croissance pour les microorganismes. Rapport au 1^{er} congrès international des microbiologistes de langue française, Paris, 1938, pp. 58—95.
- A. JANKE: Die Wuchsstofffrage in der Mikrobiologie, *Centralbl. Bakteriologie*, II, 1939, 100, 409—459.
- S. A. KOSER and F. SAUNDERS: Accessory factors for Bacteria and related microorganisms, *Bact. Rev.*, 1938, 2, pp. 99—160.
- W. H. SCHOPFER: Vitamine und Wachstumsfaktoren bei den Mikroorganismen mit besonderer Berücksichtigung des Vitamins B₁. *Erg. Biol.*, 1939, 16, 1—172.
- La question des vitamines considérée comme problème de physiologie générale. *Mitt. Naturforsch. Ges. Bern*, 1941, pp. 73—103.