

**Une illusion  
ou  
un bond prodigieux de la science ?**

**LES PLANTES  
OPÈRENT-ELLES  
DES TRANSMUTATIONS ?**

**Les travaux de Pierre BARANGER (†) 1970**  
*Professeur de chimie organique  
à l'École polytechnique (Paris)*

Documents recueillis et présentés par J. M. GATHERON  
Inspecteur général honoraire de l'Agriculture  
Edité par la famille de P. Baranger

**Une illusion  
ou  
un bond prodigieux de la science ?**

**LES PLANTES  
OPÈRENT-ELLES  
DES TRANSMUTATIONS ?**

Les travaux de Pierre BARANGER (†) 1970  
*Professeur de chimie organique  
à l'École polytechnique (Paris)*

Documents recueillis et présentés par J. M. GATHERON  
Inspecteur général honoraire de l'Agriculture  
Edité par la famille de P. Baranger

## TABLE DES MATIERES

	Pages
<b>CHAPITRE I.</b>	
Préliminaire .....	5
Biographie .....	11
Ma rencontre avec Pierre BARANGER .....	17
<b>CHAPITRE II.</b>	
Bref historique des travaux de Pierre BARANGER sur le métabolisme des végétaux .....	21
<b>Mémoire terminal</b> de Pierre BARANGER (octobre 1970) — Contribution à l'étude du métabolisme de Ca, K, P, Fe et Mn chez <i>Vicia Sativa</i> . Y a-t-il variation des teneurs minérales durant la germination et la croissance des plantes ? .....	23
Moyens, méthodes et contrôles des expériences de Pierre BARANGER sur les métabolismes chez les végétaux .....	49
Interprétation statistique .....	55
<b>CHAPITRE III.</b>	
Pierre BARANGER et les Académies .....	61
Observations sur les critiques des travaux de Pierre BARANGER relatifs aux métabolismes chez les végétaux .....	71
Conclusion générale .....	73
Postface .....	77
<b>ANNEXES.</b>	
Photocopies des tableaux et graphiques .....	81
	3

On peut se procurer cette brochure à l'adresse suivante :

Mademoiselle Marie BARANGER  
47, Rue des Carmélites  
86000 POITIERS

## PRELIMINAIRE

*Il est de la première importance que le grand public ait la possibilité de prendre conscience — clairement et intelligemment — des efforts et des résultats de la recherche scientifique. Il ne suffit pas qu'une poignée de spécialistes, dans chaque domaine, s'attaque à un problème, le résolve et l'applique. Réduire et limiter le corps de la connaissance à un petit groupe anéantit l'esprit philosophique d'un peuple et conduit à la plus grave pauvreté spirituelle (EINSTEIN).*

Préface de « *Einstein et l'Univers* »,  
de Lincoln Barnett.

Devant la montée démographique, les spécialistes (économistes, sociologues, agronomes) ont posé le problème de l'avenir de l'humanité relativement à la satisfaction des besoins les plus urgents, les plus rigides et les plus constants de l'homme : la nourriture, la protection contre les agressions du milieu extérieur naturel ou artificiel.

Par les mass-media, leurs constatations, interrogations, supputations et prévisions ont fait naître dans l'opinion mondiale une inquiétude généralisée et aggravée par les déséquilibres économiques, les iniquités sociales, les tensions politiques. Bien rares cependant sont ceux qui perçoivent toute l'ampleur des tumultes provoqués par ces profonds et immenses désordres. Mais, parmi ceux qui sont conscients, combien sont-ils qui, afin d'y remédier, en recherchent les causes profondes ?

En général, les mesures prises pour pallier ces troubles s'inspirent de concepts et appliquent des méthodes qui sont les causes mêmes des désordres et qui, de ce fait, les aggravent. Elles aboutissent finalement à des décisions politiques qui mettent en jeu d'innombrables découvertes scientifiques ou procédés techniques dus à des spécialistes qui ont surtout orienté leur activité vers la croissance industrielle maximale. Les résultats obtenus ont alors conduit certains cercles comme le Club de Rome à conclure à la nécessité d'imposer à l'économie la « croissance zéro ». Proposition irréalisable si l'on considère les besoins primordiaux que nous avons rappelés plus haut. La proposition du Club

de Rome témoigne simplement de l'impossibilité de satisfaire ces besoins tant que l'on considère l'**entreprise** comme « cellule vitale (SAUVY) de l'économie alors qu'elle n'est que celle de la « production » dans une société dite de « consommation ». La cellule **vitale** de toute collectivité humaine est la famille. C'est en son sein que se révèlent et se mesurent les besoins et s'élaborent initialement les moyens d'y pourvoir. Etymologiquement, l'économie reste l'art de gérer la maison, c'est-à-dire d'équilibrer ressources et besoins du ménage. Elle est domestique avant d'être politique.

Or les besoins de l'homme sont d'abord couverts essentiellement par l'agriculture (alimentation et, pour une bonne part, vêtement, habitation, chauffage) sous toutes ses formes. Mais le progrès agricole, qui a largement bénéficié des découvertes de la génétique, par exemple, a été généralement limité dans d'importants secteurs où la recherche s'est crispée sur des données théoriques non scientifiquement vérifiées. Ainsi en est-il de la physiologie végétale.

D'une façon générale, on s'est borné à admettre une fois pour toutes la théorie de la nutrition minérale des plantes formulée par LIEBIG, de SAUSSURE et BOUSSAINGAULT. Si, pour en étudier les modalités d'application, on a procédé à de nombreuses expériences, celles-ci, variées quant à leurs conditions, ont été limitées, sauf de rarissimes exceptions, à l'analyse des végétaux sans que l'on se préoccupe de savoir si la composition du milieu dans lequel ils s'étaient développés (sol - ou simplement eau distillée, atmosphère) avait varié corrélativement à leur croissance. Or seule cette analyse de l'ensemble milieu-plante peut permettre de vérifier l'exactitude de la théorie de l'alimentation minérale des plantes par le milieu extérieur. Si cette analyse n'est pas faite, le chimiste ne peut établir un bilan probant de ses opérations, soit directement, soit indirectement, par la statistique.

L'absence actuelle d'un tel bilan est la cause de l'insuffisance de nos connaissances en matière de physiologie végétale et, en conséquence, de notre impuissance à accroître d'une façon rationnelle la production agricole. Répondre par l'expérience pratique de l'agriculture à ce problème exigerait un temps illimité tant sont nombreux les facteurs qu'il faudrait faire intervenir dans l'interprétation de l'expérience. Pour acquérir des certitudes en la matière il faut user d'une expérimentation tendant à rechercher une loi aussi générale que possible comme c'est la règle en recherche scientifique. C'est à cette recherche que LAGATU, professeur de chimie à l'École Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Montpellier, et son assistant et successeur MAUME se sont livrés au début des années trente de ce siècle. Nous ne pouvons relater ici leurs travaux qui ont suscité une méthode dite du « diagnostic foliaire ». Celle-ci permettrait de suivre, au cours de la croissance, l'alimentation de la plante et rapportée à la composition du milieu, elle permettrait, dans des conditions déterminées, d'éviter certains gros écarts dans l'appréciation de ses besoins alimentaires. Mais le procédé, très lié aux circonstances locales de temps et de lieu, est encore très infidèle. LAGATU ne disait-il pas d'ailleurs : « Il n'y a pas en agriculture de technique générale » (H. LAGATU et MAUME - Le diagnostic foliaire de la pomme de terre - Annales Agronomiques, Mai-Juin 1932, Janvier-Février 1933).

En agriculture la recherche scientifique est particulièrement difficile et, en notre temps où la vie même de l'homme dépend plus étroitement que

jamais de la production agricole, elle devient urgente. LAGATU a dressé un jour un inventaire impressionnant, devenu rapidement incomplet, des disciplines scientifiques auxquelles ressortissent les connaissances nécessaires à un agriculteur. Dans ce complexe déroutant que l'on nomme si simplement le « milieu naturel », l'acquis scientifique se trouve, à chaque lieu et constamment, à l'épreuve et exposé à être mis en question. Non seulement ce milieu naturel est soumis à des lois dont quelques-unes, élémentaires et approchées seulement, ont été dégagées, mais encore il évolue sous l'effet de causes obscures et dans des directions imprévues et peut-être imprévisibles. La recherche agronomique ou fondamentale lorsqu'elle touche aux phénomènes vitaux doit donc plus que tout autre se soustraire, tant à l'interprétation préscientifique des faits qu'au déterminisme aveugle des « idées reçues ».

Voici quelques textes qui invitent à s'engager dans de nouvelles directions de recherches :

Extraits de « Soil-Science » - Volume 70, N° 3, septembre 1950, pages 205-212, article de G. INGHAM : « Effets des matériaux adsorbés de l'atmosphère pour le maintien de la fertilité du sol », traduction Suzanne Feragus.

« En dépit du progrès fait en agriculture dans les cent dernières années, beaucoup de choses sont encore obscures même en ce qui concerne une question aussi fondamentale que celle de la fertilité du sol. On croit communément que la fertilité est inhérente au sol, limitée en quantité et sujette à épuisement par la récolte. Comme la quantité de nourriture des plantes utilisée par la récolte est facilement mesurable et que la composition du sol elle-même est connue, un simple calcul suffirait à déterminer combien de temps les stocks nutritifs actuels des plantes pourraient durer. Si l'azote contenu dans un sol donné, par exemple, est de 0,1 % et le phosphore total de 0,03 %, ces deux éléments, qui sont généralement les facteurs limitants de la production, seraient épuisés dans un petit peu plus d'une seule génération.

« Que cette conclusion soit erronée, ceci est démontré par les classiques expériences à long terme de Rothamsted. (...) »

L'auteur cite alors quelques exemples de sols ayant porté, depuis les origines de la végétation, des plantes abondantes d'une façon continue et qui témoignent d'une richesse et d'une fertilité manifestées par la végétation spontanée ou cultivée qu'ils portent. Et il poursuit :

« Tous ces exemples amènent à la conclusion qu'un facteur quelconque doit être présent et par le moyen duquel des additions réelles de nourriture des plantes sont continuellement faites dans le sol, remplaçant ce qui a été enlevé par les récoltes et suffisant, en l'absence d'érosion, à maintenir la fertilité à un niveau satisfaisant pour une période indéfinie. »

L'auteur examine ensuite diverses constatations et expériences tendant à découvrir les sources d'enrichissement du sol en éléments constitutifs des plantes mais dont on ne peut cependant tirer aucune conclusion utile. Il s'arrête finalement à l'hypothèse, non vérifiée, que ces éléments seraient apportés de la mer au sol par les vents.

Plus récemment, M. COIC, Directeur de la Station Centrale de Physiologie Végétale au Centre national de l'Institut National de la Recherche Agronomique français, concluait son exposé au Premier Salon national pour la Protection de la Nature et de l'Environnement à Rouen (13-18 octobre 1971) :

1° Selon la revue « Agriculture » N° 349 - décembre 1971 - p. 310 : « La principale limitation des progrès dans l'amélioration de la qualité des récoltes est certainement l'insuffisance de nos connaissances sur la physiologie de nos plantes cultivées, notamment en ce qui concerne leur nutrition minérale. »

2° Selon la brochure spéciale du Compte rendu de la susdite manifestation de Rouen : « Les deux principales limitations de notre action sur le rendement et la qualité des récoltes sont, d'une part, la faiblesse de nos connaissances agronomiques et, d'autre part, les nécessités économiques, la rentabilité. »

Plus récemment encore, à Radio Europe N° 1, le 29 octobre 1976, 6 h 45, la Société commerciale des Potasses d'Alsace lançait un communiqué publicitaire déclarant que la potasse maintient la fraîcheur dans le sol et permet aux plantes de résister à la sécheresse. Elle réclamait néanmoins des agriculteurs la communication qui lui serait faite des observations qu'ils recueilleraient dans l'emploi de la potasse, les meilleures réponses recevant comme prix un voyage en Alsace.

Rien peut-être ne suggère autant la nécessité d'étudier plus profondément les métabolismes chez les végétaux, et par conséquent le rôle des engrais minéraux, que la difficulté croissante, voire bientôt l'impossibilité économique, pour l'agriculture du monde entier — et surtout celle des pays à culture « intensive » — de se procurer les phosphates de chaux dont l'emploi apparaît encore comme indispensable au maintien et à l'élévation des rendements agricoles.

\*\*

En conséquence de la situation que nous venons de résumer sur l'insuffisance de nos connaissances en matière de nutrition des végétaux, l'agriculture est soumise à deux courants de pensée qui orientent ses techniques de fertilisation. Le premier est le courant que nous dirons **magique**. Il consiste à utiliser les engrais minéraux, dits « chimiques », suivant la théorie de Liebig. Les résultats ne sont pas nuls, mais ils sont des plus aléatoires bien que cet emploi donne lieu à une expérimentation incessante mais toujours effectuée sans analyse **simultanée** de la plante et de son milieu. L'incertitude technique de ces résultats réagit sur l'économie de l'exploitation agricole qui limite l'emploi des engrais chimiques dès que les prix des denrées agricoles ne suffisent plus à couvrir les dépenses occasionnées par l'emploi de ces engrais.

En conséquence de l'incertitude où l'agriculteur se trouve dans l'emploi des engrais minéraux, l'industrie et le commerce lui offrent des engrais spécifiques appliqués chacun à des végétaux cultivés déterminés (engrais pour légumes, arbres fruitiers, fleurs, gazons, etc...) ou des engrais « complets » et enfin des engrais « universels ». De telles désignations sont

autant d'aveux de l'ignorance où l'on se trouve des besoins des plantes, c'est-à-dire de la physiologie végétale.

Le second courant que nous nommerons **mythologique** prône l'agriculture dite « biologique » qui n'emploierait que des moyens dits « naturels » de fertilisation des sols. Il rejette les moyens de production d'origine industrielle et notamment les engrais « chimiques ». Il se présente comme une nouveauté alors que la constitution des sols de l'ancienne banlieue maraîchère des grandes villes et celle des terres flamandes en sont des exemples probants de longue date. Mais cette agriculture a montré aussi son insuffisance à augmenter les rendements au niveau des besoins alimentaires modernes des populations des pays évolués.

Il est certain que les deux courants contiennent chacun une part de vérité, mais, pour le moment, aucune certitude scientifique ou pratique ne peut les départager. Aussi ces deux courants prononcent-ils, pour s'affirmer, des exclusives réciproques qui ne résolvent aucun problème. Hors de ces oppositions parfois spectaculaires et dans le silence du laboratoire, deux savants chimistes contemporains ont cependant tenté d'élucider le problème que nous venons d'exposer. Le premier, l'allemand VON HERZEELE, publia les résultats de ses travaux de 1876 à 1883. Le second, Pierre BARANGER, professeur de chimie à l'Ecole Polytechnique de Paris, s'appliqua de 1950 à 1970 à vérifier les résultats du premier avec des méthodes scientifiques plus rigoureuses.

Les résultats des travaux de Pierre BARANGER ont donné lieu de sa part à de multiples communications sous forme d'articles, de conférences, d'interviews, d'exposés à des congrès scientifiques, ainsi qu'à la rédaction de plusieurs mémoires donnant le détail de ses expériences. Un film rendant compte des différentes phases du protocole des expériences de Pierre BARANGER a été réalisé en 1959, par M. Armand DELEULE, chef du Service cinématographique du Ministère de l'Agriculture française. Le dernier des mémoires, rédigé en octobre 1970, quelques mois avant la mort de Pierre BARANGER, les confirme tous en une forme concise. Après avoir été proposé en vain en communication à certaines sociétés savantes, comme nous le dirons plus loin, sa publication sous une forme entièrement indépendante a été décidée par la famille de Pierre BARANGER qui, dès 1971, m'a fait l'honneur de me confier la mission de donner une suite à ses travaux. Le **Mémoire terminal** fait l'objet essentiel de la présente brochure. Il est complété par quelques notes sur la personnalité de son auteur et des précisions sur les circonstances et conditions dans lesquelles ont été poursuivis les travaux sur les métabolismes chez les végétaux. Ceci n'aurait pu être fait dans une communication à une société savante ou dans un article d'une revue scientifique à cause de la limitation qui leur est imposée. Le lecteur du compte rendu d'une œuvre scientifique regrette cependant souvent l'absence de ces quelques indications qu'on a dans la suite souvent beaucoup de difficulté à retrouver et à rassembler.

On comprendra aisément que les travaux de Pierre BARANGER, par leur sujet même et par leurs résultats, intéressent bien d'autres domaines que l'agriculture. Si nous nous sommes limités à faire pressentir l'ouverture sur des voies nouvelles de recherches qu'ils offrent à cette activité, c'est en

raison de l'importance et de l'urgence des problèmes qui se posent à elle comme à l'ensemble de l'humanité.

Nous en pouvons clore ce préliminaire sans adresser nos plus vifs remerciements à M. le Professeur Jean GUILHON, Professeur honoraire des Ecoles vétérinaires, secrétaire général et ancien président de l'Académie vétérinaire de France, membre de l'Académie d'agriculture de France, de l'Académie de pharmacie et de l'Académie nationale de médecine, qui accepta avec une généreuse spontanéité de proposer le Mémoire terminal de Pierre BARANGER en vue de sa communication, tant à l'Académie des Sciences qu'à l'Académie d'agriculture de France. Il assura à cet effet tous les contacts et les démarches nécessaires en s'en tenant, dans un esprit rigoureusement scientifique et d'une parfaite loyauté à l'égard des travaux de P. BARANGER, à la conclusion générale de leur auteur, savoir : Pour permettre une conclusion définitive ces travaux doivent être vérifiés en les répétant dans les mêmes conditions avec un personnel compétent et des moyens ad hoc et en les soumettant au contrôle des physiciens de l'atome (1).

La présente publication n'a d'autre objet que d'inviter les chercheurs à s'appliquer à cette tâche.

(1) Une vive reconnaissance est due aussi à Mademoiselle Michèle ROUGEOT et à Monsieur MARECHAL, collaborateurs actifs de P. BARANGER qui, après la mort de ce dernier, ont su préserver de prélèvements indiscrets les archives de son laboratoire.

## CHAPITRE I

# Pierre BARANGER (1900-1971) Professeur honoraire à l'Ecole Polytechnique

par Marcel FETIZON (47).

Pierre BARANGER est décédé le 29 avril 1971 à Finedon-Hall (Angleterre), maison de repos qu'il avait créée pendant la dernière guerre mondiale pour aider ses camarades, handicapés, des Forces Françaises Libres.

Cette fin brutale a surpris et consternés ses nombreux amis. Rien ne la laissait présager tant sa santé semblait excellente.

Il était né le 26 septembre 1900 à Neuville-du-Poitou.

Après des études brillantes à Sainte-Geneviève, il entre à l'Ecole Polytechnique en 1919. Héritier par son père d'une tradition militaire (son père X 1890, était officier), il opte pour l'artillerie à la sortie de l'Ecole.

Après les stages de Poitiers et de Fontainebleau, il est affecté au 17<sup>e</sup> régiment d'artillerie de campagne ; mais déjà à l'Ecole il s'était grandement intéressé à la Chimie, aussi après deux années de service militaire, il demande son affectation au Laboratoire central des poudres, service des Gaz. Dans ce genre d'établissement, il était coutume que les jeunes officiers aillent parfaire leurs connaissances dans un laboratoire subventionné par l'Armée. Baranger est affecté au laboratoire de Chimiothérapie de l'Institut Pasteur, dirigé à cette époque par Ernest Fourneau. Sous l'égide de ce maître prestigieux, il prépare sa thèse de docteur ès Sciences physiques sur le sujet suivant : « Contribution à l'étude des propriétés physico-chimiques et thérapeutiques des acides aryl-arsiniques », thèse qu'il soutiendra brillamment en avril 1931.

Ce travail considérable est divisé en deux parties : l'une purement chimique et l'autre physico-chimique.



Dans la première :

a) il montre que la condensation directe de l'acide arsénique avec les dérivés de la résorcine est impossible dans des conditions très variées.

b) il met au point une préparation des phénols substitués ; il prépare aussi de nombreux dérivés et les acides arséniques correspondants.

c) il étudie et met en évidence la dissociation basique des acides mono-arylsarséniques et prépare des complexes en particulier avec HCl.

d) il montre que l'introduction des groupes méthyle et éthyle dans le 270 Fourneau, faisait disparaître l'activité thérapeutique.

Dans la partie physico-chimique il envisage les rapports entre la structure électronique et l'équilibre interne de la molécule se basant sur les potentiels d'oxydo-réduction ; il s'est attaché alors à éclairer le point particulier suivant :

L'action physiologique (toxique et curative) d'un arsenical dépend-elle de sa transformation *in vivo* en arsenoxyde ?

Quoiqu'ayant obtenu des résultats, il ne les considère pas comme apportant des conclusions définitives. Ils peuvent cependant être envisagés comme une introduction à une série de travaux possibles dans un domaine inexploré.

Peu après sa soutenance de thèse, il est affecté à la poudrerie militaire du Bouchet qui était alors le principal centre militaire de recherches chimiques et biologiques.

Dans cet établissement, il se perfectionne dans la synthèse organique, mais il est surtout attiré par l'étude de l'action des substances chimiques sur la matière vivante et en particulier des produits vésicants, l'ypérite, la lewisite... Il étudie une nouvelle série de produits analogues à celle que l'on avait isolée de la sève de *Rhus toxicodendron*. Ce produit naturel appelé « Laccol » est une pyrocatechine substituée par une chaîne non saturée en  $C_{18}$ .

Il a ainsi synthétisé un grand nombre de dérivés des polyphénols. Parmi eux se trouvent des produits très vésicants tel l'isooctylpyrogallol.

Mais BARANGER voulait aussi faire œuvre humainement utile : s'inspirant des idées de BERENBLUM, qui avait montré que certains vésicants tels l'ypérite et la cantharidine étaient inhibiteurs d'un cancer expérimental de la souris provoqué par les cancérigènes retirés du goudron, il préconise d'appliquer ce principe dans le traitement du cancer humain. C'est ainsi que le géranyl-hydroquinone fut présenté au V<sup>e</sup> congrès international du cancer - Paris 1950, par BARANGER et LEFEVRE. Ce fut une tentative intéressante, mais malheureusement sans lendemain.

En 1936, BARANGER est nommé Ingénieur militaire de 1<sup>re</sup> classe des Poudres pour prendre rang au 3 avril 1931.

Nommé maître de conférences de Chimie à l'École, puis professeur en 1937, il démissionne alors du corps des poudres. Mobilisé en septembre 1939, il répond à l'appel du 18 juin et rallie les Forces Françaises Libres en Grande-Bretagne où après avoir travaillé dans les services des gaz

anglais, il contribue à l'organisation de la protection des gaz des unités de la France libre. Parallèlement, il met sur pied et dirige un centre de rééducation professionnelle pour les soldats invalides des Forces libres (Françaises et autres) à Finedon (Grande-Bretagne). Après la guerre, il reprend son poste de professeur à l'Ecole Polytechnique.

En plus de la préparation de son cours qui lui demande beaucoup de travail, car la chimie a fortement évolué durant ces dernières années, il réorganise son laboratoire. Il y attire les élèves dont plusieurs passeront leur thèse de doctorat ès Sciences et occuperont par la suite des postes importants dans l'Enseignement supérieur.

Délibéré de la contrainte des travaux militaires, il voyage alors beaucoup et en particulier dans le tiers monde. Il est profondément ému par les malheurs qui frappent ces populations : maladies, malnutrition, d'où l'orientation de ses travaux tant dans le domaine de la chimiothérapie que dans celui de l'agronomie.

C'est ainsi, que pour la malaria, il étudie les alcaloïdes du quinquina et met au point une méthode simple industrielle d'extraction sur place des alcaloïdes. Deux ateliers utilisant cette méthode sont mis en construction en Côte-d'Ivoire et à Madagascar. Malheureusement, un changement d'orientation dans la politique médicale officielle basée sur les produits de synthèse, rendent finalement ces ateliers inutiles.

En effet des stocks importants de produits de synthèse anti-malarique avaient été fabriqués pendant la guerre du Pacifique pour pallier au manque de quinine par suite de l'occupation de l'Indonésie par les Japonais.

Dans le domaine de la lèpre, BARANGER reprend ses travaux commencés avant la guerre.

Cette nouvelle série de recherches est inspirée par l'observation de plusieurs médecins coloniaux, d'après laquelle les vieux remèdes anti-lépreux à base d'huile de chaulmoogra étaient beaucoup plus actifs que les préparations modernes distillées, purifiées, stérilisées à chaud. Il était donc probable que quelque chose disparaissait au cours de ces opérations de la pyridazine.

BARANGER montre qu'en effet l'huile de chaulmoogra préparée sommairement absorbe spontanément de l'oxygène et qu'il se forme des peroxydes qui sont détruits par la chaleur.

L'étude minutieuse de la peroxydation de l'huile met en évidence un produit bien défini ; il peut être obtenu au moyen d'opérations simples qui pourraient être réalisées sur place.

Les résultats dans ce domaine ont été assez encourageants. Des essais avec ce produit ont été tentés contre la tuberculose et le cancer.

Il a étendu l'étude des peroxydes à d'autres huiles telles que l'huile d'arachide, de tournesol, d'olive, etc.

Dans le domaine de l'Agronomie, BARANGER a entrepris des travaux de chimie végétale sur les métabolismes minéraux.

Les premiers résultats furent communiqués au Congrès de Phytochimie de Hong-Kong (1961). Ils tendent à montrer l'existence de variations des teneurs minérales des plantes durant la germination et la croissance (1).

On doit noter également ses études sur l'action inhibitrice de quelques substances minérales et organiques simples vis-à-vis du sarcome de Rous en relation avec le paludisme aviaire.

Cependant, BARANGER n'avait pas abandonné la synthèse organique. Avec ses collaborateurs, il étudie la préparation des dérivés du furanne et de la pyridazine (2).

En 1964, il prend sa retraite anticipée et est nommé Professeur honoraire. Il conserve son laboratoire où avec quelques chercheurs dévoués (MARECHAL) il continue ses travaux. Il voyage de plus en plus et c'est au cours de l'un d'eux qu'il mourra à Finedon (Grande-Bretagne).

Telle est, brièvement esquissée, la vie si remplie de cet homme de bien que fut Pierre BARANGER. Bon, généreux, simple, il avait une chaleur humaine qui le faisait aimer de tous ceux qui l'approchaient : ses élèves, ses collaborateurs, ses amis.

Doué d'une grande habileté manuelle (3) : c'était un véritable artiste. En plus de son adresse au Laboratoire, il était un bon pianiste et excellent peintre.

L'orientation de ses travaux, le choix des sujets de recherches étaient orientés vers un mieux être de la condition humaine car disait-il :

« Nous voulons être humain et éviter le désespoir de la vingt-cinquième heure décrit par Georghui. Nous voulons rester au service de l'humanité et surtout de ses représentants les plus pauvres, c'est-à-dire de sa majorité. »

On ne peut rien ajouter à ces lignes, sinon que s'incliner devant l'homme qui les a écrites et surtout qui a appliqué ces principes durant toute sa vie.

Qu'il repose en paix, près de ses parents à Charrais (Poitou) dans cette terre qu'il a tant aimée.

[Extrait de « la Rouge et la Jaune », revue de la Société amicale des anciens élèves de l'Ecole Polytechnique de Paris (AX), n° 271, juin 1972].

(1) Le rédacteur de cet article biographique ignorait sans doute que P. BARANGER avait déjà publié les premiers résultats de ses travaux dès 1957.

(2) Au cours de sa carrière P. BARANGER réalisa 156 synthèses organiques.

(3) Il souhaitait que l'on écrivit sur les murs de son laboratoire « Ici on pense avec les mains ».

## MA RENCONTRE AVEC PIERRE BARANGER

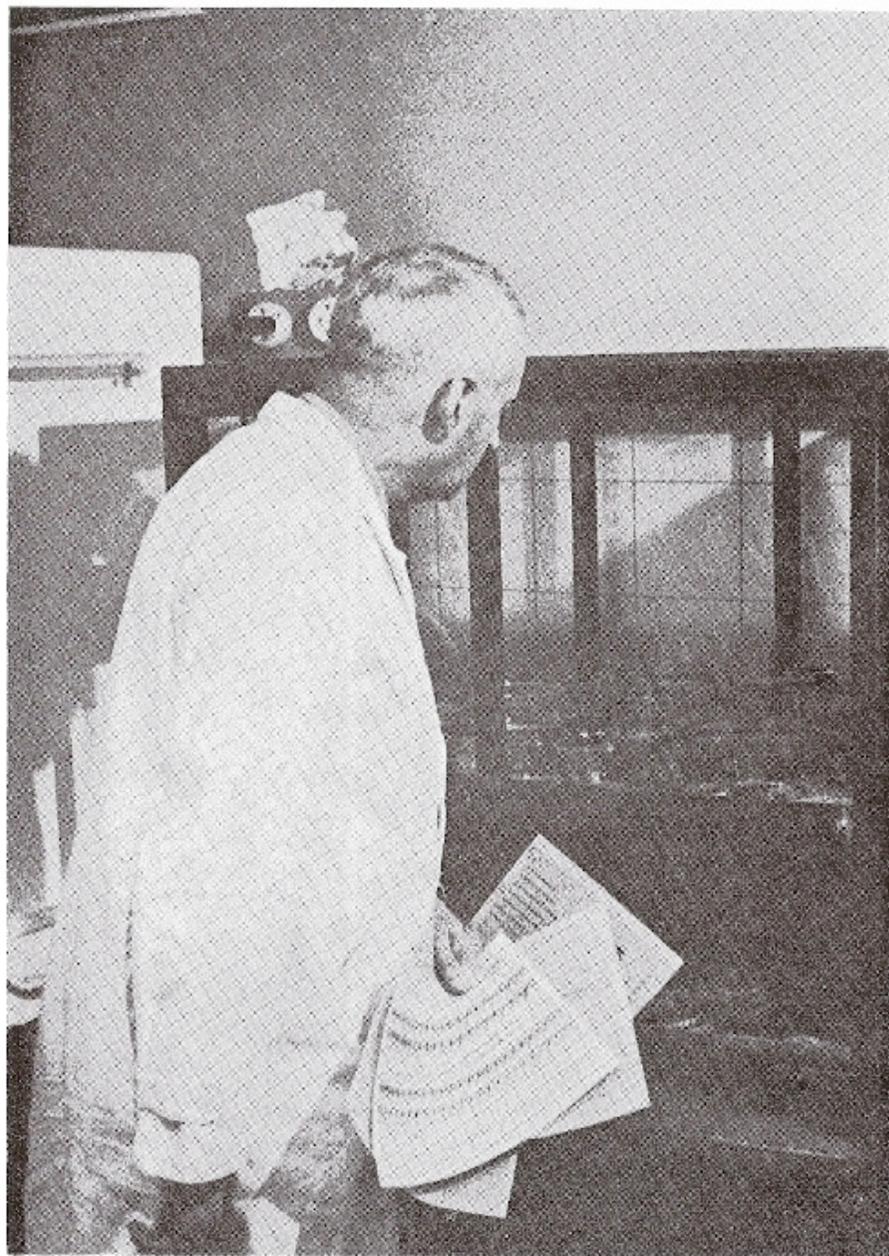
Le 15 août 1950 je rencontrai à Saint-Cannat, en Provence, un camarade de Polytechnique et ami de Pierre BARANGER, M. MAGNAN, fabricant d'engrais azotés en Lorraine. Nous engageâmes la conversation sur leur emploi qu'il jugeait trop parcimonieux de la part des agriculteurs, compte tenu des prévisions du Plan. Je lui fis observer que si l'on connaissait plus exactement la manière dont les engrais sont utilisés par les plantes, leur emploi serait sans doute plus général et plus intense. Etonné par ma réflexion, mon interlocuteur s'exclama : « Comment, vous, un inspecteur général de l'Agriculture, me donnez-vous une explication aussi surprenante ? » — « Parce que j'essaie d'être honnête », lui répondis-je. « Nous ignorons en effet encore trop de choses sur la nutrition des végétaux pour que l'emploi des engrais puisse se baser sur des connaissances scientifiques exactes. » — « Quelle serait alors, selon vous, la direction de recherche où pourrait s'engager l'étude de la physiologie végétale ? » — Je formulai finalement l'hypothèse de la formation par les plantes elles-mêmes de certains éléments chimiques au cours de leur végétation, c'est-à-dire de l'existence de métabolismes sub-atomiques. J'avais déjà exprimé cette hypothèse à certains ingénieurs des services agricoles de ma région d'inspection. Quelque peu surpris, mon interlocuteur me suggéra d'entrer en relations avec P. BARANGER. « Il a les mêmes idées que vous », me dit-il.

Trois mois après ce fut P. BARANGER lui-même qui, prévenu par son ami MAGNAN, prit l'initiative de notre rencontre. Celle-ci eut lieu dans son laboratoire. Ses expériences se trouvant à ce moment interrompues par suite de l'altération par des moisissures des graines qu'il utilisait, j'indiquai à P. BARANGER le moyen de surmonter cet obstacle. Il reprit alors ses

travaux que je pus suivre assidûment pendant vingt ans. C'est seulement après plusieurs entrevues que P. BARANGER me fit connaître les travaux de VON HERZEELE que j'ignorais totalement, ni l'enseignement, ni la recherche, ni la pratique agronomiques n'en ayant fait état, à ma connaissance. La discrétion de P. BARANGER s'explique sans doute par le fait qu'il cherchait à savoir si, du point de vue de l'agronome, les recherches qu'il avait entreprises étaient justifiées. Notre première rencontre fut le début d'une profonde et indéfectible amitié.

Ce qui vient d'être exposé explique en grande partie pourquoi la famille de P. BARANGER me fit l'honneur, après sa mort, de donner aux résultats des dites recherches la suite qu'elles doivent normalement et utilement comporter, en assurant en particulier leur publication par tous moyens opportuns.

J.-M. GATHERON.



Pierre BARANGER à son laboratoire devant les germinations sous coffrage vitré  
Graines germées dans des cristallisoirs (expérience de 1956)

## BREF HISTORIQUE DES TRAVAUX DE PIERRE BARANGER SUR LE METABOLISME CHEZ LES VEGETAUX

Après avoir pris connaissance des travaux de VON HERZEELE publiés de 1875 à 1883 en plusieurs mémoires, Pierre BARANGER se préoccupa de faire le point des connaissances actuelles sur la physiologie végétale en ce qui concerne les relations de la plante avec son milieu. Il constata que les travaux relatifs à cette question étaient rarissimes, anciens et assez sommaires, en relevant ceux de VAN HELMONT publiés dans *Ortus Medicinae* (1643), de SCHRADER, publiés par LESSEIGNE dans le journal de pharmacie (Tome VII), et de VOGEL LE JEUNE (1844).

Dès les premières lignes de son premier mémoire proposé à l'Académie des Sciences, P. BARANGER s'exprimait ainsi :

« On admet généralement que les plantes empruntent tous leurs éléments constitutifs en milieu extérieur ; toutefois, il n'existe pas, à ma connaissance, de preuve directe de cette proposition. Si on trouve, par exemple, une teneur de 3 % de potassium dans une plante, on admet sans preuve analytique, que cet élément provient intégralement du sol. »

Par ailleurs, il retint que les connaissances botaniques et chimiques indiquent, comme la pratique agricole, que, parfois, la teneur de certains végétaux en éléments minéraux est apparemment sans relation avec la composition connue du milieu, sans que cette constatation ait donné lieu à des recherches systématiques.

Ces constatations justifiaient les travaux de VON HERZEELE bien qu'ils ne répondissent pas rigoureusement aux exigences d'une expérimentation telles que la rendent possible et nécessaire les connaissances actuelles, scientifiques et techniques. Pierre BARANGER accorda à leur auteur le bénéfice du doute et en adopta les conclusions comme hypothèse de travail en se posant la question suivante :

« Les plantes empruntent-elles tous leurs éléments constitutifs au milieu extérieur ou sont-elles capables d'introduire dans ce milieu certains éléments par l'exercice d'une chimie sub-atomique dont les règles nous sont actuellement inconnues ? »

Avant toute opération, P. BARANGER a posé les conditions fondamentales de la validité de ses expériences. Il les rappelle ainsi dans son mémoire final :

« Il faut que :

a) Les barrières de potentiel observées dans les laboratoires soient nulles ou très faibles dans les tissus vivants. Or c'est là une notion classique applicable au chimisme des tissus vivants.

b) On ait affaire à des réactions associées de telle sorte que les exigences thermodynamiques des systèmes considérés soient satisfaisantes. Or c'est là également une notion classique relative aux systèmes biologiques. »

L'ensemble des travaux de P. BARANGER comporte d'abord une phase de mise au point rigoureuse du protocole expérimental qui dura une dizaine d'années. Les résultats firent l'objet d'une première série de publications. Ensuite ils s'échelonnèrent sur plusieurs séries d'expériences, avec certaines variantes destinées à les contrôler les unes par les autres.

Les recherches durèrent ainsi plus de vingt ans, de 1950 à 1970, et comportèrent des centaines d'analyses, exécutées après mise au point définitive du protocole expérimental.

Pour permettre une analyse complète du système intégral constitué par une plante et son milieu de croissance, P. BARANGER utilisa des graines mises en germination ainsi que l'avait fait VON HERZEELE, ces graines étant nues, de dimensions et de qualités telles que l'homogénéité des lots constitués pour l'analyse soit aussi grande que possible.

Outre le choix méticuleux des graines et pour éliminer les erreurs et même les imprécisions des opérations analytiques, celles-ci comportèrent un protocole expérimental particulièrement rigoureux, tant en ce qui concerne les réactions internes du système plante-milieu que l'influence possible des facteurs extérieurs. Le **Mémoire terminal** décrit minutieusement les opérations analytiques.

Afin de contrôler les résultats analytiques, P. BARANGER employa la seule méthode possible de mesure des phénomènes observés : la méthode statistique, déjà utilisée d'ailleurs par LAGATU et MAUME dont nous avons rappelé plus haut les recherches (1). P. BARANGER comparait la composition des graines non germées et de graines germées réparties en lots aussi semblables que possible. Pour établir un bilan de l'analyse chimique il est évident qu'on ne pouvait analyser au préalable les graines mises en germination et donc les détruire en tant que matière vivante. Cette évidence a cependant échappé à certains censeurs comme nous le verrons plus loin.

(1) V. préliminaire p. 6.

## MEMOIRE TERMINAL

*Contribution à l'étude du métabolisme de Ca, K, P, Fe et Mn chez Vicia Sativa. Y a-t-il variation des teneurs minérales durant la germination et la croissance des plantes ?*

(Octobre 1970)

par P.-M. BARANGER (1).

### INTRODUCTION

Entre 1875 et 1883 von Herzelee publie (2) plusieurs mémoires concernant ses travaux sur le métabolisme minéral de plusieurs plantes (3). L'expérience type consiste à déterminer la teneur des graines de *Vicia Sativa*, par exemple, en Ca, K, P, puis à déterminer la même teneur dans les plantes (plus leur milieu de culture) issus de ces mêmes graines, après végétation dans l'eau distillée, additionnée ou non de sels minéraux purs.

D'après von Herzelee, on observe des variations significatives de ces teneurs. D'où il conclut que les plantes seraient capables de réaliser la « transmutation » des éléments. Il institue même des expériences pour déterminer la filiation des éléments. Par exemple l'addition de différents sels de Ca, au milieu de culture, provoquerait une augmentation du P. L'addition de  $K_2CO_3$  provoquerait une augmentation de Ca, etc...

Eu égard à la cohérence des résultats annoncés par l'auteur et au caractère sérieux de son travail, il nous a paru judicieux de vérifier le bien fondé de ses déclarations révolutionnaires, en se limitant aux vérifications purement expérimentales, sans prendre parti pour une quelconque explication théorique.

(1) Avec la collaboration technique de Danièle DEPOND et de Michèle ROUGEOT.

(2) Von HERZEELE, A. Verlag von Hermann PETERS, Mohrenstrass 28. Berlin, 1876-1885.

(3) Plantes étudiées par von HERZEELE : trèfle incarnat, vesce, navette, orges, cresson, fève, haricot blanc, haricot nain, rave, seigle, pois, lupin, tussilage, angélique.

Ajoutons cependant que, pour un esprit impartial, rien ne semble s'opposer à ce qu'il existe des réactions sub-atomiques dans les tissus vivants. Il suffit à cet effet, pour respecter les données scientifiques déjà admises :

1° Que les barrières de potentiel observées dans nos laboratoires soient inexistantes ou très faibles dans les tissus vivants. Or, c'est là une notion classique applicable au chimisme des tissus vivants.

2° Qu'on ait affaire à des réactions associées, de telle sorte que les exigences thermodynamiques des systèmes considérées soient satisfaites. Or, c'est également là une notion classique relative aux systèmes biologiques.

Nous avons donc décidé de reprendre les expériences de von Herzele en s'entourant de toutes les précautions à notre disposition. En 1960, nous avons publié les premiers résultats obtenus sur ce sujet (4). Ces résultats portaient sur les variations des teneurs de P et Ca, de *Vicia Sativa*, pendant la germination et la croissance dans l'eau bi-distillée, additionnée ou non d'un sel calcique.

L'analyse statistique des résultats obtenus suggérait les conclusions suivantes :

« These first experiments show that there seem to be some significant variations in the phosphorus and calcium content of the vetch seeds when developing from seed into plants, under certain conditions.

The phosphorus content shows a very significant decrease of about 1 % in the plants grown in calcic water.

On the contrary, the calcium content significantly increases by approximately 1,5 to 2,5 % when the seeds are grown in pure water or in calcic water.

The results given par von Herzele, concerning an increase of phosphorus under the same conditions have not been duplicated.

Nevertheless, it seems highly probable that some sort of « transmutations » are taking place in the plants by some unknown process and it appears that this question warrants further investigation ».

Ces premiers résultats ont depuis lors été complétés par plusieurs séries d'expériences destinées à se vérifier les unes les autres. Expériences échelonnées dans le temps et portant sur des graines de *Vicia Sativa*, d'origines différentes et de récoltes différentes.

Une fois supprimées, dans toute la mesure du possible, toutes les causes d'erreurs systématiques, on peut admettre que, pour une même matière première végétale, la dispersion des résultats pourra provenir de deux causes principales :

- 1° l'hétérogénéité des graines ;
- 2° le degré d'imprécision des opérations analytiques.

Pour obtenir la meilleure certitude statistique, eu égard à ces deux causes d'erreurs, les dispositions suivantes ont été finalement adoptées.

(4) P. BARANGER, J. BIOL. Sc (Bombay), 1960, vol. 3, n° 2, pp. 57-85. P. BARANGER, Proc. Symp. on Phytochemistry, Hong-Kong, 1961, pp. 10-12.

L'homogénéité des graines est assurée par une standardisation soignée de celles-ci :

- a) relativement à leur origine ;
- b) à leur équilibre hygrométrique avec le milieu extérieur ;
- c) relativement à leur calibre (voir Infra, les détails concernant cette standardisation) ;
- d) quant à l'hétérogénéité interne résiduelle des graines, elle est annulée par la multiplication du nombre des graines soumises à l'analyse.

A cet effet, une première méthode consistait à travailler sur plusieurs centaines de lots de 5 à 10 g de graines, soigneusement standardisées. Chaque lot de 5 ou 10 g ne peut alors permettre qu'un nombre restreint d'analyses, en raison de la quantité limitée de liqueur-mère obtenue par minéralisation du matériel végétal.

Au contraire, dans une autre méthode, on réunit les liqueurs-mères en provenance de 25, 50 ou 100 lots... Les opérations analytiques sont alors faites sur les liqueurs totales et il devient possible de multiplier les dosages de chaque élément considéré, soit en général un minimum de 10 dosages par élément.

Une dernière simplification de cette méthode a paru possible, en admettant qu'il n'était pas nécessaire de multiplier les lots, ce qui allonge considérablement les temps consacrés aux analyses d'une même série, et entraîne des problèmes de conservation prolongée dans des récipients en pyrex ou en polythène, en même temps qu'un dérèglement possible des gestes analytiques. Finalement, nous avons opéré sur une série expérimentale, comprenant seulement 10 lots de graines (10 g) non germées et 10 lots (10 g) de graines soumises à la germination, soit pour chaque catégorie : environ 3 000 graines préalablement standardisées.

Nous estimons que ce nombre élevé de graines suffit à réduire au minimum acceptable l'hétérogénéité possible d'un matériel végétal préalablement standardisé.

Dans cette dernière série, les liqueurs provenant de la minéralisation sont rassemblées pour donner dans chaque catégorie 2 litres de solution, c'est-à-dire un volume suffisant pour permettre de multiplier les opérations analytiques relatives à chaque élément ; soit au minimum 30 analyses pour chaque élément.

Dans toutes ces méthodes, les graphiques de dispersion afférents au dosage de chaque élément seront reproduits dans ce mémoire, tandis que les écarts standard seront calculés.

On trouvera plus loin une vue d'ensemble de ces expériences et des résultats obtenus. Disons de suite que ces résultats semblent confirmer nos premières observations, sans que nous soyons en mesure d'assigner une quelconque explication aux phénomènes en cause.

**Le schéma général des expériences** est simple et identique, en gros, à celui choisi par V. HERZEELE ou par nous-même dans le travail précité. Le point important étant que nous avons toujours opéré sur un grand nombre d'échantillons, que les opérations ont été répétées sur des matières pre-

mières végétales variées, quant à leur origine culturale, et enfin que les opérations analytiques ont toujours fait l'objet de répétition afin de bénéficier du contrôle statistique.

Toutes les précautions ont, d'autre part, été prises pour éliminer les causes d'erreurs pouvant provenir d'apports extérieurs, soit par les récipients, soit par l'atmosphère, soit par les réactifs.

Incidemment, nous avons examiné non seulement les bilans métaboliques des plantes poussant dans l'eau bi-distillée, mais aussi l'effet d'addition de Mn dans les milieux de culture.

L'expérience a en effet montré que la présence de sel de Mn favorise largement la croissance des plantes.

Le tableau ci-dessous démontre l'importance de cette action et laisse prévoir que les bilans métaboliques correspondants seront différents de ceux des plantes poussant dans la seule eau bi-distillée.

Nature des plantes	Mn total en mg ajouté à 5 g de graine	Hauteur en cm des témoins en eau bidistillée	Hauteur en cm en présence de $MnCl_2$
Vicia sativa	1,1	9	19
	5,5	9	16
	10	9	14
	22	9	12

On trouvera ci-après la description de cinq séries d'expériences, échelonnées sur plusieurs années ; les bilans métaboliques étudiés concernent les éléments suivants : Ca, P, K, Fe et Mn.

Les premières séries étaient destinées à vérifier les résultats concernant le Ca et le P. Ensuite, on a examiné le métabolisme de K, Fe et Mn.

#### METHODE GENERALE

Les graines sont calibrées, triées à la main, stabilisées hygrométriquement, réparties dans des cristallisoirs en Pyrex ou en polythène, pesées au 1/100<sup>e</sup> de mg par lot de 4 ou 10 g. Les teneurs élémentaires seront rapportées au poids des graines non germées et standardisées.

Ces lots sont disposés dans une serre ou à la lumière artificielle d'un phytotron et mis à germer dans l'eau bi-distillée (E.B.D.) (additionnée ou non de  $MnCl_2$ ). Après un délai de 30 jours, les plantules et leur milieu de culture sont desséchés à l'étuve à 60° et le matériel végétal ainsi stabilisé est entreposé en vue des opérations ultérieures.

Les minéralisations sont opérées, soit par voie ignée, sans intervention de réactifs dans des creusets en or, protégés par des gaines étanches en

acier inoxydable, soit par la méthode sulfo-nitrique-perhydrique. Les solutions résultantes sont, soit groupées, soit analysées individuellement.

Les analyses sont répétées un nombre suffisant de fois, pour aboutir à des valeurs statistiquement valables. Les graphiques de dispersion et les écarts standard permettent de s'assurer de la correction des opérations et de la valeur des résultats.

Toutes les causes d'erreurs sont soigneusement éliminées et les corrections correspondantes effectuées : teneur des réactifs en impuretés, air ambiant, adsorption ou désorption des récipients, etc...

Les méthodes analytiques choisies l'ont été, après vérification soignée de leur fidélité et de leur précision. Les techniciens sont entraînés pendant de longs mois, avant de se voir confier des opérations définitives.

Nous allons maintenant décrire en détail les différentes opérations qui viennent d'être mentionnées.

## PARTIE EXPERIMENTALE

### Sommaire

#### I. Description des méthodes.

- I.a. Structure des différentes expériences.
- I.b. Standardisation des graines.
- I.c. Germination et culture.
- I.d. Minéralisation : Destruction ignée et destruction sulfo-nitro-perhydrique.
- I.e. Méthodes de dosage de Ca, P, K, Fe et Mn.

#### II. Contrôle de la validité des méthodes.

- II.a. Choix des méthodes et formation des techniciens analystes.
- II.b. Libération de Ca, Fe et K, par les récipients en Pyrex.
- II.c. Teneur des réactifs en Ca, K, P et Fe.
- II.d. Teneur du mélange sulfo-nitrique-perhydrique après passage à blanc dans les matras.
- II.e. Teneur de l'atmosphère et Ca, Fe et K.
- II.f. Vérification des appareils de mesure.

#### III. Résultats.

\*\*

Voici maintenant la description détaillée de ces différents articles.

## I. DESCRIPTION DES METHODES

### I.a. STRUCTURE DES DIFFERENTES EXPERIENCES.

#### Expérience A.

Matériel végétal : graines de *Vicia Sativa*, fournies par les Etablissements Plan de Motélimar. Récolte 1960.

A.0. 75 lots de 4 g de graines non germées. Destruction ignée. Détermination des cendres et du Ca.

A.1. 75 lots de 4 g de graines germées dans l'eau bi-distillée (E.B.D.) dans des cristallisoirs en Pyrex, à la lumière solaire. Destruction ignée. Détermination des cendres et du Ca sur la solution groupée.

#### Expérience B.

Matériel végétal de même origine que dans A. Récolte 1961.

B.0. 75 lots de 10 g de graines non germées. Minéralisation par le mélange sulfo-nitro-perhydrique. Solution groupée. Dosage du P.

B.1. 75 lots de 10 g de graines poussées dans E.B.D. à la lumière solaire. Récipients en Pyrex. Solution groupée. Dosage du P.

B.2. 75 lots de 10 g de graines poussées dans E.B.D. à la lumière artificielle d'un phytotron, dans des cristallisoirs en Pyrex. Dosage du P. Solution groupée.

B.4. 25 lots de 10 g de graines poussées dans E.B.D. à la lumière solaire, avec addition de  $MnCl_2$  (0,03273 g de Mn). Récipients en polythène. Dosages de Ca. (Le P ne peut être dosé en présence de Mn). Solution groupée.

#### Expérience C.

Matériel végétal fourni par les Etablissements Vilmorin. Récolte 1967.

C.0. 25 lots de 10 g de graines non germées. Dosages individuels de Ca, P, Fe et Mn.

C.1. 50 lots de 10 g de graines poussées dans E.B.D. Récipients en Pyrex. Lumière solaire. Dosages individuels de Ca, P, Fe et Mn.

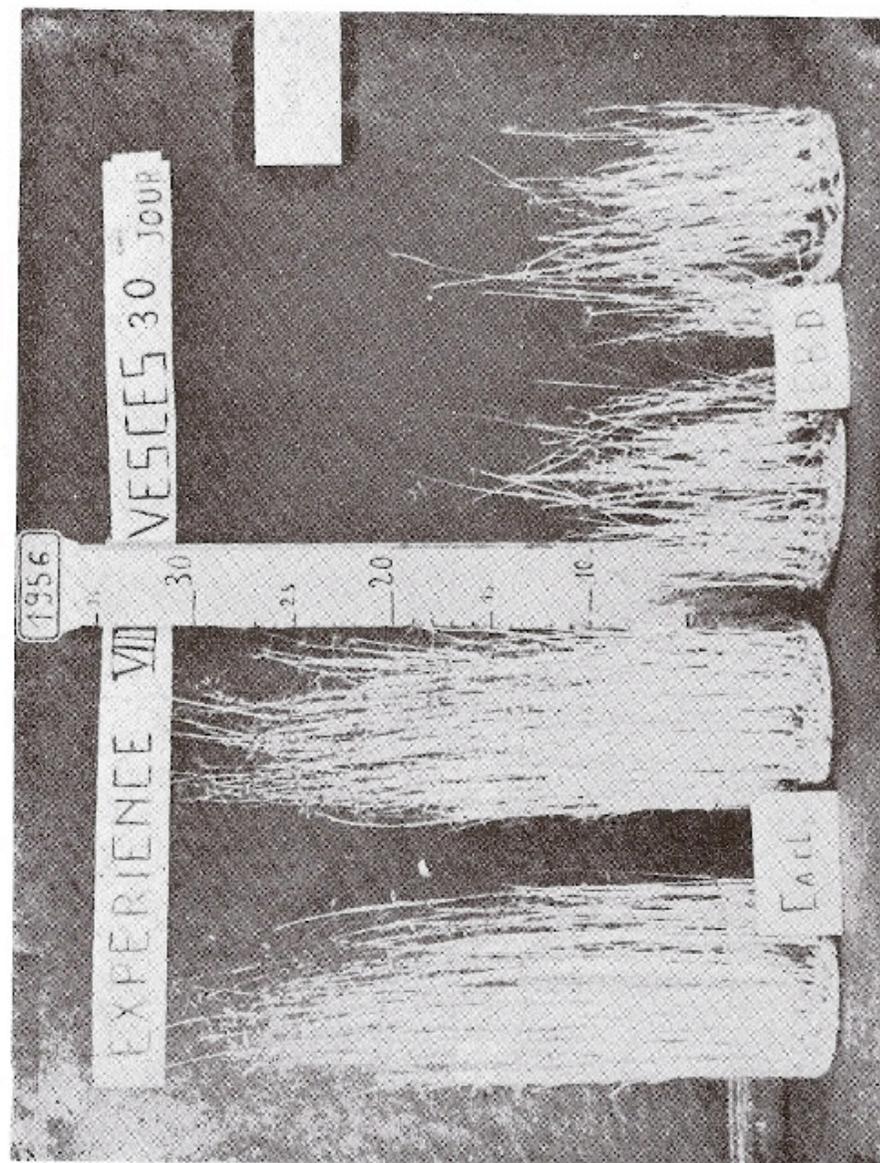
C.2. 25 lots de 10 g de graines poussées dans E.B.D. additionnées de  $MnCl_2$  (30 mg de Mn). Récipients en Pyrex. Dosages de Ca et Fe sur solutions individuelles.

#### Expérience D.

Matériel végétal fourni par les Etablissements Vilmorin. Récolte 1968.

D.0. 4 lots de graines de 10 g non germées. Dosages sur solution groupée de Ca, K, P et Fe.

D.1. 5 lots de graines de 10 g germées dans E.B.D. à la lumière artificielle d'un phytotron. Cristallisoirs en Pyrex. Dosages sur la solution groupée de Ca, K, P, Fe.



Graines en germination sous coffrage de verre

Dans cette série expérimentale, de même que dans les séries suivantes : D et E, on s'est attaché à utiliser toujours exactement les mêmes quantités de réactifs pour chaque échantillon analysé.

C'est ainsi que les graines non germées, sont additionnées de la même quantité d'eau bi-distillée, que celles soumises à la germination, soit 100 cc pour 10 g de graines.

D'autres part les lots de graines non germées sont disposés régulièrement entre les lots de graines soumises à la germination, dans des boîtes de Petri, munies de 2 filtres sans cendre. Ceci afin de compenser les erreurs éventuelles, pouvant résulter de chute de poussières.

D'autre part, comme dans l'expérience C, on fait en sorte d'utiliser les mêmes quantités de réactif, dans les opérations analytiques portant sur D.0. ou D.1. C'est ainsi que les graines non germées sont additionnées de la même quantité d'E.B.D. que celles utilisées pendant la germination, soit 100 cc d'E.B.D. par lot de 10 g de graines.

#### Expérience E.

Matériel végétal fourni par les Etablissements Vilmorin. Récolte 1968.

E.0. 10 lots de graines de 10 g non germées. Dosages sur la solution groupée de Ca, K, P, et Fe.

E.1. 10 lots de graines de 10 g germées dans E.B.D. à la lumière artificielle d'un phytotron. Cristallisoirs en Pyrex. Dosages sur la solution groupée de Ca, K, P et Fe.

Dans cette expérience, qui reproduit l'expérience précédente, les boîtes de Petri contenant les graines non germées avec deux filtres sans cendre, sont réparties régulièrement entre les cristallisoirs contenant les graines soumises à la germination.

On s'attache également, comme dans l'expérience D, à utiliser dans toutes les opérations analytiques, exactement les mêmes volumes de réactif, de telle sorte que les impuretés apportées par les réactifs se compensent automatiquement.

#### I.b. STANDARDISATION DES GRAINES.

Les graines de *Vicia Sativa*, sont calibrées par passage au tamis et passent dans les mailles comprises entre 3,50 mm et 3,75 mm. Elles sont ensuite triées à la main pour éliminer les graines d'aspect défectueux. Le taux de germination dans l'eau bi-distillée est égal ou supérieur à 95 %.

Ces graines sont très sensibles à l'humidité ambiante. Elles doivent donc être stabilisées vis-à-vis de l'hygrométrie atmosphérique. En effet, les teneurs élémentaires seront rapportées au poids de graines non germées. Pour ce faire, on constitue des lots de 5 à 10 g qui sont disposés dans une chambre à atmosphère aussi stable que possible. Des boîtes de Petri contiennent des lots témoins, répartis au milieu des autres boîtes de Petri.

Ces témoins sont pesés chaque jour, jusqu'à obtenir un poids constant plusieurs jours de suite. A ce moment tous les lots sont pesés le même jour, dans le même local. Des corrections sont effectuées sur chaque pesée individuelle, en tenant compte des variations horaires des lots témoins voisins du lot considéré.

#### I.c. GERMINATION ET CULTURE.

Les lots ainsi pesés et dûment numérotés sont disposés, dans des cristallisoirs en Pyrex (ou en polythène) de diamètre : 10 cm et de hauteur : 7 cm, sur deux filtres Durieux sans cendre.

Les plantes sont arrosées journallement avec de l'eau bi-distillée (E.B.D.) dans un appareil en quartz. On consomme 1 litre d'eau pour 100 g de graines.

La germination est effectuée, soit dans une serre, éclairée par la lumière solaire verticale, soit à la lumière artificielle d'un phytotron.

Pour les lots poussant en présence de Mn, on ajoute vers le 8<sup>e</sup> jour le Mn sous forme de  $MnCl_2$ .

Dans les dernières séries d'expérience, série C, D et E, on dispose les graines non germées dans des cristallisoirs munis de deux filtres Durieux et disposées entre les cristallisoirs contenant les graines cultivées.

#### I.d. MINERALISATION IGNEE OU SULFO-NITRO-PERHYDRIQUE.

**Destruction ignée.** Les graines non germées ou le matériel végétal desséché à 60° sont introduits dans des creusets en or (hauteur 9 cm, diamètre 2,5 cm) fermés par un couvercle en or. Ce premier creuset est introduit dans une bombe en acier inoxydable fermée hermétiquement par un bouchon à vis, avec rodage étanche.

Les creusets sont placés dans un four électrique à 600°. On pèse les creusets en or tous les jours, jusqu'à poids constant et destruction complète de la matière végétale manifestée par la formation de cendres entièrement blanches. Le poids final enregistré est porté sur un graphique de dispersion.

**Destruction humide.** On introduit dans les matras les graines ou les plantules avec leur papier filtre. Ces dernières sont entraînées avec 100 cc de  $NO_2H$  pur. Les mêmes matras, au nombre de douze sont utilisés pour toutes les destructions. On alterne les destructions (6 à la fois) des graines non germées avec celles des plantules.

On rince à E.B.D. les cristallisoirs ayant contenu les plantules. On additionne de 4 cc d'acide sulfurique pur pour analyses, après un repos de 12 heures, on chauffe à l'ébullition jusqu'à brunissement de la liqueur. On ajoute 10 cc de  $H_2O_2$  à 110 volumes, jusqu'à décoloration de la liqueur. Cette opération est répétée jusqu'à obtenir un liquide incolore. On note exactement la quantité ajoutée, pour corrections finales des résultats si cela est nécessaire. Dans les dernières expériences (ex D et E), on utilise exactement les

mêmes volumes de réactifs, pour la destruction des graines non germées ou des plantules, ce qui compense les erreurs pouvant résulter de l'impureté des réactifs. On transvase dans un ballon jaugé et ajusté à la température de 20°. Volume du ballon déterminé par pesée : 99,631 cc à 20°.

Avant de transvaser, on filtre sur papier sans cendre, lavé soigneusement avec E.B.D. Il reste sur le filtre un résidu. Après destruction dans un creuset en or au four électrique à 600°, on obtient un résidu, qui à l'analyse spectrale se révèle être un mélange d'alumine de silice avec des traces de Mg, Cu, Ti, Ca et Mn. Le résidu provenant des plantules est toujours supérieur à celui des graines non germées, mais il est très difficile d'entraîner tout l'insoluble contenu dans les matras et nous ne ferons pas état de cette augmentation de poids dans le présent mémoire. Toutefois, cette augmentation est à rapprocher de la variation de poids des cendres mentionnée dans l'expérience A.

#### I.e. METHODES DE DOSAGE DE Ca, P, K, Fe ET Mn.

**Calcium.** On emploie la méthode à l'oxalate, modifiée par Gans et Rahaminoff (5), qui permet d'éviter l'erreur pouvant provenir de l'entraînement de Mg.

Faire une prise d'essai de 25 cc. Ajouter 3 gouttes d'indicateur mixte, on ajoute alors  $\text{NH}_4\text{OH}$  jusqu'à  $\text{pH} = 6$ . On chauffe la prise d'essai et ajoute 25 cc d'oxalate bouillant en solution saturée, additionné de 2 % d'acide acétique glacial.

Porter à l'ébullition quelques minutes et laisser sur plaque chauffante pendant 80 minutes. Laisser reposer une nuit. Filtrer sur filtre sans cendre. Le filtre est remis dans le Becher qui contient la majeure partie du précipité. Le tout est porté au four à 600° pour détruire l'oxalate. Le résidu est alors repris par 3 gouttes de  $\text{ClH}$  à 25 % et E.B.D.

On effectue alors une 2<sup>e</sup> précipitation, par l'oxalate d'ammonium bouillant.

Le précipité final est lavé par une solution bouillante d'oxalate, puis à l'eau bouillante, séché avec 5 cc d'alcool absolu, puis 10 cc d'éther anhydre. Après séchage, 1 heure sous vide, on peut peser le précipité :

$$\frac{\text{Ca}}{\text{C}_2\text{O}_4\text{Ca}} = 0,2743$$

On opère sur 10 prises d'essais accompagnées d'un dosage témoin. L'écart standard est calculé. Les valeurs des différents dosages sont portées sur un graphique de dispersion.

**Phosphore.** Dosage par le phosphate ammoniaco-magnésien.

On prélève 10 cc de la solution mère. On ajoute une pincée de  $\text{CINH}_4$  et 3 cc de  $\text{Cl}_2\text{Mg}$  à 10 %. Ensuite on ajoute lentement une solution concentrée de  $\text{NH}_4\text{OH}$  jusqu'à formation d'un précipité cristallin. S'il se forme un précipité floconneux, le dissoudre avec quelques gouttes de  $\text{ClH}$  à 25 %.

Laisser reposer toute la nuit. Filtrer sur creuset de Gooch  $\text{G}_3$ , séché sous vide et taré. Sécher 1 heure sous vide.

Le précipité est entraîné sur filtre au moyen d'eau ammoniacale à 1 % d'alcool méthylique puis d'éther anhydre.

$$\frac{\text{P}}{\text{PO}_4\text{NH}_4\text{Mg}, 6\text{H}_2\text{O}} = 0,1262$$

On opère sur un dosage témoin et sur deux prises d'essais en solutions individuelles ou dix prises d'essais sur les solutions groupées.

**Fer. Réactifs.** Solution d'o-phénanthroline à 0,5 %. Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 10 %. Solution de citrate de Na à 25 %. Fer électrolytique dissous dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  au 1/3.

La gamme des dilutions témoins pour le dosage photométrique comprend les concentrations suivantes par litre, en Fe : 0,398 mg, 0,747 mg, 1,192 mg, 1,411 mg, 2,338 mg.

**Mode opératoire.** Faire une prise d'essai de 10 cc. Ajouter 2 cc de chlorhydrate d'hydroxylamine pour réduire le fer ferrique à l'état ferreux. La réduction en Fe II est immédiate. Amener à  $\text{pH} = 3,5$  avec le citrate de Na (environ 3 cc). Ajuster le volume à 25 cc par E.B.D. Laisser reposer 12 heures. Colorimétrer à 512 m $\mu$ . (Photomètre Lange).

Faire 10 dosages avec 6 lectures par dosage. Calculer l'écart standard et reporter les résultats sur le graphique de dispersion.

Le dosage de Fer étant, dans certains cas, effectué sur des solutions contenant du Mn, on a vérifié sur des solutions concentrées de Mn (50 fois la concentration des solutions-mères) que la présence de Mn n'interfère pas avec la réaction colorimétrique du Fe.

**Potassium.** On utilise la méthode au photomètre de flamme (Lange). Les dosages sont effectués directement sur la solution sulfurique résultant des destructions sulfo-nitro-perhydriques. Il est nécessaire d'opérer sur des dilutions de la solution-mère. Afin d'éviter les erreurs pouvant provenir de dilutions volumétriques, on utilise des dilutions pondérales, préparées selon le processus suivant :

Peser un ballon de 50 cc, soit le poids : T. Introduire 0,3 cc de la solution-mère. Nouvelle pesée du ballon, soit : T' et par différence :  $T - T' = p$ .

Ajuster à 50 cc avec E.B.C., peser, soit : T'' et  $T'' - T = P$ . La dilution finale est, avec une erreur minime :  $P/p$ .

On effectue 30 dosages sur chaque dilution groupée, ce qui entraîne la préparation de 30 dilutions.

Chaque dilution est comparée à des étalons de  $\text{ClK}$  contenant respectivement : 3,75 et 2,5 mg de K par litre.

(5) Gans D. and Rahaminoff, Chem. and Ind. 14, 32, 1956.

La division 80 de l'appareil est réglée avec l'étalon 3,75 et le zéro avec E.B.D.

Ensuite, on passe dans l'appareil les dilutions par groupe de trois (a, b, c) (germées : G et non germées : NG) à raison de quatre passages pour chaque dilution. On varie l'ordre de présentation des dilutions (a, b, c) de la manière suivante :

1<sup>er</sup> passage : réglage du 80 et du 0, Et 3,75 ; Et 2,5 ; NG-a ; G-a ; NG-b ; G-b ; NG-c ; G-c.

2<sup>e</sup> passage : réglage du 80 et du 0, puis G-c ; NG-c ; G-b ; NG-b ; G-a ; NG-a.

3<sup>e</sup> passage : comme le 1<sup>er</sup>.

4<sup>e</sup> passage : comme le 2<sup>e</sup>.

Soit finalement : 4 lectures pour chaque dilution. La moyenne de ces 4 lectures sert à calculer la teneur de chaque dilution.

Comme indiqué plus haut, cette série élémentaire d'opérations portant sur 3 dilutions (a, b, c) est répétée 10 fois, de telle sorte que les 30 dilutions NG et les 30 dilutions G fournissent des graphiques de dispersion de 30 points, résultant de 120 lectures.

Afin de laisser à l'appareil le temps de retrouver son équilibre, on laisse s'écouler un minimum de 2 heures entre chaque série de 4 passages.

**Manganèse.** On effectue le dosage sur la liqueur sulfo-nitrique provenant de la minéralisation. Le Mn est dosé à l'état de  $MnO_4K$ . On oxyde en  $MnO_4$  au moyen du periodate de K. L'addition d'acide phosphorique inhibe la précipitation d'oxyde et de periodate de Mn ainsi que de periodate de Fe.

**Mode opératoire.** Les solutions-mères contiennent très peu de Mn et doivent donc être concentrées. La prise d'essai de 50 cc est évaporée à sec et reprise par une quantité connue, 10 cc d'une solution à 10 %  $H_2SO_4$  + 10 %  $PO_4H_3$ . On ajoute 200 mg de periodate de K. Chauffer 10 minutes à 90°. Colorimétrer à 530 m $\mu$ . Les solutions témoins sont préparées à partir de Mn électrolytique.

## II. CONTROLE DE LA VALIDITE DES METHODES

### II.a. CHOIX DES METHODES ET FORMATION DES TECHNICIENS ANALYSTES.

Tout d'abord il convient d'indiquer que les méthodes analytiques ont été choisies après examen pratique de leur précision et de leur fidélité, non seulement sur des solutions pures, mais aussi sur des solutions complexes analogues à celles obtenues dans les minéralisations.

Les techniciens chargés de mettre en œuvre les méthodes devaient être capables d'exécuter de nombreux dosages en série et devaient obtenir des résultats absolument cohérents, avant de se voir confier les dosages définitifs.

On a déjà signalé que l'on effectuait toujours sur les solutions groupées un minimum de 10 dosages et un dosage témoin pour chaque élément dosé. L'écart standard calculé est indiqué dans les tableaux rassemblant les résultats. Nous n'avons conservé que les expériences dans lesquelles les variations absolues des teneurs élémentaires étaient égales ou supérieures à l'écart standard.

### II.b. LIBERATION DE Ca, Fe ET DE K PAR LES CRISTALLISOIRS.

Cinq cristallisoirs en Pyrex (6) sont remplis d'E.B.D. ; après trois semaines on constate que l'eau contient 0,004 mg de K, mais ne contient ni trace de Ca, ni trace de Fe.

La libération de K par le Pyrex est négligeable. En tout état de cause, cette légère variation irait en sens inverse de la diminution de K constatée dans les graines germées par rapport aux graines non germées.

### II.c. TENEUR DES REACTIFS EN Ca, K, P ET Fe (PAR LITRE).

Eau bi-distillée (dans un ballon en quartz) :

Ca	Néant
K	0,0084 mg
P	0,04 mg
Fe	0,012 mg

Acide nitrique :

Ca	Néant
K	0,01 mg
P	Néant
Fe	0,082 mg

Acide sulfurique :

Fe	0,11 mg
----	---------

Acide chlorhydrique :

Fe	0,007 mg
----	----------

(6) Composition du verre Pyrex : silice 80,2 % ; acide borique 12,9 % ; alumine 2,2 % ; oxyde ferrique 0,05 % ; soude 8,5 % ; potasse 1,15 %.

#### Eau oxygénée :

Ca	Néant
K	0,06 mg
P	2,63 mg
Fe	0,015 mg

#### Filtre sans cendre Durieux :

Ca	Néant
K	0,025 mg
P	0,021 mg
Fe	0,0018 mg
Cendres	0,6 mg

Ces teneurs font l'objet de corrections quand il y a lieu.

#### II.d. TENEUR DU MELANGE SULFO-NITRIQUE-PERHYDRIQUE APRES PASSAGE A BLANC DANS LES MATRAS.

On opère sur 3 des 12 matras utilisés pour l'ensemble du travail. Le mélange S.N.P. (230 cc) est chauffé pendant 12 heures dans les matras. On trouve finalement dans chaque matras les quantités suivantes :

Ca	Néant
K	0,05 mg
P	0,14 mg
Fe	0,050 mg

Les corrections correspondantes n'influent pas sur les valeurs relatives des différents lots de graines.

#### II.e. TENEUR DE L'ATMOSPHERE EN Ca ET Fe ET K.

Les vérifications suivantes ont été faites :

1° Des boîtes de Petri avec filtre Durieux sans cendre sont disposées au milieu des cristallisoirs, pendant la culture des graines. Il n'y a pas de précipitation d'impuretés dosables sur les filtres (expérience A).

2° On fait passer 25 m<sup>3</sup> d'air sur un filtre sans cendre Durieux. On trouve à l'analyse les quantités suivantes d'impuretés :

Calcium	Néant
Potassium	0,001 mg

Quantités négligeables et ne pouvant influencer sur les résultats généraux.

3° Dans l'expérience D et E, ainsi qu'il a déjà été mentionné, tous les lots de graines non germées sont disposées sur filtres sans cendre, dans des

boîtes de Petri, réparties régulièrement au milieu des cristallisoirs servant à la culture des autres lots (expérience D et E).

4° 150 litres d'air sont aspirés à travers un flacon laveur contenant de l'E.B.D.

On trouve dans l'eau les quantités suivantes :

Calcium	Néant
Fer	Néant

#### II.f. VERIFICATION DES APPAREILS DE MESURE.

Les pesées sont faites sur balance Mettler au 1/100 mg. Les calculs sont opérés sur machine à calculer électrique.

Les mesures photométriques sont faites sur photomètre Lange, avec des tubes rigoureusement calibrés.

Les mesures au photomètre de flamme (expériences D et E) sont effectuées avec un appareil Lange, comme indiqué plus haut.

Les mesures de volumes sont opérées à température constante de 20°, après séjour dans une enceinte thermostatique des différentes solutions. Tous les appareils de mesures volumétriques sont étalonnés par pesées.

### III. RESULTATS

Ils sont rassemblés dans les tableaux suivants et les graphiques de dispersion correspondants.

Les tableaux récapitulatifs nos 1, 2, 3, 4 et 5, établis pour chaque élément et pour les cendres, mettent en évidence les données suivantes :

**Colonnes 1 et 2 :** Description sommaire de l'expérience (A, B, C, D et E). Croissance au soleil ou à la lumière artificielle. Dosages sur les solutions groupées ou individuelles. Témoins ou graines germées.

**Colonne 3 :** Teneur élémentaire en g pour 100 g de graines, plus ou moins l'écart probable. Nombre d'analyses effectuées.

**Colonne 4 :** Variation absolue et variation relative de la teneur élémentaire.

Faisant suite aux tableaux 1, 2, 3, 4 et 5, on trouvera les graphiques de dispersion relatifs à chaque série de dosages, graphiques qui mettent en évidence les déplacements des points représentatifs, lorsqu'on passe des graines témoins non germées aux graines germées.

Chacun de ces graphiques rappelle les indications déjà portées dans les premiers tableaux et permettent, par un simple coup d'oeil, d'apprécier la valeur statistique des résultats.

Examinons maintenant, en détail, les résultats relatifs à chaque élément.

1° Cendres. Graphique 1.

Les graphiques de dispersion des graines non germées (A<sub>0</sub>) et des graines germées (A<sub>1</sub>) sont nettement séparés. Ils portent respectivement 72 et 67 points.

On constate une augmentation significative du poids des cendres de 0,159 g avec un écart standard moyen de 0,05 g. Soit une variation relative de 5,19 %.

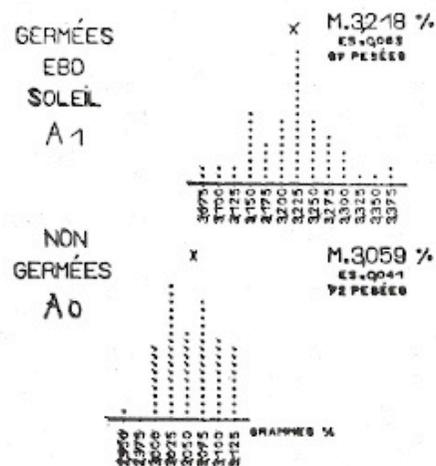
Je rappelle que les cendres contiennent principalement de l'alumine et de la silice, de petites quantités de dérivés calciques non identifiés, plus des traces d'autres éléments.

VESCES 1960

DESTRUCTIONS IGNÉES

CENDRES

VARIATION ABSOLUE + 0,159  
VARIATION RELATIVE + 5,19 %



2° Calcium. Tableau 1, graphiques 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Les résultats rassemblés dans les tableaux et graphiques ci-après font état de 6 séries de déterminations sur les lots de graines provenant de

EXPÉRIENCES	RENDU EN % ± ÉCART STANDARD (NOMBRE D'ANALYSES)	VARIATION ABSOLUE VARIATION RELATIVE
A	A <sub>0</sub> 0,16258 ± 0,00293 (6)	+0,01587
	A <sub>1</sub> 0,17845 ± 0,00446 (7)	+9,3 %
B	B <sub>0</sub> 0,12490 ± 0,00238 (18)	+0,00572
	B <sub>4</sub> 0,13062 ± 0,00181 (17)	+4,5 %
C	C <sub>0</sub> 0,14891 ± 0,00381 (50)	+0,00332
	C <sub>1</sub> 0,15223 ± 0,00290 (95)	+2,2 %
C	C <sub>0</sub> 0,14891 ± 0,00381 (50)	+0,00687
	C <sub>4</sub> 0,15578 ± 0,00277 (48)	+4,6 %
D	D <sub>0</sub> 0,14892 ± 0,00250 (20)	+0,00387
	D <sub>1</sub> 0,15279 ± 0,00158 (20)	+2,5 %
E	E <sub>0</sub> 0,14419 ± 0,00067 (35)	+0,00309
	E <sub>1</sub> 0,14728 ± 0,00078 (85)	+2,1 %

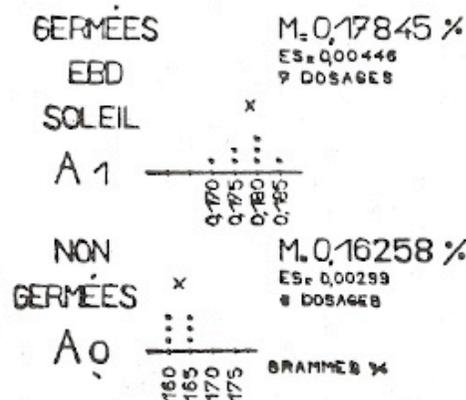
TABLEAU 1.

VESCES 1960

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS IGNÉES

CALCIUM

VARIATION ABSOLUE + 0,01587  
VARIATION RELATIVE + 9,3 %

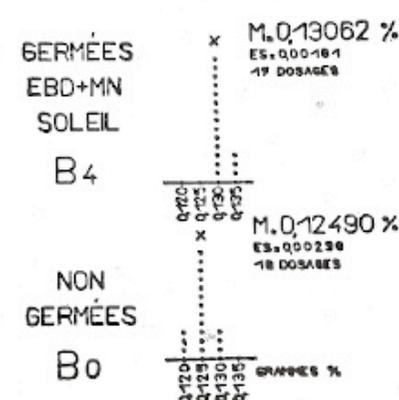


VESCES 1961

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PER-HYDROL

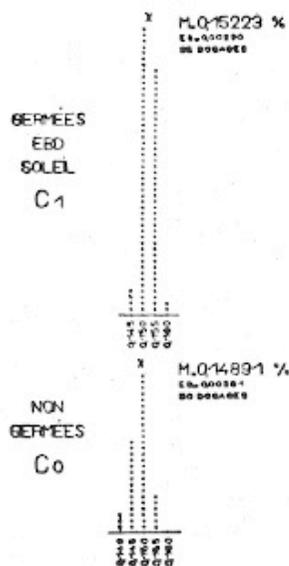
CALCIUM

VARIATION ABSOLUE + 0,00572  
VARIATION RELATIVE + 4,5 %



CALCIUM

VARIATION ABSOLUE + 0,00332  
VARIATION RELATIVE + 2,2 %



GRAPHIQUE 4

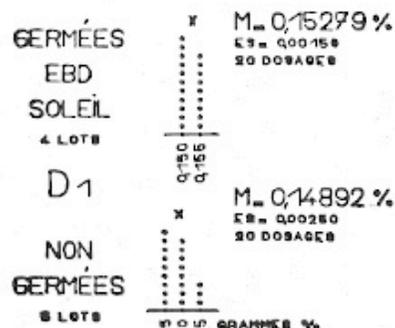
VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPEES

DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

VARIATION ABSOLUE + 0,00387  
VARIATION RELATIVE + 2,5 %

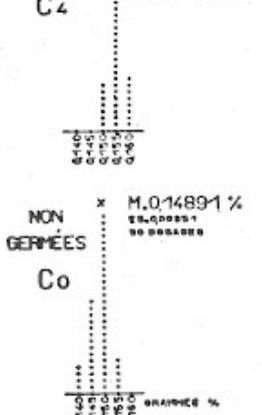
CALCIUM



DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

CALCIUM

GERMÉES EBD+MN SOLEIL C4  
M.O. 0,15578 %  
E.S. 0,00177  
VARIATION ABSOLUE + 0,00687  
VARIATION RELATIVE + 4,6 %



GRAPHIQUE 5

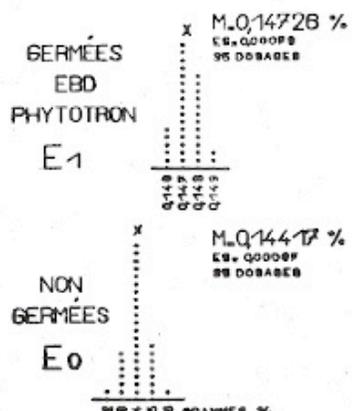
VESCES 1968

DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

SOLUTIONS GROUPEES

CALCIUM

VARIATION ABSOLUE + 0,00309  
VARIATION RELATIVE + 2,1 %



6 récoltes différentes. Dans chaque série, on constate une augmentation de la teneur en Ca des graines germées par rapport à la teneur des graines témoins. Augmentation comprise entre 2,1 % et 9,3 %, comme il est rappelé brièvement dans le tableau suivant :

Expériences	Variations relatives du Ca
A <sub>1</sub>	+ 9,3 %
B <sub>2</sub>	+ 4,5 %
C <sub>1</sub>	+ 2,2 %
C <sub>4</sub>	+ 4,6 %
D <sub>1</sub>	+ 2,5 %
E <sub>1</sub>	+ 2,1 %

On constate que l'addition de Mn au milieu de croissance (B<sub>4</sub> et C<sub>4</sub>) conduit à des variations de teneurs en Ca, plus élevées que pour les croissances dans E.B.D. pure. Rappelons que l'addition de Mn accélère la croissance des plantes et conduit à des hauteurs de plantules, environ doubles de celles des plantules obtenues dans E.B.D.

Le cas de A<sub>1</sub>, avec une variation relative de + 9,3 %, semble exceptionnelle. La variation absolue de la teneur en Ca de + 0,01587 est ici très supérieure à l'écart standard de 0,00293.

Pour la série C<sub>1</sub>, la variation absolue de + 0,00332 est du même ordre que l'écart standard, mais dans les autres séries, la variation absolue est supérieure à un écart standard (série D) ou à deux écarts standard.

Il semble donc, eu égard à l'ensemble des résultats concernant ces 6 séries d'expériences, qu'on puisse dire que pendant la végétation des graines, dans E.B.D., additionnée ou non de Mn, à la lumière solaire ou artificielle, la teneur en Ca augmente d'une manière significative.

Ce résultat confirme celui déjà obtenu dans un travail antérieur (7), résultat qui faisait état d'une variation relative de 2,5 % de la teneur en Ca des plantes poussant dans E.B.D.

3° Phosphore. Tableau 2. Graphiques 8, 9, 10, 11 et 12.

On a affaire à 5 séries d'expériences avec, en bref, les résultats suivants :

Expériences	Variations relatives de P
B <sub>1</sub>	- 2 %
B <sub>2</sub>	- 1,7 %
C <sub>1</sub>	- 2 %
D <sub>1</sub>	- 1,7 %
E <sub>1</sub>	- 2,3 %

Ces variations sont toutes du même ordre. Dans un travail antérieur (7) on n'avait pas observé de variations significatives de la teneur en P dans les plantes poussées sur E.B.D., mais une variation significative d'environ 1 % pour celles poussées dans l'eau calcaïque.

(7) Voir renvoi page 26.

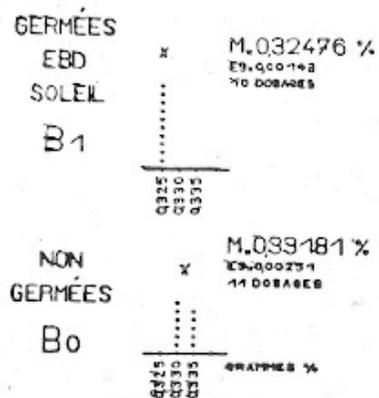
EXPERIENCES	TENEURS en % ± ECART STANDARD (NOMBRE D'ANALYSES)	VARIATION ABSOLUE VARIATION RELATIVE
B	B0 033181 ± 000251 (11)	-0,00705
	B1 032476 ± 000143 (10)	-2,1%
B	B0 033181 ± 000251 (11)	-0,00574
	B2 032607 ± 000211 (10)	-1,7%
C	C0 037396 ± 001005 (50)	-0,00755
	C1 036641 ± 001463 (98)	-2%
D	D0 036463 ± 000348 (20)	-0,00625
	D1 035838 ± 000454 (20)	-1,7%
E	E0 050923 ± 000938 (45)	-0,01182
	E1 048741 ± 000779 (45)	-2,3%

VESCES 1961

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PERHYDROL

PHOSPHORE

VARIATION ABSOLUE - 0,00705  
VARIATION RELATIVE - 2,1%

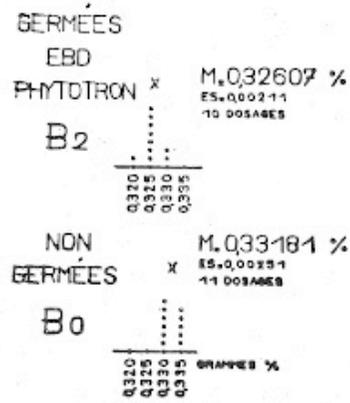


VESCES 1961

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PERHYDROL

PHOSPHORE

VARIATION ABSOLUE - 0,00574  
VARIATION RELATIVE - 1,7%



VESCES 1967

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PERHYDROL

PHOSPHORE

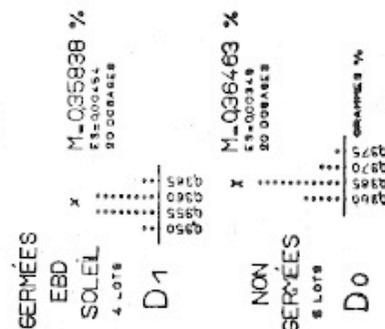


VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PERHYDROL

PHOSPHORE

VARIATION ABSOLUE - 0,00625  
VARIATION RELATIVE - 1,7%

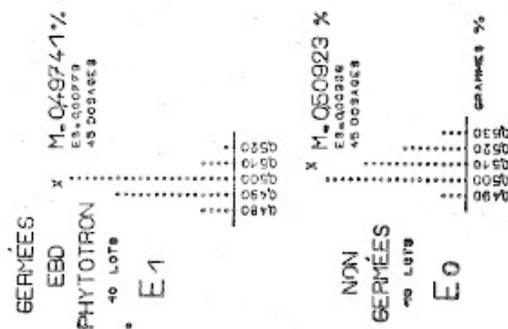


VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO-NITRO-PERHYDROL

PHOSPHORE

VARIATION ABSOLUE - 0,01182  
VARIATION RELATIVE - 2,3%



Si on examine le tableau 2 et les graphiques correspondants (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et D<sub>1</sub>), la variation absolue est supérieure à deux écarts standard. Dans la série E<sub>1</sub> la variation absolue est légèrement supérieure à l'écart standard. Dans la série C<sub>1</sub> cette variation est légèrement inférieure à l'écart standard.

Il semble donc exister une grande probabilité pour une diminution significative de la teneur en P, pour les plantes poussant dans E.B.D.

4° Potassium. Tableau 3 et graphiques 13 et 14.

Les résultats portent sur deux séries d'expériences. Soit en bref :

Expériences	Variations relatives de K
D <sub>1</sub>	- 1,3 %
E <sub>1</sub>	- 0,98 %

Ces variations sont du même ordre et paraissent significatives. En effet, les variations absolues sont environ de deux écarts standard et résultent d'une centaine d'analyses.

## POTASSIUM

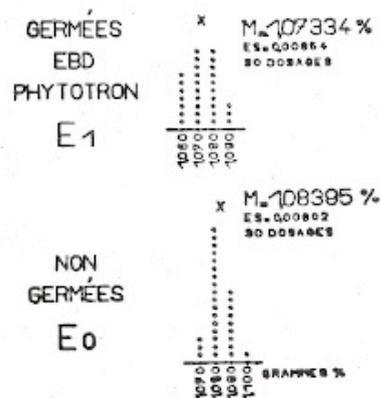
EXPIÉRIENCES		TENEURS EN G% ± ECART STANDARD (NOMBRE D'ANALYSES)	VARIATION ABSOLUE VARIATION RELATIVE
D	D <sub>0</sub>	101735 ± 0,00627 (22)	-0,1329
	D <sub>1</sub>	100406 ± 0,00493 (22)	-1,3%
E	E <sub>0</sub>	108395 ± 0,00602 (30)	-0,1061
	E <sub>1</sub>	107334 ± 0,00854 (30)	-0,98%

### VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPEES 10 LOTS  
DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### POTASSIUM

VARIATION ABSOLUE - 0,1061  
VARIATION RELATIVE - 0,98 %



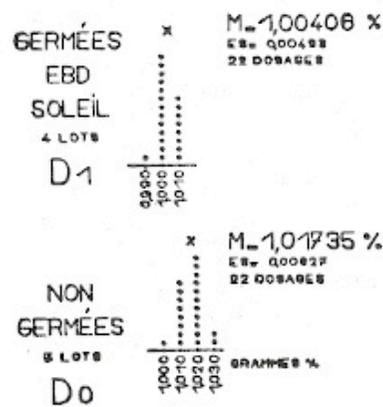
GRAPHIQUE 13

### VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPEES  
DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### POTASSIUM

VARIATION ABSOLUE - 0,1329  
VARIATION RELATIVE - 1,3 %



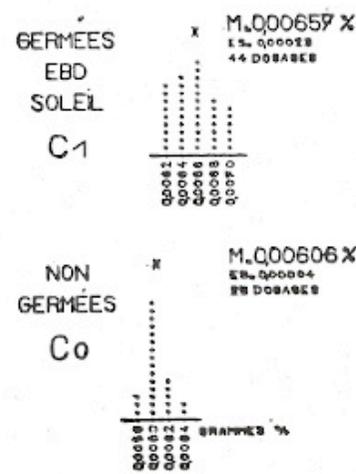
GRAPHIQUE 14

### VESCES 1967

SOLUTIONS INDIVIDUELLES  
DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### FER

VARIATION ABSOLUE + 0,00051  
VARIATION RELATIVE + 8,4 %



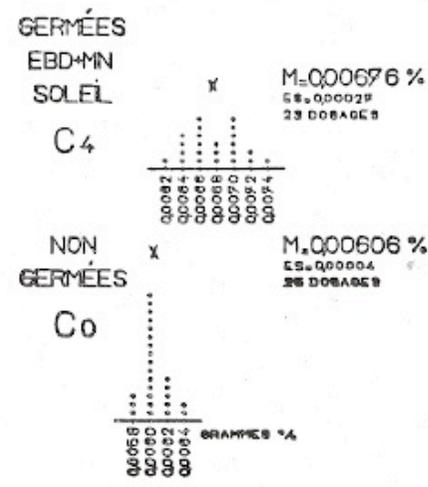
GRAPHIQUE 15

### VESCES 1967

SOLUTIONS INDIVIDUELLES  
DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### FER

VARIATION ABSOLUE + 0,00070  
VARIATION RELATIVE + 11 %



GRAPHIQUE 16

## FER

EXPERIENCES		TENEURS en S.E.CART STANDARD (NOMBRE D'ANALYSES)	VARIATION ABSOLUE VARIATION RELATIVE
C	C <sub>0</sub>	0,00606 ± 0,00004 (25)	+0,00051
	C <sub>1</sub>	0,00657 ± 0,00023 (44)	+8,4 %
C	C <sub>0</sub>	0,00606 ± 0,00004 (25)	+0,00070
	C <sub>4</sub>	0,00676 ± 0,00027 (23)	+11 %
D	D <sub>0</sub>	0,00606 ± 0,00006 (20)	+0,00039
	D <sub>1</sub>	0,00645 ± 0,00005 (20)	+6,4 %
E	E <sub>0</sub>	0,00494 ± 0,00003 (35)	+0,00038
	E <sub>1</sub>	0,00532 ± 0,00004 (35)	+7,6 %

5° Fer. Tableau 4 et graphiques 15, 16, 17 et 18.

Les résultats sont partagés entre 4 séries d'expériences. Soit en bref :

Expériences	Variations relatives de Fe
C <sub>1</sub>	+ 8,4 %
C <sub>4</sub>	+ 11 %
D <sub>1</sub>	+ 6,4 %
E <sub>1</sub>	+ 7,6 %

On note que l'addition de Mn à E.B.D. provoque une augmentation importante (11 %) de la teneur en Fe (contre 6,4 à 8,4 % pour les plantes poussées dans E.B.D. pure).

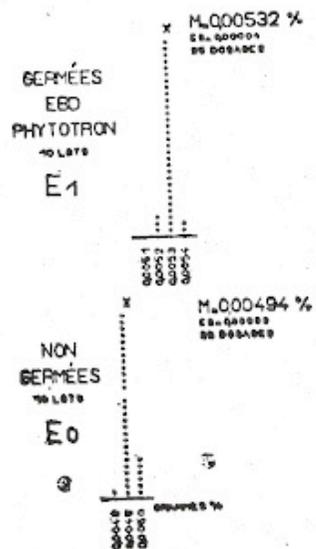
L'examen des graphiques de dispersion, d'une part, et celui des écarts standard, d'autre part, permettent d'attribuer une valeur significative à ces variations. En effet, les variations absolues sont très supérieures aux écarts standard. Rappelons que le dosage du Fe par la méthode colorimétrique, décrite supra, est très spécifique et que la présence de Mn n'interfère pas avec la réaction colorimétrique.

### VESCES 1968

DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES  
SOLUTIONS GROUPÉES

#### FER

VARIATION ABSOLUE + 0,00038  
VARIATION RELATIVE + 7,6 %



GRAPHIQUE 17

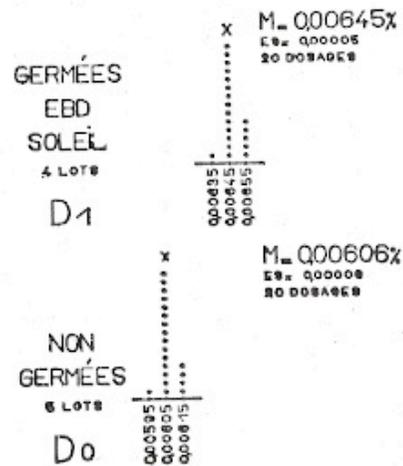
### VESCES 1968

SOLUTIONS GROUPÉES

DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### FER

VARIATION ABSOLUE + 0,00039  
VARIATION RELATIVE + 6,4 %



GRAPHIQUE 18

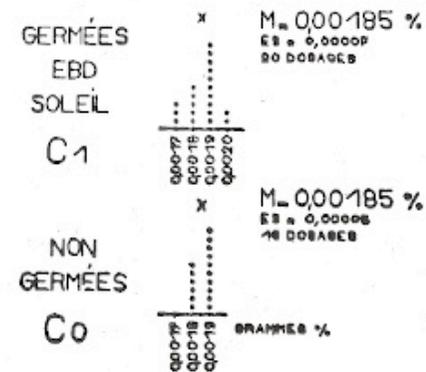
### VESCES 1967

SOLUTIONS INDIVIDUELLES

DESTRUCTIONS SULFO.NITRO.PERHYDRIQUES

#### MANGANÈSE

VARIATION ABSOLUE 0  
VARIATION RELATIVE 0



GRAPHIQUE 19

6° Manganèse: Tableau 5, graphique 19.

Il n'y a pas de variation de la teneur en Mn pendant la croissance dans E.B.D.

On a vérifié que dans les milieux contenant du Mn surajouté, la teneur du milieu en Mn reste constante pendant la croissance des plantes.

Expérience		teneurs en g % $\pm$ écart standard (nombre d'analyses)	Variation absolue Variations relatives
C 1967	C <sub>0</sub>	0,00185 $\pm$ 0,00005 16	0
	C <sub>1</sub>	0,00185 $\pm$ 0,00007 20	0

TABLEAU 5

### CONCLUSIONS GENERALES

L'ensemble des résultats qui ont été exposés suggèrent que durant la végétation des graines de *Vicia Sativa*, dans l'eau bi-distillée, contenant ou non du Mn surajouté, il y aurait une augmentation significative des teneurs en Fe et en Ca des systèmes végétaux. Il y aurait, d'autre part, diminution significative des teneurs en K et en P des mêmes systèmes.

Enfin on a constaté une augmentation significative du poids des cendres obtenues par incinération des plantules, par rapport aux cendres obtenues à partir des graines non germées.

Ces conclusions résultent de certaines d'analyses, effectuées avec toutes les précautions nécessaires sur des graines provenant de plusieurs récoltes, ceci au cours d'expériences échelonnées sur environ une dizaine d'années.

On notera que les résultats concernant le P et le K semblent confirmer et justifier l'importance des engrais à base de P et de K.

Aucune théorie n'est proposée pour expliquer les résultats en question (8).

(8) Communication personnelle. Des travaux exécutés au Japon par Hisatoki Komaki, et portant sur une trentaine de micro-organismes, auraient montré l'existence de variations du K et du P, pendant la croissance de ces micro-organismes. Selon la composition du milieu de culture, il y aurait diminution ou augmentation du K et du P.

## MOYENS, METHODES ET CONTROLES MIS EN ŒUVRE DANS LES EXPERIENCES DE P. BARANGER SUR LES METABOLISMES CHEZ LES VEGETAUX

Sous ce titre sont données des indications et des références qui précisent les conditions des expériences de P. BARANGER ou permettent de se reporter éventuellement à ses archives de laboratoire pour les répéter suivant les mêmes protocoles.

Exemple d'une liste des catégories d'analyses effectuées par le Professeur P. BARANGER pour une même série d'expériences (série de l'année 1956) :

Élément dosé	Catégories de matières analysées	
Calcium	Vicia sativa	graines non germées
	d°	— germées dans EBD additionnée de Ca Cl <sub>2</sub>
Phosphore	d°	graines non germées
	d°	— germées dans EBD 30 jours
	d°	— germées dans EBD 45 jours
Potassium	d°	graines non germées
	d°	— germées dans EBD 30 jours
	d°	— germées dans EBD 45 jours
	d°	— germées dans EBD additionnée de Ca Cl <sub>2</sub>

Soit neuf catégories comportant chacune 100 lots dosés, au total, 900 dosages pour chaque série d'expériences. Dans son mémoire terminal, P. BARANGER récapitule les résultats de ses dernières séries d'expériences

qui confirment les résultats des séries précédentes dont il a effectué plusieurs de 1950 à 1970, soit au minimum des centaines de dosages qui lui ont permis de mettre au point rigoureusement son protocole expérimental.

Parmi les documents annexes de cette brochure se trouve un tableau des résultats numériques de ces dosages effectués au cours de l'année 1956.

C'est sur des résultats numériques de chaque série de dosages qu'a été effectué le contrôle statistique par un statisticien étranger au laboratoire, M. CAVÉ. La dernière série expérimentale a porté sur les métabolismes de Ca, P, K, Fe et Mn ainsi qu'en fait état le mémoire terminal en donnant les résultats contrôlés pour chaque élément dosé.

Le contrôle statistique a permis de constater :

- que les écarts étaient significatifs et toujours de même sens dans un même dosage ;
- que leur dispersion était régulière et se traduisait par une courbe de GAUSS satisfaisante.

#### Caractéristiques recueillies sur chacune des analyses dans le dosage d'un élément.

Chacune des analyses individuelles (par unité d'échantillon étudié) ou groupées donnait lieu à 12-15 notations différentes (composition des graines avant et après traitement, poids des cendres, etc.). Voir en annexe l'exemple du tableau détaillé des résultats numériques des dosages.

Chaque série d'expériences était établie à l'origine sur 100 échantillons pour le dosage d'un seul élément (Ca, P, K, Mn, Fe, Ca). Chaque échantillon comportait 4, 5 ou 10 grammes de graines soumises à l'examen. Lorsque les moyens et les méthodes d'analyse furent parfaitement au point, le nombre des lots fut parfois réduit. Mais, à titre d'exemple, 75 lots de 4 grammes n'en comportait pas moins de 3 000 graines.

Les expériences furent effectuées sur divers végétaux (avoine, lentilles, vesces, champignons microscopiques) cultivés sur divers milieux (eau bidistillée (= EBD) ; EBD avec engrais ou sels divers de composition rigoureusement connue (Ca Cl<sub>2</sub> en particulier). Les analyses furent exécutées avec plusieurs réactifs différents et des méthodes variées. Elles donnèrent lieu à de nombreux contrôles des moyens, des méthodes et des résultats.

Les résultats de chaque expérience furent consignés dans un dossier comportant :

- les résultats numériques des dosages ;
- le contrôle statistique ;
- l'expression graphique de ces dosages (courbe de GAUSS) ;
- un mémoire relatant les conditions et les conclusions de l'expérience.

Tous les éléments du dossier n'ont pas été conservés pour chacune des séries d'expériences. Certaines d'entre elles ne sont plus connues dans les archives que par des résultats numériques, des graphiques ou un

mémoire, mais ces éléments suffisent à vérifier la continuité du travail et des résultats obtenus par P. BARANGER.

#### Matériel végétal soumis à l'expérimentation.

Les graines choisies après divers essais (*Vicia sativa*) furent nues, d'une espèce assez grosse pour qu'elles soient calibrées et triées une à une, c'est-à-dire manuellement et cependant d'une taille qui permet d'en soumettre le plus grand nombre possible à l'expérience.

Elles furent soumises à un essai de pouvoir germinatif qui, pour un lot trié, devait être supérieur à 95 %. Pour une même série de dosages ces graines provenaient d'une même origine et d'une même année de récolte, mais l'une et l'autre variées suivant l'expérience.

Avant tout dosage elles furent ensuite, ainsi que leurs cendres, les précipités et les récipients, soumises à une stabilisation hygrométrique rigoureusement indispensable.

#### Méthodes d'analyse et opérations de contrôle.

En principe, pour chaque analyse ou opération de contrôle, sont indiquées ici des références se rapportant à des documents publiés ou conservés dans les archives du laboratoire de P. BARANGER.

**Réactifs :** Les réactifs, fournis pour la plupart par la firme Rhône-Poulenc, furent soumis à de rigoureux contrôles, surtout en ce qui concerne leurs teneurs en Ca, K, Fe et Mn.

**Références :** Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle, N° 1 - 1960. — Mémoire « Variations en K et en P des graines de *Vicia sativa* en présence de calcaire », 1960-1961. — Mémoire de juillet 1965, pp. 6, 7 (in fine), 10, 11, 12, 16 et 18.

Changements de réactifs pour le dosage de K : Réf. - lettre à M. SOULIES, 15 janvier 1960, conférence de Poitiers, 7 mars 1964.

**Appareillage :** Etalonnage de tous les appareils de mesure de poids et de volume (balance et récipients).

Les appareils de mesures volumétriques sont étalonnés par pesée, en fonction de la température, et les lectures sont faites à température constante de 20° centigrades après séjour dans une enceinte thermostatique.

Réf. : Mémoire de février 1963.

**Récipients :**

- récipients en pyrex : contrôle de la rétention et de la désorption de Ca et de K pendant l'incinération ;
- cristallisoirs en polythène : dosage, après usage, des teneurs en Ca, K, Mn et Fe ;

— flacons en polythène : contrôle de la rétention en Mn après stockage de solutions individuelles avant et après usage.

Réf. : Conférence de Poitiers, mars 1964. — Mémoire de juillet 1965, pp. 9 et 10. — Mémoire sur la variation en K et en P en présence de Ca, 1960-1961.

Four électrique : réglage fait à 20 °C près.

Réf. : Mémoire sur la variation en K et en P en présence de Ca, 1960-1961.

*Minéralisation* : Par incinération au four électrique — Par mélange sulfonitrique perhydrol.

Réf. : pour le four électrique - Mémoire terminal.

Pour le mélange sulfonitrique - Mémoire de juillet 1965, pp. 1, 2 et 6.

*Stabilisation hygrométrique* : Appliquée aux appareils et aux matières analysées.

Réf. : Mémoire pour le prix Longchambon, 1958.

*Contrôle de l'atmosphère* (teneur en Ca, K, Fe et en poussières).

Réf. : Mémoire pour le prix Longchambon, 1958, p. 8. — Conférence à Poitiers, 3 mars 1964. — Mémoire de février 1963, p. 9. — Mémoire de juillet 1965, pp. 12 à 19 (in fine).

*Contrôle de l'eau bi-distillée (EBD)*.

Réf. : Mémoire d'avril 1966, dernier alinéa.

*Contrôle des variations des cendres*.

Réf. : Mémoire de février 1963, pp. 1 et 2.

*Contrôle statistique* : Effectué par un statisticien professionnel, M. CAVÉ.

*Contrôle de la dispersion des résultats* : Effectué par le tracé des courbes de GAUSS.

**Contrôle énergétique.** Impossible à réaliser théoriquement tant que l'on ignorera les réactions nucléaires auxquelles donne lieu la germination.

Dès ses premières expériences P. BARANGER avait déjà pris contact avec des physiciens en vue de faire contrôler la matière en cours d'étude. Cette opération ne peut avoir lieu que si la matière à analyser par les physiciens résulte d'une analyse chimique impeccable. Les analyses physiques doivent être appliquées aux différentes étapes de l'analyse chimique pour qu'on puisse se rendre compte du processus éventuel de transformation.

Réf. : Premier mémoire - étude manuscrite. — Conférence de Poitiers, 7 mars 1964. — Mémoire sur l'étude du métabolisme de P, K et Ca chez *Vicia sativa* (vesce de Cerdagne), 1957. Avec la collaboration de Yolande ISSALE, Michèle THOREAU, Jacqueline FINELLI, p. 3.

P. BARANGER signale que les théories de KERVRAN publiées par « Science et Vie » (décembre 1960) sont incontrôlables pour le moment.

### Contrôle des méthodes de dosage.

*Destruction et élimination de la silice* : Nécessaire dans l'incinération au four électrique.

Réf. : Mémoire sur l'étude du métabolisme de P et K chez vesce de Cerdagne, 1957.

*Dosage du Potassium* : Pour le dosage de K, P. BARANGER a employé trois méthodes :

— méthode au perchlorate de K,

— méthode au tétraphényl-borate de Na (TPBN) (2),

— méthode colorimétrique au spectrophotomètre de Lange (3).

Réf. : (1) Mémoire de février 1963, p. 5. — (2) Mémoire de juillet 1965, pp. 7 et 8, et Mémoire terminal. — (3) Mémoire inédit 1960, p. 24.

La minéralisation par attaque sulfonitrique des plantules donne  $SO_4Ca$  qui résiste à l'alcool de lavage. Pesé avec le perchlorate de K, il compte comme composé du K et fausse ainsi le résultat de l'expérience. Mais le traitement par le tétraphényl-borate de Na (TPBN) et le dosage par le spectrophotomètre de Lange évitent cette interférence. **Dès le 27 avril 1959**, M. P. RAY, polytechnicien, directeur de la Régie des Tabacs du Maroc, suggérait à P. BARANGER le dosage du K par le TPBN. Le 6 mai, dans sa réponse, P. BARANGER lui signale la nécessité de bien éprouver la fidélité de la méthode avant de l'adopter.

Il l'utilise dès la fin de 1959 et en donne les raisons dans sa lettre du 15 janvier 1960 à M. SOULIES, en réponse à la lettre de ce dernier du 13 janvier 1960.

Dans ses **mémoires de février 1963** et de **juillet 1965**, il signale l'emploi qu'il fait de la méthode au TPBN et, dans le premier, en plus, celui du spectrophotomètre à flamme. Il donne à ce sujet les explications les plus détaillées.

Dans son mémoire terminal il indique qu'il emploie le photomètre à flamme mais avec un processus particulier pour éviter certaines erreurs (voir pp. 33 et 34).

# INTERPRETATION STATISTIQUE

## EXPERIENCE DE 1956 SUR LES VESCES DE CERDAGNE (variations de P et K)

### 1) Analyses du phosphore.

Nous avons trois séries d'analyses du phosphore. La meilleure méthode statistique pour interpréter ces résultats consiste à émettre l'hypothèse que les trois séries sont prélevées dans une même population normale et à appliquer la théorie de l'analyse de la variance. On trouve que cette hypothèse ne peut être retenue ; étant donné la complexité relative de cette analyse, nous donnerons seulement la suite de cette étude qui consiste à comparer deux à deux les trois séries obtenues, ce qui est d'ailleurs logique du point de vue expérimental.

Appelons :

X l'analyse du phosphore pour les vesces non germées ;  
Y " " " " germées dans E D B ;  
Z " " " " " " Cl<sub>2</sub>Ca.

Si  $x'_i$  est un résultat direct de l'analyse, nous effectuerons les calculs sur la variable :

$$x_i = (x'_i - 0,455) \cdot \frac{1\,000}{2}$$

en ramenant l'origine à 0,455 et en multipliant par le coefficient  $\frac{1\,000}{2}$ , transformation qui n'a d'autre but que d'obtenir pour la variable  $x$  des valeurs entières de  $-3$  à  $+6$ , ce qui facilite les calculs.

On transformera de façon identique les résultats  $y'$  en  $y$ ,  $z'$  en  $z$ .

Le tableau 1 donnera les valeurs de la moyenne, de l'écart-type et de la somme des carrés des écarts à la moyenne pour ces trois séries dont les définitions sont pour la variable  $x$  :

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i x_i}{n}$$
$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum n_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$
$$\sum n_i (x_i - \bar{x})^2$$

et des définitions analogues pour  $Y$  et  $Z$ .

On peut voir que les écarts-types ont le même ordre de grandeur, ce que le test statistique des comparaisons de dispersions confirme.

Si nous comparons la série en X (non germées) à la série en Y (germées dans EDB), on peut utiliser le test de Student de comparaison de deux séries, c'est-à-dire :

- émettre l'hypothèse que les deux séries de  $n_1 = 100$  et  $n_2 = 100$  essais sont prélevées dans une même population normale ;
- calculer, d'après les résultats, une quantité expérimentale sans dimensions :

$$t(\text{expér.}) = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}$$

$$\text{avec } s^2 = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} \left[ \sum n_1 (x_i - \bar{x})^2 + \sum n_2 (y_j - \bar{y})^2 \right]$$

Si on effectuait plusieurs fois les mêmes expériences dans les mêmes conditions (en particulier mêmes effectifs), on obtiendrait des valeurs différentes pour cette quantité qui est une variable aléatoire. On démontre que cette variable aléatoire suit, dans les conditions précédentes, une loi dite de Student, dépendant d'un paramètre  $\gamma = n_1 + n_2 - 2$  appelé degrés de liberté. Cette loi a été tabulée.

— Chercher dans une table de Student une valeur  $t_{\alpha, \gamma}$  telle que la variable aléatoire précédente ait la probabilité  $\alpha$  assez faible ( $\alpha = 0,05$  ou  $0,01$ ) de la dépasser (voir fig. 1) en valeur absolue :

$$\text{Prob} \left\{ |t| > t_{\alpha, \gamma} \right\} = \alpha$$

avec  $\gamma = n_1 + n_2 - 2$

— Comparer  $t(\text{expér.})$  à  $t_{\alpha, \gamma}$ .

Si  $|t| > t_{\alpha, \gamma}$  on dira que le test est significatif et on refusera l'hypothèse, car on a très peu de chance de trouver une telle valeur si cette hypothèse est vraie (on court donc le risque  $\alpha$ , faibles, de repousser cette hypothèse si elle est vraie).

Appliquons ce principe aux deux variables X et Y, on trouve :

$$t(\text{expér.}) = \frac{(0,79 - 0,53) \sqrt{198 \times 50}}{\sqrt{265,6 + 186,9}} = 1,2$$

Avec un risque  $\alpha = 0,01$  et  $\gamma = 198$ , on trouve dans la table de Student :

$$t_{\alpha, \gamma} = 2,60$$

On n'a donc aucune raison de repousser l'hypothèse dans les conditions de l'expérience puisque  $1,2 < 2,6$ , et on peut conclure que la teneur moyenne en phosphore n'a pas varié pour les vesces germées dans l'eau distillée.

Appliquons de même ce principe aux deux variables Y (germées dans EDB) et Z (germées avec  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ), on trouve :

$$t(\text{expér.}) = \frac{0,53 - (-0,40)}{\sqrt{186,9 + 189,8}} \sqrt{197 \cdot \frac{100 \times 99}{199}} = 4,75$$

Comme  $4,75 > 2,60$  le résultat est significatif, les moyennes diffèrent.

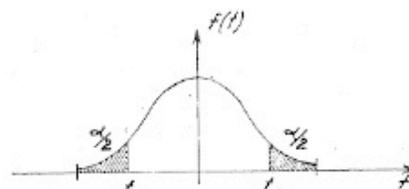


Fig. 1  
Loi de Student

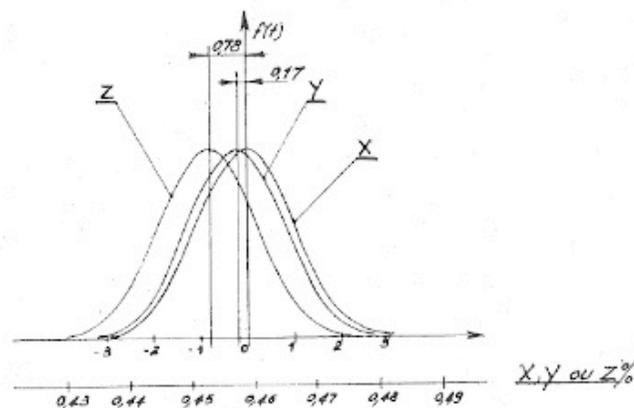


Fig. 2

Estimation des populations en X, Y, Z (Phosphore)

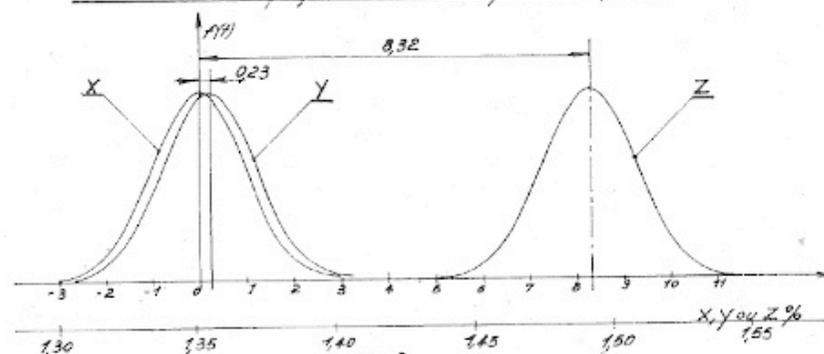


Fig. 3

Estimation des populations en X, Y, Z (Potassium)

Il en sera de même en ce qui concerne les variables X et Z :

$$t \text{ (expér.)} = \frac{0,79 - (-0,40)}{\sqrt{1\,265,6 + 189,8}} \sqrt{197 \frac{100 \times 99}{199}} = 5,55$$

La probabilité d'obtenir un tel résultat, s'il n'y a pas de variation de moyenne, donc par le fait du hasard, est très faible et on pourrait montrer qu'elle est de l'ordre de une chance sur dix millions.

En fait, si on évolue en écarts-types  $\sigma$  la variation  $\Delta m$  de la moyenne décelée entre X et Z, on a :

$$\frac{\Delta m}{\sigma} \sim \frac{1,19}{\sqrt{\frac{265,6 + 189,8}{197}}} = 0,78$$

On a donc décelé une variation de 0,78 écarts-types, correspondant à une variation de 1,19 unité x, c'est-à-dire en % de phosphore (unité x') :

$$\frac{2}{1\,000} \cdot 1,19 \% = 0,00238 \%$$

ce qui est faible.

## 2) Analyse du potassium.

En utilisant les notations et théories précédentes, on voit qu'il est inutile d'effectuer des calculs statistiques pour comparer la teneur en potassium des vesces germées avec  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  et non germées : il y a eu assurément apparition de potassium.

Le tableau I donne les calculs des moyennes, écart-type, somme de carrés des écarts pour les trois séries en X (non germées), Y (germées avec EDB), Z (germées avec  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ).

Si  $x'_i$  est un résultat direct de l'analyse, nous avons effectué les calculs sur la variable  $x_i = (x'_i - 1,35) \cdot 100$  pour faciliter les calculs comme précédemment ( $x_i$  ne compte que des nombres entiers). La même transformation a été effectuée pour obtenir  $y_i$  et  $z_i$ .

On constate que la dispersion est équivalente pour les trois séries.

La comparaison des variables X (non germées) et Y (germées dans EDB) donne une quantité expérimentale :

$$t \text{ (expér.)} = \frac{0,1515 - (-0,24)}{\sqrt{234,24 + 334,75}} \sqrt{197 \frac{100 \times 99}{199}} = 1,595$$

La différence entre les moyennes des deux séries n'est pas significative puisque l'on a une chance sur cent ( $\alpha = 0,01$ ) de dépasser la valeur 2,60. La différence des moyennes obtenues est due au hasard, elle vaut 0,3919, c'est-à-dire, en l'exprimant en écarts-types :

$$\frac{0,39}{\sqrt{\frac{234,19 + 334,75}{197}}} = 0,23$$

ce qui est très faible.

Par contre, entre X (non germées) et Z (germées avec  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ) il y a une différence importante égale à 13,39, c'est-à-dire, en l'exprimant en écarts-types :

$$\frac{13,39}{\sqrt{\frac{234,24 + 284,91}{197}}} = 8,32$$

D'après les résultats obtenus, il y a eu effectivement apparition de potassium au cours de la germination.

Les figures 2 et 3 montrent les variations de moyenne correspondant aux variations des compositions chimiques.

TABLEAU I

	Variables	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Somme des carrés des écarts
P	non germées X	100	+ 0,79	1,64	265,59
	germées EDB Y	100	+ 0,53	1,38	186,91
	germées $\text{Cl}_2\text{Ca}$ Z	99	- 0,40	1,38	189,84
K	non germées X	100	- 0,24	1,54	234,24
	germées EDB Y	99	+ 0,15	1,84	334,75
	germées $\text{Cl}_2\text{Ca}$ Z	99	+ 13,15	1,59	284,91

## CONCLUSION.

L'étude statistique a permis :

1° de mettre en évidence une diminution faible certes, mais significative, de phosphore.

2° de confirmer l'apparition de potassium en quantité considérable (1).

PARIS, le 16 janvier 1957.

Signé : B. CAVÉ.

(1) C'est nous qui soulignons.

### CHAPITRE III

## PIERRE BARANGER ET LES ACADEMIES

Nous faisons état ici des vaines tentatives de présentation de mémoires des travaux de Pierre BARANGER à l'Académie des Sciences et à l'Académie d'Agriculture de France, parce que le refus de ces Compagnies de les accepter ont permis, paradoxalement, de mettre en évidence la valeur scientifique des expériences de leur auteur par la publication intégrale de son rapport terminal.

### A L'ACADEMIE DES SCIENCES

En mai 1958, P. BARANGER tenta de faire présenter par l'Académie des Sciences un mémoire intitulé « Contribution à l'étude du métabolisme du phosphore, du potassium et du calcium chez les vesces de Cerdagne ».

Ce mémoire se résume en une lettre adressée le 28 mai 1958 à un correspondant, membre de l'Institut, dont nous extrayons ci-après l'essentiel :

« Il résulte de (ces) travaux qui ont porté sur plus de 500 analyses, que lorsque les graines de vesce sont mises à germer et à croître dans l'eau bi-distillée additionnée d'un sel de calcium chimique pur, on voit apparaître dans les plantes une quantité importante de potassium, bien que cet élément n'ait pas été introduit dans le milieu nutritif ni dans le milieu ambiant. »

« L'augmentation est considérable et atteint en un mois 10 % de la teneur initiale des graines en potassium. Si les résultats obtenus par le professeur BARANGER, en s'entourant de toutes les garanties possibles, sont

vérifiés, cela conduirait à admettre que les plantes sont capables d'opérer la transmutation des éléments, par une sorte de chimie sub-atomique ou de biochimie nucléaire dont nous n'avons pas encore le secret. »

Le mémoire présenté ayant paru trop long, l'auteur le remplaça par un nouveau texte le 27 octobre 1958.

Malgré l'accueil favorable de quelques membres de l'Académie, la communication du mémoire est refusée sur l'avis d'un spécialiste, membre de cette institution, à qui le mémoire abrégé avait été soumis pour avis. D'après les archives du laboratoire de P. BARANGER, les arguments du refus, communiqués à ce dernier, sont ainsi présentés :

« 1° Le résumé, très anodin, signale seulement des variations anormales des teneurs en potassium et en calcium dans les systèmes de vesces de Cerdagne mises en germination.

2° A l'alinéa suivant, il est question de vérifier ou d'infirmer la possibilité pour les plantes de synthétiser, par un mécanisme inconnu, des éléments qui n'existent pas dans le milieu extérieur.

3° L'auteur entreprend alors une série d'analyses extrêmement nombreuses et, on veut le croire, exécutées avec soin. Mais la façon dont il rend compte est surprenante. La vérification de la « synthèse » d'un élément dans un système devrait comporter la pesée initiale du premier et la pesée finale. Or, on ne parle que du % avant et après la germination des graines.

4° Les chiffres sont assez divergents : pour un même élément et une même série d'expériences, la divergence relative atteint 7 à 10 %. L'analyse statistique en marque le désaccord, mais celui-ci serait intolérable pour un chimiste minéral ou un physico-chimiste, qui incriminerait aussitôt le mode d'analyse, le mode opératoire ou le procédé d'échantillonnage. Un spécialiste de la pesée atomique ne tiendrait même pas compte de ces résultats. D'autre part, les valeurs qui peuvent, par leur comparaison, servir de base à la production d'une synthèse d'éléments par les végétaux, sont, après réduction statistique, presque identiques pour le phosphore, divergent de moins de 3 % dans le cas du calcium. Une seule valeur, exceptionnelle dans le cas du potassium (en présence de calcium), pourrait être prise en considération, mais seulement par la suite (1).

Il eût fallu s'acharner, sans doute sans espoir, à la retrouver dans d'autres séries de dosages, pour avoir le droit d'en partir pour bouleverser toutes les idées actuelles sur les transmutations provoquées et provoquées ici sans autre intervention d'autre « catalyseur » que le métabolisme vital » (2).

Pierre BARANGER répond à ces arguments par une lettre du 6 janvier 1959 à un chimiste de ses collègues qui s'était intéressé à la communication de l'Académie des Sciences. Voici la photocopie du texte de cette lettre :

(1) Ce que P. Baranger a fait des centaines de fois depuis 1950.

(2) Comme la note critique reproduite partiellement est demeurée strictement anonyme, on comprendra que nous ne citons pas les noms des correspondants de P. Baranger.

## ECOLE POLYTECHNIQUE

LABORATOIRE DE CHIMIE ORGANIQUE

PROFESSEUR PIERRE BARANGER

PARIS — 17, Rue Descartes  
Odéon 32-63 - 58-96

6 Janvier 1959

Monsieur et Cher Collègue,

Monsieur (...) a bien voulu me communiquer les observations relatives au mémoire intitulé: "... Contribution à l'étude du métabolisme du phosphore, du potassium et calcium chez les vesces de Cerdagne."

Le caractère succinct de l'exposé destiné aux Comptes Rendus de l'Académie, ne m'a pas permis de donner beaucoup de détails sur les résultats expérimentaux, mais ces résultats sont à la disposition de l'examinateur. Il y trouvera réponses à toutes ses objections.

J'attire notamment son attention sur les points suivants:

a - Le mémoire à l'Académie ne fait état que des pourcentages de P de K et de Ca, car ce sont les seules valeurs qui puissent être comparées. Le mémoire d'ensemble donne les valeurs absolues des pesées ainsi que tous les renseignements numériques.

b - A ma connaissance il est impossible, comme semble le souhaiter l'examinateur, de doser un élément dans une graine et de le doser dans la même graine après germination, puis de comparer les poids du dit élément avant et après. La seule méthode à notre disposition est donc la méthode statistique, portant sur un grand nombre de lots de graines non germées, puis sur un grand nombre de lots de graines germées.

c - Dans cette perspective, les divergences relatives de 7 à 10 % mentionnées par l'examinateur, pour le dosage d'un élément donné, sont inévitables, puisqu'on s'adresse à des échantillons prélevés sur un matériel végétal légèrement hétérogène. Ces divergences ne sont pas relatives au même dosage, sur une même solution, ce qui comme le signale l'examinateur serait "intolérable pour un chimiste minéral ou un physico-chimiste". Nous avons d'ailleurs vérifié que les méthodes analytiques employées donnent une précision ~~inférieure~~ supérieure à 1%.

En fait ces divergences autour d'une valeur moyenne, loin d'infirmer la conclusion seront au contraire très utiles au statisticien pour vérifier que

... la dispersion des résultats n'est bien due qu'au seul hasard, donc pour confirmer la correction des opérations d'échantillonnage et d'analyse.

L'étude statistique a été faite par un spécialiste R. Cavé et je ne vois pas en quoi les objections de l'examinateur infirment les conclusions de cette étude statistique.

J'ajoute que les résultats proposés, font suite et confirment plusieurs séries de résultats obtenus dans des expériences antérieures.

Je vous prie, Monsieur et Cher Collègue, d'agréer l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

P. Baranger

De la comparaison des deux textes ci-dessus on retire l'impression que si le mémoire de P. BARANGER avait pu être examiné intégralement au lieu d'un simple et trop succinct abrégé, il aurait pu retenir l'attention de l'Académie des Sciences.

Grâce à l'obligeante compréhension de M. le Professeur Jean GULHON dont nous avons déjà dit l'active et généreuse intervention, une seconde tentative eut lieu en 1972, sans plus de succès, mais sans qu'un motif fût donné pour justifier le refus de présenter le mémoire terminal à l'une des séances de cette Haute Compagnie.

Nous rappelons ici que dès 1971 les documents concernant ces travaux, et notamment le mémoire terminal, ont été déposés sous enveloppe scellée au Secrétariat de l'Académie des Sciences.

#### A L'ACADEMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE

La présentation de ses travaux à l'Académie d'Agriculture de France fut suggérée à plusieurs reprises à P. BARANGER par des personnes qui en connaissaient les résultats. Mais des interprétations indirectes et hasardeuses de ces travaux et des notes mal fondées scientifiquement qui semblaient s'en inspirer furent présentées à l'Académie et indisposèrent visiblement cette Compagnie scientifique. Ils furent ainsi la cause d'une temporisation dans la diffusion des susdits résultats.

Nous fûmes cependant incités à donner une suite à la suggestion faite à P. BARANGER lorsque, au cours de deux séances de cette Académie, il fut question de ses travaux ; d'abord en 1963, par une simple allusion, puis en 1972, en citant son nom et en lui attribuant faussement une affirmation scientifique importante qui dénaturait radicalement l'interprétation qu'il donnait lui-même des résultats de ses recherches. La publication de la présente brochure est principalement motivée par les insoutenables et trompeuses affirmations qui ont mis en cause la valeur scientifique des travaux de P. BARANGER, en séance publique de l'Académie d'Agriculture et publiées dans le bulletin de cette Compagnie.

A l'effet de donner à notre réfutation son sens et sa portée, nous devons faire ici un bref historique de cette mise en cause qui commence par certaines relations de P. BARANGER avec le laboratoire agronomique de l'Office national interprofessionnel de l'Azote (ONIA), puis avec le laboratoire agronomique commun de l'ONIA et de la Société commerciale des Potasses d'Alsace (SCPA).

#### I. — Critiques formulées par la SCPA à l'encontre des travaux de P. BARANGER.

1<sup>o</sup> A une date que nous ne saurions préciser, au début des années 1960, P. BARANGER nous déclara, dans son laboratoire, qu'un chimiste de la SCPA lui avait signalé une source d'erreur dans ses analyses, due à des interférences de certains sels avec des sels de potassium. P. BARANGER ne sembla pas attacher grande importance à cette indication car il s'agissait sans doute de la substitution de la méthode de dosage du K au tétraphénylborate de Na (TPBN) à la méthode par le perchlorate de K que BARANGER utilisait dès cette époque. La méthode au TPBN, comme nous l'avons indiqué plus haut, avait déjà été évoquée en effet dans une correspondance datant des 27 avril - 6 mai 1959 (selon les archives de P. BARANGER) avec M. RAY, directeur de la Régie des Tabacs du Maroc.

2<sup>o</sup> Dans la séance de l'Académie d'Agriculture du 27 février 1963, un mémoire était présenté par M. PARIS, professeur à la Faculté de Pharmacie de Paris, sur « l'acclimatation et l'amélioration de quelques plantes médicinales ». Il y était question d'observations faites sur la variation de la teneur en principes actifs de certaines plantes médicinales, c'est-à-dire de problèmes de physiologie végétale ressortissant à la chimie organique, donc à des réactions moléculaires.

Or, M. AUDIDIER, membre de l'Académie et directeur de la Société commerciale des Potasses d'Alsace (SCPA), intervint dans la discussion en disant (voir le n<sup>o</sup> 5 - 1963 du Bulletin de l'Académie d'Agriculture) :

« J'ai été amené à vérifier une de ces théories qui aboutissait à la transmutation (3) du calcium en un autre élément, le potassium. Après un examen

(3) Au cours de la végétation.

très sérieux du problème avec mes collaborateurs (4) nous avons constaté que cette prétendue transmutation du calcium en potassium était simplement due à une simple erreur d'analyse. »

M. AUDIDIER parlait ici d'une façon subite et surprenante d'un problème de **physique nucléaire** et de **théorie**, alors que, dans la communication de M. PARIS, il n'avait été question que de chimie. On peut se demander quel but se proposait son intervention. Signalons qu'il ne donnait aucune indication sur l'auteur de la « théorie » qu'il énonçait ni sur le prétendu « examen très sérieux du problème ». Comme nous le verrons plus loin, ce qui se passa dans la suite à l'Académie d'Agriculture semble éclairer la question sous son aspect polémique, mais non sur son aspect scientifique.

## II. — Critiques formulées par l'ONIA.

Le 13 janvier 1960, M. SOUBIES, chef du Service de la Recherche agronomique de l'ONIA, écrit à P. BARANGER en lui adressant un mémoire sur une expérience relative au métabolisme du K chez la Vesce de Cerdagne. M. SOUBIES conclut dans ce mémoire :

« Quelle que soit la méthode employée, il n'apparaît pas de différence significative entre les teneurs en potassium de ces graines non germées ou germées avec ou sans chlorure de calcium. »

« Les résultats obtenus par M. BARANGER restent donc inexplicables à nos yeux : notre expérience ne les confirme nullement. »

M. SOUBIES demande ensuite à P. BARANGER des renseignements sur « les détails de manipulation » des expériences de ce dernier. Il écrit aussi : « Notre intention est de **recommencer en observant scrupuleusement toutes les précautions que vous avez prises, la même expérience** » (5).

P. BARANGER répond immédiatement (le 15 janvier 1960) en envoyant les renseignements demandés, il écrit : « Nous poursuivons actuellement une nouvelle série de dosages du potassium par une méthode différente de celle déjà employée. Il est en effet apparu que, dans la méthode indiquée par BRUNEL, l'élimination de SO<sub>4</sub> est incertaine, de là des interférences et causes d'erreurs possibles. » P. BARANGER ne reçut plus jamais de nouvelles de M. SOUBIES et ne sut jamais si ce dernier avait recommencé son expérience ainsi qu'il l'avait annoncé. En fait, cette expérience eut lieu en 1963, mais les résultats n'en furent publiés que 10 ans après, comme on le verra plus loin, dans le compte rendu de la séance de l'Académie d'Agriculture de France du 19 janvier 1972.

(4) Dde la SCPA.

(5) C'est nous qui soulignons.

## III. — Critiques formulées par le laboratoire agronomique commun de l'ONIA et de la SCPA.

Au cours de cette séance, M. HENIN présente dans les termes ci-après une note de MM. SOUBIES et GADET, du Service agronomique-France de la Société commerciale des potasses d'Alsace et de l'ONIA, Laboratoire de Toulouse, sur le « bilan des éléments minéraux au cours de la germination » :

« Plusieurs notes ont été présentées à notre Académie concernant le bilan des éléments minéraux au cours de la germination. Dans la discussion, certains confrères ont émis le désir que des laboratoires officiels puissent procéder à des vérifications et ont exprimé le regret qu'ils ne l'aient pas fait. »

« Or il se trouve que des vérifications ont été effectuées, mais elles n'avaient pas été publiées pour des considérations personnelles. »

« Deux auteurs, MM. SOUBIES et GADET, pour ne pas laisser penser que cet aspect avait laissé certains services indifférents, m'ont demandé de présenter une note sur cette question, bien qu'elle fasse état de résultats déjà anciens. »

En fait cette note relatait des travaux datant de 1961. Elle rendait compte de la répétition de la première expérience de MM. SOUBIES et GADET, annoncée à P. BARANGER dans leur lettre, rappelée plus haut, du 13 janvier 1960. Il semble que la simple courtoisie ou le souci de rapports scientifiques corrects eût dû conduire les auteurs à en informer P. BARANGER, et ce d'autant plus que celui-ci est mis en cause dans la note présentée par M. HENIN par une **contre-vérité, rendue publique après la mort de P. BARANGER**, survenue le 29 avril 1970, et **réfutant les résultats obtenus par lui dans ses recherches sur les métabolismes chez les végétaux** (6). Dans cette note en effet on lit :

« L'affirmation que les êtres vivants, animaux et végétaux, peuvent réaliser la transmutation atomique des éléments a été présentée à plusieurs reprises au cours de ces dernières années. »

« En 1960, une telle affirmation avait été avancée par M. BARANGER, professeur à l'École polytechnique (6). Celui-ci, sur la foi d'une expérience conduite par lui-même sur les vesces de Cerdagne, croyait pouvoir conclure qu'après germination et un premier développement de trois semaines on retrouvait plus de potassium qu'à l'origine quand cette germination s'était effectuée en présence de calcium. **Le calcium aurait servi à l'édification du potassium par une transmutation biologique** (6). Après avoir pris contact avec M. BARANGER nous avons entrepris, **en avril et mai 1963** (6), de vérifier expérimentalement le bilan du calcium dans les graines de vesces soumises à la germination. »

« En conclusion, les auteurs écrivent qu'une expérience conduite avec 100 répétitions et de « grandes précautions » a abouti finalement « à une

(6) C'est nous qui soulignons.

très bonne précision », mais elle n'a pas permis de vérifier l'hypothèse d'une possible transmutation du calcium en potassium dans les graines de vesce en germination ou dans les jeunes plantules au bout de 38 jours. »

L'erreur majeure de MM. SOUBIES et GADET, qui rappelle l'intervention de M. AUDIDIER au cours de la séance de l'Académie d'Agriculture du 27 février 1963, signalée plus haut, est d'avoir prétendu faussement que P. BARANGER affirmait avoir constaté par des analyses chimiques une transmutation d'éléments, c'est-à-dire un phénomène ressortissant à la physique nucléaire. Et non seulement nos auteurs ont attribué à P. BARANGER, polytechnicien, docteur ès sciences physiques et professeur de chimie pendant trente ans à l'École polytechnique, une erreur que ne commettrait pas un bachelier, mais ils ont opposé à ses expériences, méticuleusement poursuivies pendant une vingtaine d'années, des analyses chimiques dont ils ne révèlent pas les détails avec la précision nécessaire et auxquelles ils prêtent — en poursuivant leur erreur initiale — le pouvoir de vérifier une hypothèse relevant de la physique nucléaire.

On sera très certainement surpris de ces stupéfiantes erreurs.

#### IV. — Présentation du Mémoire terminal de P. BARANGER.

En 1976 le Mémoire terminal de P. BARANGER n'en fut pas moins proposé à l'Académie d'Agriculture de France par M. le professeur GUILHON (7) qui avait eu l'occasion de prendre contact avec P. BARANGER pendant la période de ses recherches et dont il acceptait les conclusions sous les réserves indiquées à la fin de cette brochure. Le Mémoire terminal fut soumis par l'Académie d'Agriculture de France à sa Commission académique. Celle-ci décida qu'il ne serait présenté à l'ensemble des membres qu'en séance secrète. Celle-ci eut lieu le 10 mars 1976, sous la présidence de M. AUDIDIER. La proposition de communication du Mémoire terminal en séance publique fut rejetée sans indication des motifs du rejet.

\*  
\* \*

On ne peut manquer de remarquer que les contestations élevées contre les travaux de P. BARANGER sont dépourvues de toute base scientifique. Elles reposent sur des affirmations purement théoriques ou contraires à la vérité, d'après des expériences manquant de rigueur et sur des erreurs majeures quant à l'interprétation des résultats expérimentaux par exemple, l'analyse chimique ne pouvant rendre compte directement d'une réaction nucléaire. Nous ne nous attarderons pas à relever les insuffisances et les imprécisions de la note de MM. SOUBIES et GADET. Les annotations de la main de P. BARANGER sur le mémoire que ceux-ci lui avaient adressé en

(7) Voir page 10.

1960 et conservé dans ses archives prouvent que, pour le moins, il ne le considérait pas comme un document digne d'attention, même du simple point de vue de l'analyse chimique.

On peut se demander au surplus si le laboratoire d'agronomie de la SCPA et de l'ONIA, sociétés vendeuses d'engrais minéraux, pouvait paraître plus « officiel » que le laboratoire de chimie organique de l'École polytechnique.

Pour conclure ce long exposé que nous souhaitons suffisamment démonstratif, nous ne pouvons mieux faire que de citer l'intervention de M. AUBERT, membre et ancien président de l'Académie d'Agriculture, au cours de cette même séance du 19 janvier 1972, tout en faisant quelques réserves sur les appréciations laudatives qu'il porte sur la note de MM. SOUBIES et GADET :

« M. AUBERT. — Je crois que nous devons féliciter très vivement les auteurs (8) de cette expérimentation pour le très grand soin qu'ils ont pris sur le plan du protocole et des répétitions, sur celui des analyses, pour éviter que l'on puisse critiquer quoi que ce soit à leur façon de faire. Je crois qu'elle est aussi parfaite que l'on peut l'imaginer. »

« Cela ne veut pas dire que le phénomène étudié n'existe pas. Nous dirons simplement que dans le cas précis étudié avec ce soin extrême, où il aurait pu jouer, il n'a pas existé. C'est déjà un point fort important » (9).

Sage conclusion. P. Baranger signale lui-même (voir Conclusion du Mémoire terminal) une diminution de la teneur en K et en P dans certaines de ses expériences, alors que dans d'autres il a constaté une augmentation.

(8) MM. SOUBIES et GADET.

(9) C'est nous qui soulignons.

## OBSERVATIONS SUR LES CRITIQUES DES TRAVAUX DE PIERRE BARANGER RELATIFS AUX METABOLISMES CHEZ LES VEGETAUX

Dans leur ensemble, y compris celles qui ont été formulées par les académies, comme nous venons de le voir, les critiques formulées à l'endroit des travaux de Pierre BARANGER sur les métabolismes ne résultent pas d'une répétition rigoureusement identique de ses expériences. Elles demeurent sans fondement expérimental sérieux et suivi et elles sont entachées de grossières erreurs d'interprétation. Nous les résumerons cependant ci-après.

Leur réfutation a pour avantage de soustraire ces travaux aux interprétations hasardeuses d'une pseudo-science aussi bien qu'aux refus systématiques des « idées reçues » d'une science qui considère son acquis comme définitif. Elle permet de clarifier les données de l'un des problèmes — et non des moindres — qui limitent notre connaissance de la matière vivante et de la solution duquel dépend, cependant, l'avenir de l'humanité.

1. — Les résultats de P. BARANGER seraient en contradiction avec la loi de conservation de la matière.

Rappelons qu'avant d'entreprendre ses expériences il a posé les conditions fondamentales de leur validité (voir page 22 : Bref historique des travaux de P. BARANGER sur les métabolismes).

La réponse à la critique est que la matière se manifeste à nous sous la double apparence de la **masse** et de l'**énergie**. Les expériences, constituées d'analyses chimiques, lui ont permis de constater seulement **des différences de masses** corroborées par des dosages photométriques de certains éléments simples en combinaisons moléculaires, différences que les expérimentateurs avaient jusqu'alors négligées, soit parce qu'ils ne s'en

préoccupaient pas, soit parce que leurs méthodes expérimentales n'étaient pas assez fines, ou trop sommaires pour les constater. Le contrôle énergétique des résultats des analyses de P. BARANGER est du ressort de la physique nucléaire.

L'erreur majeure commise par certains censeurs est, comme nous l'avons dit (voir pp. 65-69), d'avoir confondu le champ des réactions chimiques, donc moléculaires, avec celui des réactions de la physique nucléaire. Leur irréflexion ou leur ignorance les a conduits à attribuer faussement la même confusion à P. BARANGER, ce qui, de simple évidence, devait être exclu.

**2. — P. BARANGER n'a pas établi le bilan de chacune de ses analyses, c'est-à-dire qu'il n'a pas comparé la composition de la même matière (graines) analysée avant et après traitement (germination).**

Il est de toute évidence que, s'agissant d'une matière vivante, un tel bilan est impossible puisque les graines minéralisées en vue d'une analyse initiale seraient détruites en tant que matière vivante et ne pourraient plus être mises en germination.

Toutes les fois qu'une expérience se présente dans de telles conditions qui ne permettent pas une appréhension directe des phénomènes, on doit avoir recours à la statistique. Ce qu'a fait Pierre BARANGER. Il n'ignorait pas que ce seul procédé auquel il pouvait avoir recours permet de révéler et de mesurer certains phénomènes mais qu'il ne les explique pas.

**3. — L'une des méthodes du dosage du potassium est infidèle en raison de certaines interférences qui se produisent avec d'autres éléments au cours des précipitations provoquées dans le processus d'analyse.**

Dès ses premières expériences, P. BARANGER s'est préoccupé de ce problème, comme le prouve sa correspondance, aussi, au cours de ses travaux, a-t-il employé contradictoirement, avec des précautions rigoureuses, en les contrôlant l'un par l'autre, trois méthodes connues de dosage du potassium.

\*\*

*Il convient de rappeler ici qu'après son admission à la retraite, P. BARANGER conserva jusqu'à sa mort la libre disposition de son laboratoire à l'École polytechnique pour y poursuivre ses recherches sur les métabolismes chez les végétaux (voir p. 15).*

## CONCLUSION GENERALE

d'après Pierre BARANGER

*N.B. — Tous les passages en italique ont été soulignés par nous.*

Les objections faites par l'Académie des Sciences et par l'Académie d'Agriculture de France aux résultats obtenus par Pierre BARANGER ne peuvent être retenues. Non seulement elles n'ont aucun fondement scientifique, mais elles heurtent des évidences et constituent parfois des contre-vérités.

P. BARANGER a toujours précisé qu'il n'avait aucune explication théorique à donner des résultats de ses expériences et il a constamment souhaité que celles-ci soient reprises par d'autres chercheurs.

Dès 1957, à une assemblée générale de l'Association française pour l'alimentation normale (AFRAN), puis le 2 décembre 1958, dans une « conférence polytechnicienne », et enfin le 27 janvier 1959, à l'Institut national genevois, il annonçait les premiers résultats de ses expériences. Ces résultats, exprimés par des courbes de Gauss publiées à la suite de la conférence polytechnicienne, ont été confirmés par la suite des expériences et P. BARANGER a pu maintenir ses premières conclusions. Les textes des conférences du 2 décembre 1958 et du 27 janvier 1959 ont été publiés.

Voici quelques-unes des déclarations et des conclusions parmi les plus caractéristiques de P. BARANGER au sujet des résultats de ses travaux. Elles donnent en particulier un démenti catégorique aux affirmations produites devant l'Académie d'Agriculture de France et que nous avons signalées dans cette brochure.

I. — **Extrait** du mémoire de remplacement (abrégé) du 27 octobre 1958 proposé à l'Académie des Sciences sous le titre « Contribution à l'étude des métabolismes du phosphore, du potassium et du calcium chez les vesces de Cerdagne ».

« Résultats d'une expérience comportant quatre séries d'essais : graines non germées ; graines poussées sur eau distillée (EBD), 30 jours ; graines poussées sur EBD, 45 jours ; graines poussées sur EBD + Ca Cl<sub>2</sub>, 30 jours.

**Conclusion.** — L'analyse statistique confirme les points suivants :

a) *Phosphore.* Il n'y a pas eu de variations significatives dans les quatre séries.

b) *Potassium.* Il y a eu accroissement significatif d'environ 10 % pour les graines poussant en milieu calcique. Ce résultat est identique à ceux obtenus dans une première série d'expériences avec végétation en présence de Ca Cl<sub>2</sub> ou de Ca SO<sub>4</sub>. Les poids atomiques du potassium retiré des graines non germées ou des plantes poussées sur eau pure ou sur milieu calcique ont été déterminées par des méthodes différentes et trouvées identiques à la valeur communément admise.

c) *Calcium.* Il y a eu augmentation significative d'environ 2,5 % et 1,5 % pour les graines poussées sur eau pure ou sur milieu calcique. Ces résultats insolites sembleraient confirmer, sur un point particulier, ceux obtenus par les auteurs précités. *Nous croyons devoir les publier afin de permettre à d'autres laboratoires de les vérifier.* »

II. — **Extrait** de la « Conférence polytechnicienne » (2-12-58) et de la Conférence à l'Institut national genevois (27-1-59) :

« Bref, si ces travaux ne sont pas construits par d'autres laboratoires, et à ce jour aucun des spécialistes qui les ont examinés n'ont pu relever d'erreurs expérimentales, *il y aurait lieu de développer ce genre de recherches et de modifier en conséquence un certain nombre de théories qui ne semblent pas bénéficier d'assises expérimentales suffisantes.* »

III. — **Conclusion** de l'exposé de P. BARANGER au Symposium de chimie végétale à Hong-kong (1961, en anglais) :

« The results given by VON HERZEELE concerning an increase of phosphorus under the same conditions, have not duplicated. Nevertheless, it seems highly probable that some sort of transmutations are taking place in the plant by some unknown process and it appears that this question warrants further investigations. »

IV. — **Extrait** de l'article d'Aimé MICHEL dans « Science et Vie », avril 1959, p. 85.

Cet article rend compte d'une interview du Professeur BARANGER qui porte sur des expériences qui ont duré quatre ans. Dans l'introduction on lit :

« Nous n'affirmons pas que la transmutation biologique existe, mais tenons à présenter des faits qui ne trouvent pas actuellement d'autre explication. Si rien n'a échappé au Professeur BARANGER, *si aucune faille ne s'est glissée dans ses expériences, c'est une véritable révolution dans la science atomique.* »

Dans le corps du texte, nous lisons :

« **Les précautions.** — Devant de tels résultats on est évidemment enclin à chercher d'abord si ces variations ne sont pas le produit d'une ou plusieurs possibilités d'erreurs. Car, enfin, si ces erreurs n'existent pas, les expériences du Professeur BARANGER montreraient qu'une partie du phosphore a disparu et que, par contre, des quantités non négligeables de calcium et surtout de potassium sont apparues sans qu'on sache comment ! »

V. — **Extrait** d'une note pour la préparation d'une conférence à la section de Poitiers de la Société Française de Chimie, exposant les résultats d'une expérience sur lentilles et vesces de Cerdagne (7 mars 1964).

« **Conclusion.** — Il y a des variations significatives des teneurs élémentaires de Ca, K et Mn chez les légumineuses examinées. *Aucune explication proposée, aucune cause d'erreurs trouvée.* »

« *Bilan énergétique impossible à établir sans connaître les systèmes envisagés et les modifications des mêmes.* »

VI. — **Extrait** d'un mémoire sur la vérification des travaux du professeur japonais Husatoki KOMAKI (1965-1967) sur les micro-organismes.

« Un savant japonais, Husatoki KOMAKI, professeur de microbiologie appliquée de Mukogawa (Japon), a étudié le métabolisme du calcium chez une trentaine de micro-organismes. Ses travaux qui auraient montré l'existence de variations du K et du P pendant la croissance de ces micro-organismes, selon la composition du milieu de culture, ont été publiés dans la Revue de pathologie appliquée. Il y est dit que :

« Ces expériences se sont inspirées :

1° de la publication de P. BARANGER relative au métabolisme de Ca et de P chez *Vicia sativa*, et

2° d'une hypothèse proposée par C.-L. KERVIRAN au sujet de la soi-disant « transmutation biologique » de Na en K. » (Mémoire inédit de P. BARANGER, intitulé « A propos des expériences de Husatoki KOMAKI, concernant la synthèse du potassium par des micro-organismes (8 pages 1/4 et 4 tableaux).

Voici les conclusions de P. BARANGER opérant sur *Aspergillus niger* et *Penicillium chrysogenum* :

« Ne tenant compte que des variations significatives, on peut résumer l'ensemble des résultats dans un tableau simplifié. Finalement, l'examen de ce tableau suggère les conclusions suivantes :

1° *En milieu normal (A)* on observe une diminution de la teneur en K de l'ordre de 1 à 2 %. *La teneur en Na reste constante.*

2° En milieu carence en K et enrichi en Na (B) on observe une augmentation importante de K, de l'ordre de 12 à 15 %, et une diminution importante de Na de l'ordre de 3 à 7 %.

« Si on compare ces résultats avec ceux publiés par KOMAKI, on peut dire que nous avons vérifié les résultats obtenus par ce dernier ; en remplaçant les sels de K par des sels de Na, les micro-organismes choisis fabriquaient du K.

« Mais la teneur en Na des milieux de culture (1° - A) restant constante, la conclusion de KOMAKI, inspirée par l'hypothèse KERVAN, n'est pas vérifiée. Le Na ne se transforme pas en K (1).

« Quant aux autres résultats rapportés dans ce mémoire, ils concernent des modèles expérimentaux qui ne figurent pas dans la publication de KOMAKI.

« Nous ne proposons aucune hypothèse capable de rendre compte des résultats obtenus. »

VII. — Extraits du Mémoire terminal de P. BARANGER (voir page 4, 5<sup>e</sup> alinéa, de l'original) :

« Eu égard à la cohérence des résultats par l'auteur (2) et au caractère sérieux de son travail, il nous a paru judicieux de vérifier le bien-fondé de ses déclarations révolutionnaires, en se limitant aux vérifications purement expérimentales, sans prendre parti pour une quelconque explication théorique » (1).

(.....)

« On verra plus loin une vue d'ensemble de ces expériences et des résultats obtenus. Disons tout de suite que ces résultats semblent confirmer nos premières observations, sans que nous soyons en mesure d'assigner une quelconque explication aux phénomènes en cause. »

(.....)

« Conclusion générale (...). Aucune théorie n'est proposée pour expliquer les résultats en question » (1).

(1) C'est nous qui soulignons.  
(2) Voir Herzeele.

## POSTFACE

P. BARANGER pensait donc que la vérification et la poursuite de ses recherches appartenaient en définitive aux praticiens de la physique nucléaire qui, avec le concours de chimistes répondant aux exigences de l'expérimentation, seront seuls en mesure d'établir des balances directes d'analyse nucléaire d'un système de végétation, plante et milieu, et de contrôler ainsi directement les variations de la composition élémentaire du dit système au cours de la croissance d'une plante. En l'état actuel de nos connaissances, en effet, la recherche de la composition d'un végétal n'est pas assurée de ses résultats car les variations de sa composition moléculaire dépendent de nombreux facteurs, dont il est pratiquement impossible de découvrir le rôle particulier par l'analyse classique et de diriger en conséquence, dans la production, l'action synthétique extrêmement variable. Il est nécessaire de découvrir des lois de la physiologie végétale plus générales et plus exactes que les théories dont on doit aujourd'hui se contenter dans les techniques dépendant de la biologie, en agriculture particulièrement. Cette extension de la recherche sur les métabolismes des éléments constitutifs des végétaux se justifie d'autant plus que, par exemple, pour citer le professeur GENEVOIS (Mutations biochimiques des plantes - Introduction) :

« Il apparaît aujourd'hui, en collectionnant les faits portant sur toutes les plantes cultivées un peu importantes, que l'état de mutation est un fait général (...). Les mutations sont en train de transformer le monde végétal à notre service (...).

Par ailleurs, « le perfectionnement des techniques d'analyses (...) a mis en évidence que la constance, d'ailleurs très relative, de la composition des espèces végétales était une illusion » (...). Aujourd'hui, on peut faire de la chimie d'individus. La chimie biologique n'est plus une grossière approximation, mais l'expression de la vie elle-même. »

LAGATU avait déjà mis en garde les chimistes agricoles lorsqu'il appelait leur attention sur « ce qui ressort le plus clairement » des lois dégagées de l'ensemble de leurs travaux : « C'est que l'espèce végétale cultivée, située dans des lieux très différents dans l'espace et dans le temps, sensible aux moindres variations de ces milieux, ne peut, quant à son train d'existence et quant à son rendement, être ramenée à un type défini de machine à synthèse. Au point de vue agricole, la plante n'est définie que dans son milieu et pour les variations données de ce milieu. »

De cette observation on peut conclure que l'on ne saurait prolonger l'emploi d'engrais particuliers à certaines cultures, sans considération des sols, ou des engrais dits « universels » appliqués indifféremment sur toutes les cultures, quels que soient les sols. Ce sont là des pratiques qui n'ont pas de rapports définis avec la biologie.

Les travaux de Pierre BARANGER confirment cette constatation. Il s'est borné à observer les variations au cours de la germination dans la teneur des éléments dits simples du système plante-milieu.

Les analyses montrent que ces variations, toutes du même sens et significatives pour une même expérience, diffèrent suivant la nature de la matière (graine) employée même s'il s'agit d'une même espèce. Les comparaisons entre certaines expériences de P. BARANGER peuvent laisser supposer que l'intervention de certains facteurs fait varier les résultats (origine et âge des graines, condition de végétation, état de maturité, etc...).

En l'état actuel des connaissances nous nous trouvons donc déjà en présence, non de données statistiques uniformes, constantes, de la composition chimique des individus végétaux aussi bien que des espèces, mais d'un ensemble varié et fluctuant dans l'espace, dans le temps et dans les populations végétales, un ensemble de composition nuancée, d'une sorte de continuité qui devra sans doute être considérée comme telle pour l'étudier et éventuellement l'orienter et la modifier au service de l'homme.

A cet effet, un travail de laboratoire nous apportera plus rapidement des connaissances utilisables techniquement que ne peuvent le faire l'expérimentation méthodique partielle sur le terrain ou l'empirisme de la pratique agricole. Ces deux méthodes ne sont certes pas à exclure, cela va sans dire, mais la complexité et la diversité des facteurs mis en jeu par la végétation en rendent les résultats lents et incertains.

Toutes les voies de recherche exigent l'intervention et la convergence de disciplines scientifiques nombreuses (LAGATU a déjà insisté fortement sur ce point) qui, aujourd'hui, s'exercent séparément et même s'ignorent délibérément. En ce qui concerne les métabolismes chez les végétaux, P. BARANGER considérait notamment, comme nous l'avons déjà dit, que le dernier mot reviendrait aux physiciens nucléaires et il entra en rapport dans cette perspective avec certains d'entre eux à qui la mort ne lui laissa pas le temps de fournir la matière sur laquelle ils auraient pu travailler. Il faut aujourd'hui attendre que des chimistes aussi qualifiés que P. BARANGER et disposant de moyens et de personnel requis puissent reprendre ses travaux et les fassent contrôler par l'analyse physique.

Les diverses disciplines scientifiques mises en jeu devront rechercher le rôle de chacun des agents de la production pour en synthétiser l'action

dans le milieu vivant où, les résultats des expériences de P. BARANGER étant confirmés, se rejoignent les connaissances les plus avancées de la physique et de la biologie. Pour ce faire, elles devront substituer à la classification purement systématique de leurs résultats le rôle fonctionnel de chacun de ces agents dans une dynamique complexe propre à toute vie.

Elles ouvriront ainsi la voie au progrès trop souvent limité par le respect d'un conformisme tout à fait étranger à la nature et au rôle de la science et surtout de la biologie. Or, on ne saurait trop le souligner, celle-ci est la base de l'agriculture, c'est-à-dire de l'économie domestique et par conséquent de l'économie politique.

*Si donc, comme nous le croyons, aucune erreur d'expérience ne peut être relevée dans les travaux de P. BARANGER, on devra considérer ses résultats comme exprimant une réalité dont la prise en considération ouvrira la voie à une nouvelle ère scientifique aux conséquences actuellement imprévisibles. En bref, les conclusions de P. BARANGER lui-même se résument ainsi :*

1. — Au cours de la germination de certaines graines des modifications apparaissent dans la composition élémentaire du système plante-milieu sans apport de l'extérieur.

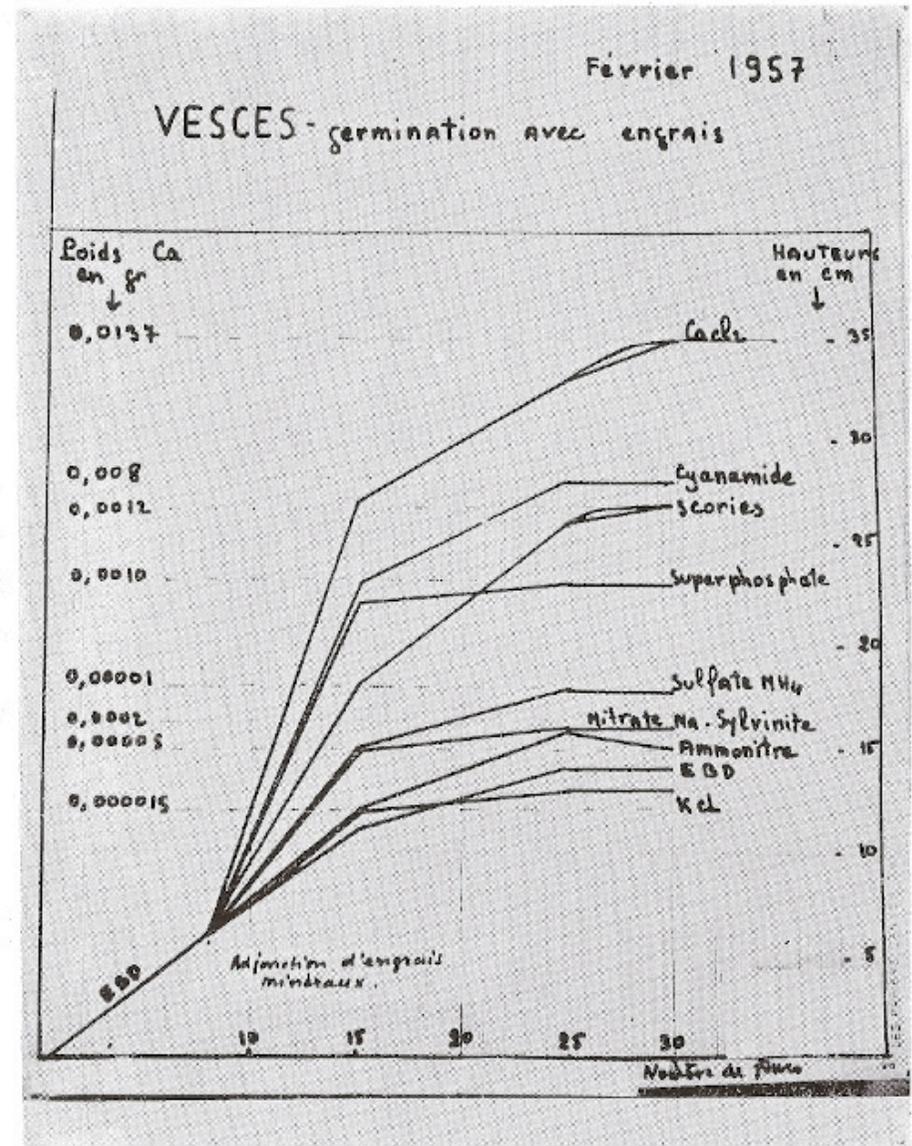
2. — Les analyses qui révèlent ces modifications ont toujours donné des résultats variables mais constants et cohérents dans une même série d'expériences.

3. — Les résultats contrôlés statistiquement (seul moyen d'établir un bilan des analyses) ont été très généralement significatifs dans chaque expérience.

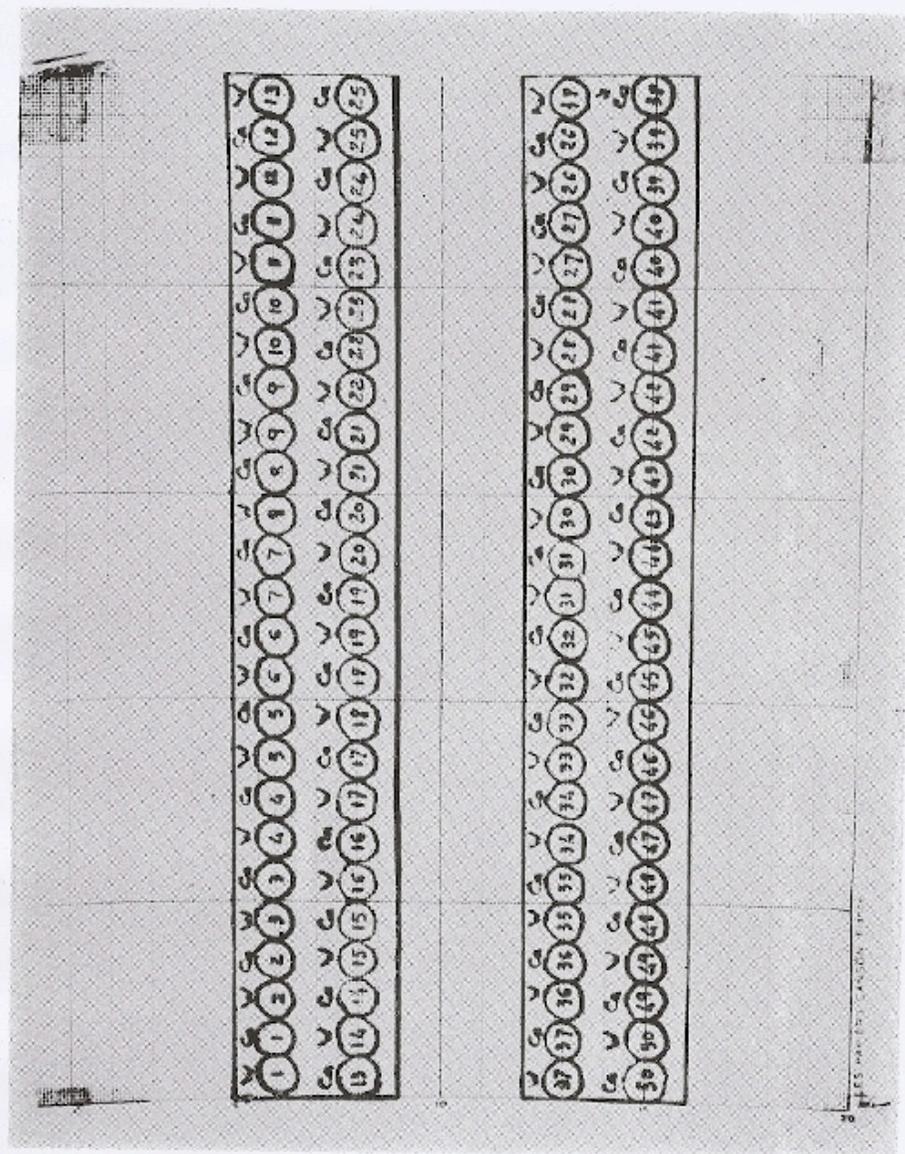
4. — Il est souhaitable que ces résultats soient contrôlés à la fois par des chimistes compétents et disposant de moyens ad hoc et par des physiciens de l'atome.

C'est pour que se réalise ce vœu, souvent exprimé par P. BARANGER, que la présente brochure est publiée. Nous ne saurions oublier en effet que la science, comme la vie, ne s'arrête jamais, qu'en se donnant constamment des démentis à elle-même elle est un perpétuel repentir intellectuel et qu'elle doit ses progrès à l'ignorance qui prend conscience d'elle-même. « Dans le doute, abstiens-toi », se dit l'esprit ignorant et peu soucieux de vérité ; « dans le doute, cherche », se dit l'esprit scientifique.

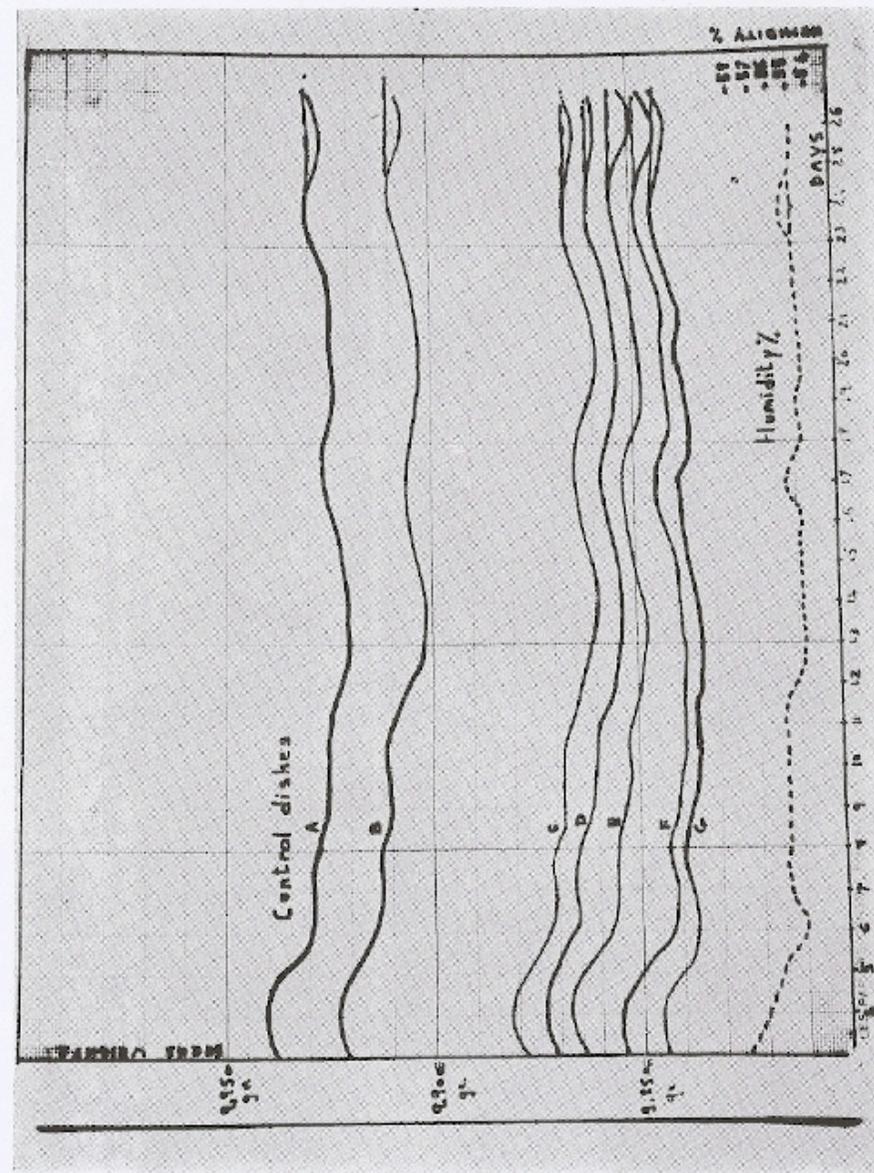
Saint-Benoit-sur-Loire,  
février 1977.



Graphique de la croissance de graines de vesces avec différents engrais

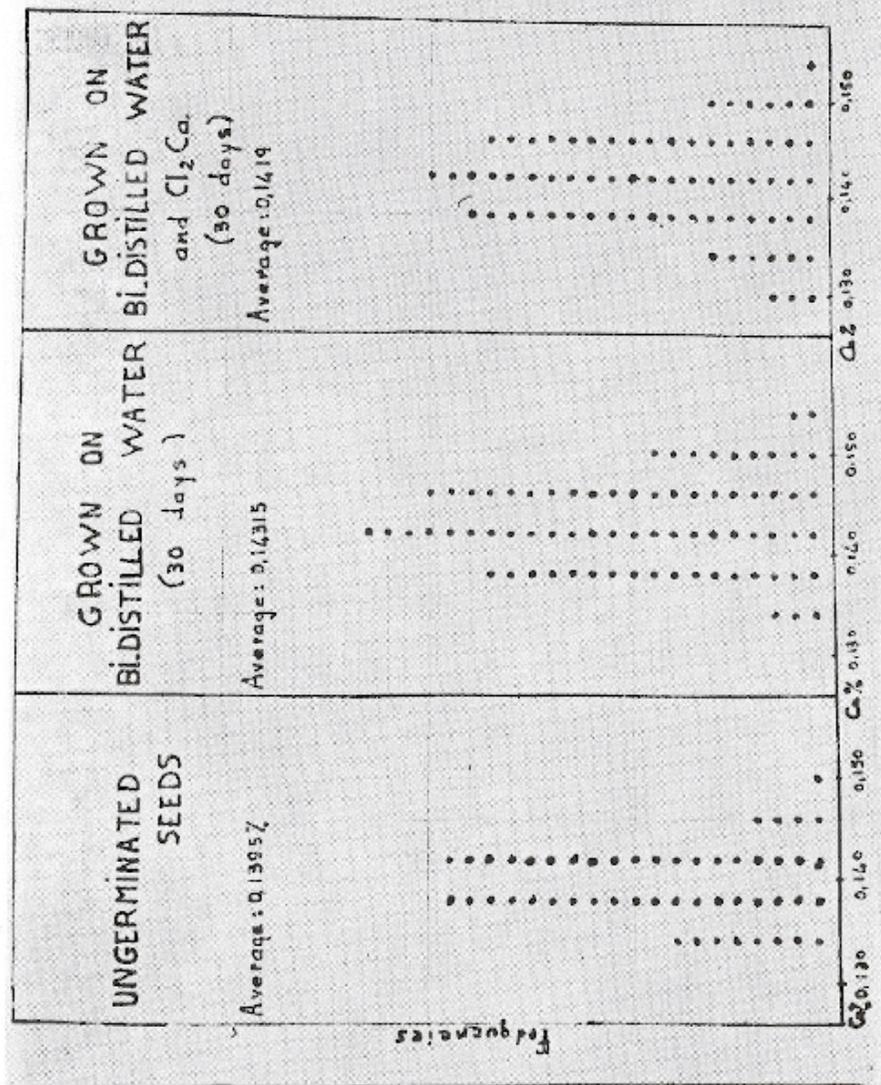


Disposition alternée des boîtes de Petri destinées à recevoir les graines d'une part pour la germination et d'autre part pour l'analyse en l'état



Graphique des variations de poids, suivant l'humidité atmosphérique, des récipients destinés à contenir les graines à analyser





Graphique de dispersion des poids de calcium renfermés dans les échantillons de graines non germées et de graines germées dans l'eau bidistillée (EBD = bidistilled water) et dans une EBD additionnée de CaCl<sub>2</sub> (Exp. 1962). Mémoire en anglais

Imprimerie LABOUREUR & Cie  
 7, rue Pierre-Brossolette  
 36100 Issoudun