

**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =  
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della  
Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 112 (1931)

## Rubrik

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

II<sup>e</sup> Partie  
Discours d'introduction du Président annuel  
et  
Conférences principales

Communications  
faites aux séances de sections

---

II. Teil  
Eröffnungsrede des Jahrespräsidenten  
und  
Hauptvorträge  
Vorträge  
gehalten in den Sektionssitzungen

---

II<sup>a</sup> Partita  
Discorso inaugurale del Presidente annuale  
e  
Conferenze principali  
Comunicazioni  
fatte alle sedute delle sezioni

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

# **Discours d'ouverture du Président annuel**

de la 112<sup>e</sup> session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles  
prononcé à La Chaux-de-Fonds, le 24 septembre 1931

par

**CHARLES BOREL**

## **L'opticien Guinand et le pasteur Reynier**

Devant le Kurhaus de Walzenhausen, une douzaine de confortables et imposants autocars se sont arrêtés. Quelques centaines de voyageurs, qui viennent de traverser les sites pittoresques de l'Appenzell, en descendant et viennent se grouper au gré des circonstances et de sympathies sur la terrasse de l'hôtel d'où la vue s'étend par-dessus les collines couvertes de vergers du pays de Thurgovie jusqu'aux horizons bleus du lac de Constance. Ces messieurs aux airs graves et réfléchis, ces dames qui mettent un peu de fraîcheur dans les sobres et austères élégances masculines, sont les membres du 111<sup>e</sup> Congrès de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Délaissant pour quelques heures leurs savantes discussions qui les avaient réunis à St-Gall, ils se sont laissés griser par la douceur de cette belle journée de septembre, empreinte déjà de la mélancolie de l'été finissant.

Dans l'un des groupes qui se sont formés, on évoque les souvenirs des sessions précédentes, et l'on parle aussi de celle qui l'année prochaine se réunira à La Chaux-de-Fonds. Le président annuel de cette 112<sup>e</sup> session, qui n'a que quelques heures d'existence, ne perd pas une parole de la discussion. La chose n'aurait pas d'importance et ne mériteraient pas d'être relevée, si le personnage en question n'était pas l'auteur de ces lignes. Un de ces anciens professeurs lui rappelle que c'est dans son discours d'ouverture de la 50<sup>e</sup> session à Neuchâtel qu'Agassiz exposa ses théories sur les glaciers; puis sans doute pour atténuer l'effet que pouvait produire sur le nouveau président, l'évocation de cet écrasant souvenir, mon ancien professeur qui m'honore de son amitié me fit comprendre que l'on pouvait se passer dans un discours d'ouver-

ture de théories aussi révolutionnaires que celles d'Agassiz. Et reprenant une parole sacrée: « Une seule chose est nécessaire », me dit-il, le mot de la fin: Je déclare ouverte la 112<sup>e</sup> session ... etc. ... Tout ce qui précède cette phrase sacramentelle n'est là que pour la justifier, pour la provoquer. Voilà qui était rassurant. Ainsi donc, un discours d'ouverture, quelle que soit sa forme, quel que soit son développement, ressemble à ces grandes manœuvres dont les phases successives, déplacement de divisions ou de corps d'armée, savamment conçus, semblent obéir aux lois de la plus rigide et de la plus haute stratégie, mais en réalité doivent tout simplement conduire les troupes qui sont sous les ordres du grand chef vers l'emplacement choisi pour le défilé. Au défilé, Messieurs, c'est vous qui serez à l'honneur, puisque je ne fais ici qu'ouvrir la session où vous allez présenter vos savantes « communications » pour employer le terme modeste par lequel vous désignez la présentation de travaux qui ont duré souvent plusieurs années.

Si j'avais à vous proposer, Mesdames et Messieurs, un nouveau modèle d'atome, une conception originale de l'éther, ou une nouvelle théorie de l'affinité, j'aurais certainement choisi notre grande Société comme marraine de mes théories et c'est en ce jour que je lui aurais présenté sa filleule. Mais comme je n'ai malheureusement pas à demander à l'« Helvétique » l'honneur d'un parrainage, je me contenterai de suivre un usage qui prend force de tradition et vous parlerai très brièvement du pays qui a le grand privilège de vous recevoir aujourd'hui. Je ne vous ferai pas une histoire de la vie scientifique de nos montagnes neuchâteloises. Cet historique ne manquerait pas d'intérêt, car la population de notre Jura — je puis en parler tout à mon aise puisque je suis ici un nouveau venu — a toujours fait preuve d'une certaine curiosité, d'un sens de l'observation qui sont certainement des éléments de l'esprit scientifique. Je laisse à d'autres le soin de faire sur ce sujet une étude complète et ne vous parlerai ici que d'un homme qui est un digne représentant du pays des Daniel Jean-Richard, des Jaquet-Droz, des Gagnebin, d'un homme dont le génie inventif et l'énergie créatrice imposent l'admiration à tous ceux qui veulent se pencher sur sa vie pénible, laborieuse, douloureuse souvent: Pierre-Louis Guinand, l'opticien des Brenets, a certes bien mérité de ces montagnes neuchâteloises, dont le climat rude, dont l'aspect austère et souvent triste convenait si bien à cet homme qui, jusqu'à l'âge de

76 ans, a travaillé avec une âpreté qui eût mérité du sort des douceurs qu'il attendit en vain.

Lors du centenaire de la mort de Guinand en 1924, plusieurs travaux mirent en relief la personnalité et l'œuvre de celui qui eût pu, si les circonstances l'avaient aidé, créer dans notre pays une nouvelle industrie. De nombreux documents que possèdent les bibliothèques de La Chaux-de-Fonds et Neuchâtel, ainsi que les archives de l'Etat, M. le Dr Henri Bühler, M. Paul Ditishem, M. le Dr Eug. Robert ont tiré des biographies et des mémoires techniques auxquels nous renvoyons ceux qu'une étude détaillée des travaux de Guinand intéresse. Rappelons brièvement les étapes de cette vie de travail, telle qu'elle est résumée dans une notice que le grand ami de Guinand, dont nous reparlerons du reste, le pasteur Reynier des Planchettes, écrivit pour la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, notice qui parut dans la Bibliothèque universelle.

C'est à quelques kilomètres d'ici, au hameau de la Corbatière, tout au haut de la vallée de la Sagne, que Guinand naquit le 20 avril 1748. Rien, dans le milieu où il fut élevé, ou dans son ascendance, ne semblait le prédestiner aux recherches qui ont attaché à son nom la gloire qu'un siècle n'a pas effacée. Rappelons tout de même que c'est dans ces lieux que soixante-dix ans auparavant Daniel Jean-Richard examinait la montre du maquignon Péter.

L'instruction que reçut Guinand fut extrêmement rudimentaire. La syntaxe et l'orthographe des lettres et des manuscrits de Guinand, que nous avons pu consulter, le prouvent suffisamment. De bonne heure il travailla avec son père, qui était menuisier-ébéniste, à la construction de cabinets de pendules. Notons qu'il fut initié à cette époque par un voisin à la fonte des métaux. Il est probable que certains coups de main dont il eut connaissance à ce moment, durent lui être précieux lorsque, plus tard, il perfectionna la technique de la fonte des verres.

Chez les célèbres mécaniciens-horlogers Jaquet-Droz, auxquels il livre des cabinets de pendules, il a l'occasion de voir un télescope anglais qui excita son intérêt. Il obtint du propriétaire de l'appareil l'autorisation d'examiner le télescope et même de le démonter. Jaquet-Droz se chargeait de le reconstituer si le jeune homme n'y parvenait pas. Guinand, qui a alors 23 ans, mesura les dimensions de l'instrument, la courbure des verres, et construisit de toutes

pièces un appareil identique à celui qu'il avait admiré ; il était difficile de distinguer la copie du modèle. Jaquet-Droz fut surpris de la parfaite réussite de Guinand et apprenant que le jeune homme n'avait aucune connaissance de physique, il lui prête un traité d'optique. Guinand qui sait à peine lire et écrire, ne connaît pas les éléments des mathématiques, mais les difficultés ne le rebutent pas ; les dessins qui illustrent son cours d'optique sont pour lui des énigmes. Il passa des veillées, penché sur son livre, s'acharnant à percer les mystères que renferment pour lui chaque signe, chaque phrase. Le pasteur Reynier a recopié les notes que Guinand tirait de ses lectures. L'examen de ces pages est du plus haut intérêt. Il montre que Guinand a parfaitement compris les principes de l'optique géométrique. Il montre aussi une des dispositions de l'esprit de Guinand qui allait le guider dans toutes ses recherches ; il veut non seulement comprendre, connaître un phénomène, mais il recherche le « pourquoi » de ce qu'il observe, il veut l'interpréter à l'échelle de son entendement, et si ses explications sont quelquefois fantaisistes, elles lui ont souvent suggéré des recherches fécondes.

Une découverte qui fit sensation dans le monde savant devait avoir sur la carrière de Guinand une influence décisive. L'opticien anglais Dollond était arrivé à construire une lunette qui supprimait les irisations que produisent les lentilles simples. En combinant des lentilles de forme et d'indice de réfraction différents, taillées dans des verres connus en Angleterre sur le nom de crown-glass et de flint-glass, il avait réussi à supprimer l'aberration de réfrangibilité. Guinand veut essayer de construire à son tour des lunettes achromatiques, dont il a vu un exemplaire chez Jaquet-Droz, mais il lui manque le verre à forte réfraction, le flint-glass. Il put s'en procurer par un de ses amis, l'horloger Recordon, qui fit à cette époque un voyage en Angleterre, et réussit à construire d'assez bonnes lunettes achromatiques. Il recueille soigneusement les déchets de flint-glass produit par la taille de ses lentilles et les fit fondre dans un petit four qu'il construisit à cet effet. Il ne put obtenir un mélange homogène ; la masse de verre présentait, comme le flint rapporté d'Angleterre du reste, des filandres qui en altéraient la limpidité ; quelques particules de plomb qui reparurent à la surface du verre en fusion lui révélèrent que ce métal entrait dans la composition du flint. Dès lors, Guinand n'a plus qu'une préoccupation ; il veut obtenir du verre exempt de toute strie, parfaite-

ment homogène, qui lui permettrait de construire des systèmes achromatiques satisfaisants. Il est encouragé dans ses travaux par les nombreux prix que les sociétés savantes offrent à ceux qui perfectionnent la technique du verre. Après avoir acquis quelques notions de chimie, il entreprend une série de recherches qui devaient durer six ans, de 1784 à 1790. Cette époque est certainement la plus importante de la vie de Guinand. Il venait de s'établir aux Brenets où il avait acheté sur les bords du Doubs un terrain pour y construire son four. Nous savons par le pasteur Reynier ce que furent les recherches de Guinand. L'intelligence et la patience dont il fit preuve, sa ténacité et sa foi dans la réussite de ses travaux, permettent d'appeler ce génial inventeur, le Bernard Palissy de l'optique. Il consacra toutes ses ressources à ses essais et quand à l'âge de 40 ans il quitta sa profession pour celle, plus lucrative, de faiseur de timbres pour horloges, c'est encore à ses travaux qu'il consacra son supplément de gain. Comme dans toute recherche, le hazard aida souvent Guinand, mais il joua dans ses découvertes un rôle secondaire. Ce qui dirigea l'opticien des Brenets dans la voie de la réussite, c'est avant tout cette curiosité scientifique, ce besoin de son esprit, que la lecture de son cours d'optique avait déjà mis à l'épreuve, d'expliquer et d'interpréter ce qu'il observe.

Le pasteur Reynier qui a donc suivi de très près les travaux de Guinand, a noté les réflexions qui l'ont conduit à la découverte des procédés qui furent employés plus tard par toutes les grandes maisons d'optique. Ces notes, que nous avons consultées à la bibliothèque de La Chaux-de-Fonds, montrent qu'après chaque essai, chaque fonte, Guinand n'entreprendait de nouvelles recherches que pour contrôler une observation qu'il venait de faire, pour vérifier une hypothèse suggérée par l'un de ses essais, pour perfectionner et améliorer sa délicate technique ; en un mot, ses recherches ont quelque chose de méthodique, de systématique qui surprend au premier abord celui qui connaît la culture scientifique de Guinand. Et quand le hazard lui révèle un aspect nouveau du problème qu'il étudie, il sait en tirer parti en fonction de son génie inventif et intégrer l'observation imprévue dans le cadre de ses recherches. Quant aux difficultés matérielles de toutes sortes que Guinand eut à surmonter, le pasteur Reynier les résume ainsi dans sa notice :

« Avant de réussir seulement à avoir du verre, sa persévérance eut à surmonter des contre-temps qui auraient probablement décou-

ragé la plupart de ceux qui auraient tenté cette recherche. Tantôt son fourneau qu'il n'a pas su construire avec les précautions convenables menace de s'écrouler en s'échauffant et il est obligé de le reconstruire avec des matériaux qu'il fait venir de l'étranger; tantôt ce n'est qu'après avoir passé plusieurs jours à le chauffer et y avoir consommé beaucoup de bois, qu'il remarque un défaut essentiel dans sa construction, qui l'oblige à suspendre sa fonte; tantôt ses creusets qu'il a fait venir à grands frais ou qu'il a construits lui-même se fendent sans qu'il puisse en deviner la cause et la matière vitreuse se répand dans les cendres et se perd. »

Grâce à l'énergie qu'il déploie, grâce à sa volonté tenace, Guinand arrache à ses verres en fusion leurs secrets; il comprend toujours mieux ce qui se passe dans ces masses qui avaient résisté victorieusement aux traitements de physiciens et de savants. L'une de ses principales découvertes est le fameux doigt d'argile que les verriers appellent encore le « guinand » et qui permet par un brassage lent et régulier de la masse de verre en fusion d'en éliminer les filandres et les bulles. Cela fait penser à l'œuf de Colomb, mais n'oublions pas que les grands verriers d'Allemagne, de France et d'Angleterre, malgré leurs installations et leurs possibilités de recherche, n'avaient pas découvert le procédé de Guinand et que leurs verres ne valaient pas ceux de l'opticien des Brenets. Sa réputation avait franchi les frontières. Par l'intermédiaire du minéralogiste Grüner de Berne, directeur de mines en Allemagne, quelques échantillons de ses verres parvinrent à la firme Reichenbach & Utzschneider à Bénédictbeuern près de Munich; l'examen de ces morceaux de verre par les opticiens allemands fut concluant puisqu'ils engagèrent Guinand. A la fin de septembre 1805, après avoir remis son atelier des Brenets à son fils Aimé, il partit pour la Bavière avec celle qui devenait l'année suivante sa quatrième femme, Rosalie Bouverot, une jeune fille de 22 ans, qui s'occupait de son ménage. Il resta neuf ans en Allemagne et eut dès 1807, deux ans après son arrivée, comme collaborateur le grand physicien Frauenhofer. A ce propos, il est nécessaire de préciser un point d'histoire. Les biographes allemands, après Utzschneider lui-même, ont essayé d'attribuer à Frauenhofer le mérite, qui en grande partie revient à Guinand, d'avoir mis au point la technique des verres d'optique; deux ans après la mort de Guinand, Utzschneider publiait à la mémoire de Frauenhofer une notice dont voici un extrait:

« Avant que Monsieur P.-L. Guinand entrât à mon service, il fut obligé de me communiquer tout ce qu'il avait fait à cette époque dans l'art de fondre le verre. J'obtins ainsi une description de petites fontes faites par lui-même depuis 1805 et je pus me convaincre que ses efforts n'avaient eu d'heureux résultats, ni pour les sciences, ni pour ses propres intérêts. M. Guinand renouvela infructueusement ses essais et n'en demeura pas moins bien accueilli par moi. Ses tentatives me guidèrent dans la route qu'il convenait de suivre pour arriver au but; je résolus donc de continuer à travailler avec lui d'après un plan réglé. »

Les affirmations que contiennent ce texte ne résistent pas à la confrontation de certains faits. L'admiration d'Utzschneider pour Frauenhofer, admiration partagée par tous les physiciens du reste, le désir de reporter sur son établissement et peut-être aussi sur son pays la gloire d'une grande découverte ont aveuglé l'opticien allemand qui signa avec Guinand, au moment où celui-ci fut engagé à Munich, une convention conservée par le pasteur Reynier et dont nous nous permettons de donner quelques extraits.

Aux termes de cette convention, Guinand est engagé pour dix ans sans qu'il soit question d'une période d'essai. Il accepte d'instruire une personne qui lui sera désignée, dans la fabrication du verre. Il reçoit 1600 florins et disposera gratuitement d'un logement. Engage-t-on un « apprenti » dans ces conditions? Ecoutez encore les clauses suivantes: Si M. Guinand ne survivait pas aux dix années pour lesquelles il s'est engagé, ses héritiers jouiront de son traitement intégral jusqu'à l'expiration des dix années de son engagement. Et si, à ce moment, sa santé ne lui permettait plus de continuer son travail, il recevra une rente de 800 florins et à son décès sa femme recevrait également une rente de 250 florins.

Avouez que ce ne sont pas les conditions que l'on offre à un homme « dont les recherches n'ont eu un heureux résultat, ni pour les sciences, ni pour ses propres intérêts! » Enfin, dans la dernière clause du traité, M. Utzschneider affirme « qu'il est sincèrement attaché à M. Guinand par rapport à sa probité et connaissances » et qu'« il cherchera toujours à vivre avec lui non seulement en parfaite intelligence, mais encore à faire pour lui toutes sortes de sacrifices qui dépendront de lui ». Bien que ce dernier point soit vague, est-ce le ton que l'on a envers un apprenti? N'est-ce pas plutôt une formule de déférence à l'égard d'un maître?

Aux affirmations d'Utzschneider, nous opposons ces lignes que nous extrayons d'un mémoire présenté à l'Académie des sciences par l'opticien français Bontemps : « Le cylindre d'argile une fois trouvé, la fabrication du flint-glass était résolue. » — Bontemps était un rival de Guinand ; on comprend l'importance de cette déclaration qui se rapporte à la grande découverte de l'opticien neuchâtelois.

Guinand resta donc neuf ans à Bénédictbeuern. Vers la fin de 1813 il quittait l'Allemagne pour rentrer aux Brenets ; il avait 65 ans. Quels mobiles lui dictèrent ce geste ? Etais-ce le désir de rentrer au pays ? Etaient-ce les soucis que lui causait son fils Aimé qui semble ne pas avoir suivi avec assez de sérieux la voie que son père lui avait indiquée ? Espérait-il grâce à son renom et à son énergie pouvoir donner à l'atelier des Brenets un lustre qui lui assurerait enfin la fortune ? Dans tous les cas il regretta sa décision. En date du 15 février 1815, il écrivait à l'une de ses filles : « Je suis autant malheureux ici comme j'étais heureux en Bavière. Je voudrais bien y avoir resté et gardé notre argent pour le reste de mes jours qui me donnent grand souci. Voilà ce qui m'en est venu d'avoir tant envie de tirer mes enfants de la misère. »

Guinand obtint tout de même quelques commandes de l'étranger. Il entra ainsi en rapport avec Lerebours & Cauchoix, opticiens à Paris, et Schweizer de Vienne. Mais il se rend compte qu'il ne suffit pas d'être un artiste ou un savant pour réussir. Son petit atelier des Brenets, malgré la qualité du verre qu'il produit, est financièrement trop faible pour lutter contre la concurrence des grandes firmes ; les droits d'entrée sur le verre sont exorbitants, et Guinand, pour maintenir ses prix, doit avoir recours à toutes sortes d'expédients. Il falsifie ses notes en convenant avec ses clients d'indiquer des valeurs plus faibles que la valeur réelle des lentilles. Il a même recours à la contrebande, et il est assez amusant de constater que le pasteur Reynier qui était au courant de toutes les difficultés de Guinand, ait admis le procédé.

Pour se tirer d'affaire, Guinand essaie de s'associer à des étrangers. Lerebours, le grand opticien de Paris, vient aux Brenets ; il achète à Guinand une assez grande quantité de verre et lui offre de l'engager en France. Les pourparlers sont laborieux. Les conditions qui sont faites à Guinand ne lui paraissent pas suffisantes. Un long échange de lettres entre les deux opticiens n'aboutit à aucun résultat. En septembre 1821, par l'intermédiaire de Reynier

et de l'astronome Herschel, Guinand remet une communication à la Société astronomique de Londres. Les télescopes et appareils d'optique anglais avaient la réputation d'être les meilleurs appareils du monde ; les artistes d'Angleterre avaient tout de même de très grandes difficultés à se procurer du flint-glass de bonne qualité, aussi la note de Guinand intéressa-t-elle vivement le Conseil de la Société, qui invita Guinand à lui soumettre des échantillons de son verre. Il envoie un premier disque de faibles dimensions, à l'aide duquel Tulley établit un télescope qui donna entière satisfaction. Les astronomes anglais demandent à Guinand des disques de plus grandes dimensions pour de nouveaux essais. Guinand envoie un deuxième disque, de 17 cm, remarquable par sa pureté et ses dimensions, « unique en Angleterre », dit un rapport de la Société astronomique qui parut malheureusement après la mort de Guinand. Il était signé Herschel, Dollond et Pearson.

Le gouvernement français lui fit également des offres. Louis XVIII, à l'Exposition des produits de l'industrie de 1823, s'était arrêté devant un grand télescope monté par Cauchoux. Il complimenta l'opticien et demanda qui avait fourni le verre de l'instrument. Le fils de Guinand qui était présent répondit : « Sire, c'est mon père qui est Neuchâtelois. » — « Et bien, qu'il vienne à Paris à mes frais », répondit le roi. Mais Guinand, qui a 75 ans, ne peut supporter les fatigues d'un voyage à Paris. Le gouvernement français lui offre alors 15.000 francs pour obtenir le secret de ses procédés. Les négociations étaient en cours lorsqu'il s'éteignit le 13 février 1824 dans sa 76<sup>e</sup> année.

Sa mort entraîna celle de l'industrie du verre que son génie avait créée. Malgré les tentatives du pasteur Reynier pour grouper les efforts des enfants de Guinand, ceux-ci se séparèrent. L'un d'entre eux, Aimé, celui qui connaissait le mieux la préparation du verre, et qui avait travaillé seul aux Brenets pendant le séjour de son père en Allemagne, hérita de la verrerie des bords du Doubs ; Henri, qui était établi en France comme horloger, se mit en rapport avec Bontemps, auquel il communiqua les procédés de son père dont il possédait plusieurs manuscrits. La veuve de Guinand s'associa avec un pharmacien du Locle, Daguet, qui avait été en rapport d'affaires avec son mari, et après de nombreux essais, la nouvelle verrerie qui fut bientôt transportée à Soleure, put produire du verre de bonne qualité. Mais l'association ne dura pas et la veuve

Guinand vint s'établir en France à proximité de la frontière neuchâteloise. En 1838 le gouvernement français, pour encourager les verriers qui avaient à lutter contre une forte concurrence étrangère, les invita à présenter leurs produits. Il décerna un prix à Henri Guinand et Bontemps, ainsi qu'une médaille de platine à la veuve Guinand.

En 1848, pour des raisons politiques, Bontemps quitta la France et fit passer en Angleterre les procédés de Guinand. Les verreries de France et de Grande-Bretagne, ainsi que celles d'Allemagne utilisant les procédés de Guinand, les adaptant aux progrès de la technique moderne, grâce aux ressources de puissants capitaux, se développèrent rapidement, tandis que chez nous, les verreries des Brenets et de Soleure luttaient désespérément. En 1840, Aimé Guinand, découragé, dans la misère, ne travaille plus, et quelque temps plus tard Daguet, malgré ses efforts, couronnés du reste de certains succès, abandonna également la lutte.

Des efforts du Bernard Palissy de l'optique, il ne reste chez nous qu'un souvenir mêlé d'admiration. Justice a été rendue à sa mémoire par tous les savants et opticiens qui reconnaissent aujourd'hui l'importance des découvertes de Guinand. Il y a quelques années, M. Nicolardot, chargé de conférences à l'Institut d'optique théorique et appliquée de Paris, écrivait : « Le grand mérite de Frauenhofer et d'Utzschneider avait été en 1805 de s'adjoindre comme associé Guinand, celui qui le premier sut préparer des verres d'optique et de se l'attacher d'une façon exclusive. Ce fut la principale raison de la célébrité de Frauenhofer. » Et il ajoute au sujet de l'introduction en Angleterre des procédés Guinand, par Bontemps : « Les résultats qu'il obtint ont été signalés l'année suivante par Simms, le grand fabricant anglais de télescopes, qui décrit en même temps l'état lamentable de la verrerie d'optique en Angleterre, avant l'arrivée de Bontemps », c'est-à-dire avant l'introduction des procédés de Guinand.

A un siècle de distance, la vie de Pierre-Louis Guinand, malgré son auréole de célébrité et de gloire, nous apparaît mouvementée, douloureuse, et rien, ne semble-t-il dans les circonstances de sa vie, n'a favorisé les recherches dont la science devait bénéficier. Plusieurs généalogistes, M. Thévenaz, archiviste de l'Etat de Neuchâtel tout spécialement, ont essayé de reconstituer la vie privée de Guinand, malgré les difficultés qui proviennent essentiellement de la similitude des prénoms portés dans les diverses branches de la

famille Guinand au siècle passé et au précédent. Il est avéré aujourd'hui que Guinand fut marié quatre fois. A l'âge de 22 ans il épousa une veuve de 18 ans plus âgée, et qui avait plusieurs enfants. Elle mourut l'année suivante en donnant le jour à deux jumeaux, dont l'un, la petite Henriette, suivit sa maman quelques mois plus tard. D'un nouveau mariage, il a quatre enfants, mais sa seconde femme meurt à l'âge de 30 ans, au moment où Guinand s'établit aux Brenets. L'aîné de ses enfants a 10 ans. On comprend qu'il désira trouver une mère à sa petite famille. Après deux ans de veuvage il se remarie, mais cette nouvelle union ne devait pas être heureuse. Nous savons qu'à cette époque, c'est-à-dire entre 1784 et 1790, Guinand se livrait avec acharnement à ses essais qui lui coûtaient gros et ne lui rapportaient que fort peu de chose. Le ménage Guinand qui subvenait à l'entretien d'enfants de quatre lits différents, devait mal supporter les restrictions que ces dispendieux essais lui imposaient. Après dix ans de mariage, Guinand et sa femme se séparèrent. Deux ans plus tard, il engagea pour faire son ménage une jeune fille de 19 ans, Rosalie Bouverot, qu'il initia au travail du verre et qui le suivit en Allemagne où il l'épousa. Il avait 58 ans; Rosalie n'en avait que 23. Les enfants de Guinand, comme on le pense bien, accueillirent assez mal ce mariage. Il fut du reste aussi heureux qu'une union de ce genre peut l'être. La jeune femme robuste, travailleuse, dévouée, fut une aide extrêmement précieuse au chercheur dont les forces faiblissaient. Les enfants de Guinand n'avaient reçu, comme leur père, qu'une instruction très sommaire et durent se tirer d'affaire de très bonne heure. La vie ne sembla pas leur sourire. Leur correspondance, en partie conservée, prouve les difficultés et la misère dans laquelle ils furent souvent plongés. Et à ce moment-là, c'est à leur père qu'ils s'adressent: nouvelles préoccupations, nouveaux soucis pour un homme qui en porte déjà un fardeau écrasant. Nous avons déjà dit la somme d'efforts et de luttes de toutes sortes que représente sa carrière scientifique. Celui qui se penche sur cette vie et qui essaie de la reconstituer, de la revivre avec cette sympathie profonde et compréhensive, qui doit être celle de tous ceux qui veulent faire surgir du passé les traits d'une noble figure, ont peine à faire taire l'émotion qui les étreint à l'évocation de cette destinée à laquelle le sort ne ménagea pas ses coups.

Cette émotion s'apaise et prend une autre forme lorsque le

biographe découvre dans la vie douloureuse du chercheur des Brenets, le reflet d'une grande douceur. Guinand eut un ami, un ami incomparable dont le nom ne saurait être séparé de celui qui a honoré le petit village des bords du Doubs, un ami dont la valeur, la culture, et surtout les qualités de cœur nous paraissent plus belles encore aujourd'hui à travers l'estompe du temps: nous nommons respectueusement le pasteur Reynier.

Le ministre des Planchettes était un homme remarquable; une grande et souple intelligence, une culture étendue lui permettaient de s'intéresser à la théologie, à la philosophie, aux mathématiques, aux sciences, à l'astronomie tout spécialement; il suffit de consulter les manuscrits que possède la bibliothèque de Neuchâtel pour se convaincre que sa culture n'est pas un vernis superficiel, mais qu'il s'est pénétré de l'essence même des disciplines auxquelles il s'est intéressé. Ces manuscrits contiennent entre autre de volumineuses dissertations philosophiques, dont l'une est datée du 1<sup>er</sup> janvier 1826, 0 heure du matin! Ce n'est pas en sablant le champagne que l'on fêtait le réveillon à la cure des Planchettes!

Nous avons examiné avec intérêt un grand nombre de problèmes d'algèbre et de géométrie dans des notes personnelles et dans une correspondance échangée avec un professeur Perret de Peseux. L'originalité et l'aisance de certaines solutions montrent, ici encore, la profondeur de l'esprit de Reynier. Ses observations astronomiques ne le cèdent en rien, quant à leur valeur, à ses autres travaux. En date du 29 septembre 1835, l'astronome Wartmann de Genève écrivait au colonel de Bosset à Neuchâtel:

« J'ai mille grâces à vous rendre pour les intéressantes observations de la comète de Halley faites par M. le pasteur Reynier, que vous avez eu l'obligeance de me communiquer. Cet aimable observateur, aidé d'un excellent instrument, a été plus heureux que nous en découvrant la comète trois jours avant qu'on l'ait pu voir ici. »

C'est encore d'une lettre de Wartmann que nous extrayons cette allusion significative à l'explorateur du ciel qu'était Reynier:

« Il serait honorable pour le canton de Neuchâtel aussi bien que pour la Suisse de pouvoir placer à côté du nom célèbre de Guinand, celui du digne successeur de Pons et de Gambart. »

En août 1838, Wartmann et un astronome irlandais Cooper en séjour à Genève conviennent d'étudier le ciel pendant la période du 8 au 11, au moment du maximum annuel des étoiles filantes.

C'est encore à Reynier que Wartmann s'adressa pour confronter les résultats de ses observations. En septembre de la même année, Wartmann écrit au colonel de Bosset :

« Je travaille dans ce moment à un mémoire qui sera imprimé dans les « Transactions de la Société météorologique de Londres », où les observations fort bien faites de M. Reynier figureront. »

Dans un autre mémoire adressé à l'Académie des Sciences, Wartmann cite encore les travaux et les observations de Reynier.

Philosophe, mathématicien, astronome, le pasteur Reynier était encore un homme de cœur. Persuadé de la valeur et du mérite de Guinand, il tenta l'impossible pour que l'obstiné et patient chercheur put bénéficier du résultat de ses travaux. Nous avons déjà dit que Guinand reçut une instruction très rudimentaire, dont souffrissent entre autre son orthographe et sa syntaxe. Comment eût-il pu entrer en rapport avec Herschel, Lerebours, Cauchoix, Lalande, comment eût-il pu traiter avec les grandes verreries étrangères, s'il n'avait eu les conseils éclairés d'un homme qui consacra des journées entières à suivre ses essais, à lui traduire des lettres, à rédiger des réponses, des projets de conventions. Son énergie n'a-t-elle pas été décuplée par la sollicitude, par l'intérêt que lui témoigna Reynier. Au milieu de ses compatriotes, Guinand dut se sentir souvent très seul; il fut en proie à de profonds décuage-ments. De quel secours lui fut à ce moment l'ami qui partagea sa foi dans la réussite et dont la bienveillance et le dévouement était sans borne. Le témoignage qui devait être rendu à Reynier n'est-il pas tout entier dans ces lignes qu'après la mort de leur père, un des enfants de Guinand adressa à celui qui fit à ce moment tout ce qui était en son pouvoir pour que grâce aux efforts, à la vail-lance du patriarche qui venait de tomber à la tâche, ses enfants puissent goûter un peu la douceur de vivre sans lutter incessamment:

« C'est pourquoi », écrivait au pasteur Reynier, un mois après la mort de Guinand, son gendre Couleru, « nous venons en toute confiance vous prier, Monsieur le pasteur, de bien vouloir nous protéger et nous diriger, étant assurés d'avance que vos lumières et vos bons conseils nous tireront de l'embarras où nous nous trouvons et de la ruine que l'on nous prépare. Nous n'aurions jamais osé vous importuner, si nous ne savions que comme ami de notre digne père et comme ministre du Saint Evangile, vous cherchez à bannir la discorde et à rétablir l'harmonie entre des enfants divisés pour motifs d'intérêt. »

Malgré tous ses efforts, Reynier ne réussira pas à rétablir l'entente entre les enfants de Guinand. Il éprouva du reste dans ses tentatives infructueuses une lassitude bien compréhensible ; il s'occupa néanmoins de la famille dispersée avec la sollicitude que lui dictait son amitié pour Guinand. Malgré sa situation délicate, au milieu de frères rivaux et concurrents, il sut encore avec tact et discrétion conseiller l'un, encourager l'autre et maintenir entre eux des rapports aussi courtois que possible.

N'était-il pas indiqué d'évoquer le souvenir de ces deux hommes dans la première journée de notre Congrès ? Ils nous donnent tout d'abord l'exemple d'une vie consacrée à la science. Tous les chercheurs qui se sont réunis aujourd'hui dans notre ville pour présenter leurs travaux, et qui savent au prix de quels efforts on arrache à la nature ses secrets, comprendront tout ce qu'il y a de grand, de beau, de génial dans la carrière de Guinand. Ils auront aussi une très grande sympathie pour ce pasteur qui consacra si heureusement ses loisirs aux sciences. Mais plus encore que l'admiration que nous devons à ces deux hommes, le respect que nous commande leur amitié s'impose à nous. La vie pénible de Guinand ne fait-elle pas ressortir la beauté, la valeur de cette amitié. En parlant ici de cette chose si belle qu'elle fait songer aux présents des dieux, j'éprouve le désir, pour être compris et suivi par tous mes auditeurs, de proclamer qu'une culture scientifique, à l'encontre d'une croyance assez généralement répandue n'a rien d'aride et de desséchant, qu'elle ne tarit pas les sources de la vie affective et qu'elle n'enlève rien en qualité et en profondeur aux richesses de la sensibilité. Si l'abstraction est l'une des formes de la pensée scientifique, si l'homme de science éprouve constamment le besoin de généraliser, il n'en conserve pas moins, par réaction peut-être, le désir de rencontrer chez un homme une personnalité, une intelligence et un cœur qui pourront vibrer comme lui à toutes les beautés de la vie, de l'esprit et des sens ; il désirera ardemment rencontrer au cours de son existence l'ami qui le dégagera de sa solitude non seulement en suivant les spéculations de sa pensée, mais en pénétrant par sa très grande compréhension et par la qualité de son affection au centre même de sa vie.

Faut-il de grands noms pour illustrer cette thèse ? Qu'il me suffise de prononcer avec émotion ceux de Berthelot et de Renan. L'amitié de ces deux hommes fut à la mesure de leur génie ; leur

propre pensée, si audacieuse, si élevée fût-elle, ne pouvait leur procurer une véritable jouissance qu'en fonction de l'amitié merveilleuse qui résista à toutes les séparations, à tous les coups du sort. « Je suis tellement habitué à penser avec vous », écrivait Renan à son ami dans une lettre datée de Norvège, « que toute impression que je n'ai pas partagée avec vous, me paraît incomplète. »

Il y avait donc en eux des aspirations que leur activité intellectuelle ne pouvait satisfaire ; mieux qu'elle, leur amitié sut combler ce besoin d'absolu qu'ils portaient en eux et que chaque homme doit éprouver au milieu des contingences de la vie.

« La tristesse des enfants et des parents disparus », écrivait Berthelot, « le dégoût des déceptions et des abandons, l'impuissance radicale d'atteindre un but absolu qui se trouve au fond de toute existence humaine, toutes ces causes ne me permettent pas de m'abandonner à la pleine jouissance du présent. Ce n'est plus d'ailleurs ma propre destinée qui m'inquiète aujourd'hui, c'est la destinée de ceux que j'aime. En tous cas le souvenir du passé, même heureux, est constamment mêlé de trop d'amertume pour qu'on puisse s'y laisser aller sans réserve. Voilà pourquoi, pour lutter contre ces désespérances, j'ai toujours éprouvé le besoin de m'appuyer sur de chères et pures affections : celle de Renan a été l'une des plus vives et des plus profondes. » Et il résume encore son attitude en ajoutant : « Je n'ai jamais fait plein crédit à la vie. » Nous voilà aux sources même de la véritable amitié. Cette impossibilité de jouir complètement des choses de la vie sans leur découvrir un fond d'amertume qui se change avec l'âge en désenchantement, permet à celui qui l'éprouve de trouver dans la douceur, dans la force, dans le vrai de l'amitié le refuge qu'il chercherait en vain ailleurs. Et j'affirme que la recherche scientifique malgré les enthousiasmes qu'elle peut susciter, par son caractère relatif, par la contemplation qu'elle procure de cette destruction continue de théories périmées, qui avaient paru neuves et audacieuses, par son essence et sa nature même, doit créer dans l'âme du chercheur une attitude qui permet l'éclosion d'une grande amitié, une de celles que les noms de Berthelot et de Renan, ceux de Guinand et de Reynier illustrent si splendidement.

Lorsque — rapporte M. Thévenaz, dans une étude consacrée à la famille Guinand et qu'il lut au temple des Brenets — le prince

royal de Prusse visita l'atelier des bords du Doubs pendant l'été 1819, très intéressé par un disque de flint-glass que lui présentait notre opticien, mais n'ayant aucune notion du soin et des précautions avec lesquelles le verre travaillé doit être manipulé, il passa ses doigts sur la belle lentille qui lui était présentée. Et Guinand aussitôt d'intervenir au grand scandale de la suite royale : « On n'y va pas ainsi », dit-il au prince ; et l'auteur de l'étude que nous citons croit entendre Guinand lui répéter : « On n'y va pas ainsi », pour lui reprocher d'avoir touché à sa famille.

Aujourd'hui, qu'il me soit encore permis d'évoquer la présence parmi nous des deux hommes qui dorment auprès des clochers de leurs villages, et dont nous venons de rappeler la mémoire. Ils ont quitté leur tombe et viennent nous apporter de leur voix calme tout imprégnée du grand repos qu'ils goûtent après leur vie de travail et de lutte, le message qui sera celui que notre Congrès acceptera pieusement :

« Comme vous », nous disent-ils, « nous avons peiné, nous avons tendu nos volontés, nos énergies ; nous avons fait des années qui nous étaient départies, l'emploi qui nous a paru le meilleur. Notre attente a été souvent déçue, mais une très grande douceur enveloppe nos souvenirs. Elle nous paraît dans la nuit qui nous entoure, la plus belle parure dont notre vie se soit ornée ; elle nous semble être en elle-même une raison de vivre. Cette lumière qui nous éclaire encore est celle de notre amitié. »

Que ce soit sous le signe de l'amitié que s'ouvre notre Congrès. Qu'il permette à tous ceux qui se rencontrent aujourd'hui dans le décor un peu rude de notre ville et de notre Jura d'échanger non seulement les résultats de leurs récents travaux, mais encore de resserrer entre eux les liens qu'a créés l'atmosphère des Congrès précédents. Et puisqu'une ville de Suisse romande reçoit ces jours l'élite scientifique des trois parties de notre pays, qu'il me soit permis d'espérer que ces prochaines journées développeront parmi tous nos membres cette compréhension réciproque, gage de la véritable amitié, et que réclame constamment notre vie nationale. Nous y sommes invités par ce mot de Renan : « Il est si beau de remuer ensemble des idées, quand par une longue habitude on a appris à se comprendre. »

C'est en formulant ces vœux que je déclare ouverte la 112<sup>e</sup> session de la Société Helvétique des Sciences Naturelles.

# **Une journée dans la stratosphère**

par

A. PICCARD, Bruxelles

Mesdames, Messieurs,

Tout d'abord permettez-moi de remercier notre Comité annuel d'avoir bien voulu m'inviter à prendre place à cette tribune. En effet, pour un naturaliste suisse, il n'y a pas de place plus enviée et d'honneur plus grand que de parler dans l'Assemblée générale de la S. H. S. N. J'ai reçu l'invitation de notre Comité au cours de l'hiver dernier, après la première tentative d'ascension. Je puis donc tout particulièrement remercier ces Messieurs d'avoir eu confiance en moi.

Ce n'est du reste pas la première fois que la S. H. S. N. s'intéresse à une ascension d'altitude en ballon libre: Vous savez, en effet, que la belle exploration des hautes couches de notre atmosphère faite par le professeur HEIM et le directeur MAURER, pilotée par SPELTERINI, a été subventionnée par notre Société.

La première fois que j'ai moi-même eu l'intention d'explorer la stratosphère, c'était avant la guerre. En suivant un cours du regretté professeur de QUERVAIN, je me suis dit que le seul moyen d'arriver à comprendre le budget thermique de l'atmosphère c'était de mesurer le rayonnement calorique régnant dans l'atmosphère, et cela en fonction de la longueur d'onde, de la direction du rayonnement et de l'altitude, en partant de la terre et en pénétrant largement dans la stratosphère.

Je continue à croire qu'une pareille série de mesures pourrait être riche en résultats intéressants. Mais je crois que les difficultés de mesure seraient, bien que surmontables, très grandes. Différentes circonstances, dont la guerre et les difficultés d'ordre financier sont les principales, m'ont forcé dans le temps à renoncer à ce projet. Au point de vue aérostatique j'avais, cependant, assez étudié la question pour me rendre compte qu'une ascension jusqu'à une pres-

sion d'un dixième d'atmosphère (16.000 mètres) était parfaitement réalisable. A ce moment, le record mondial d'altitude était toujours détenu avec 10.800 mètres (un quart d'atmosphère à peu près) par les Prof. BERSON et SURING.

Il est tout naturel que, il y a quelques années, alors que le mystère des rayons cosmiques passionnait de plus en plus les physiciens, j'ai repris mes anciens projets, et que j'aie essayé de créer un instrument capable de mesurer les rayons cosmiques jusqu'à une altitude de 16.000 mètres. J'ai dans mon projet maintenu cette altitude pour avoir les neuf dixièmes de la masse atmosphérique absorbante en dessous de moi. Dans ces conditions, l'écran absorbant qui se trouvait au-dessus de moi n'était plus équivalent qu'à une plaque de plomb de 9 cm (7,6 cm de mercure), et je pouvais espérer qu'une composante peu pénétrante des rayons cosmiques correspondant aux rayons gamma des corps radioactifs parviendrait à se manifester à mes appareils.

Le Fonds National Belge de la Recherche Scientifique, institution qui doit son existence à l'initiative du roi Albert, a bien voulu recevoir favorablement ma demande de crédit, dont la hauteur seule réalisait déjà un record dans les annales de cette institution.

Le 27 mai 1931, le F. N. R. S. a pu être transporté à l'altitude prévue, une cabine étanche dans laquelle avaient trouvé place Monsieur Kipfer, le pilote, et tout un laboratoire de physique très complet, ce dernier occupant des tables d'une longueur totale d'à peu près 12 mètres.

Vous savez que tout n'a pas été sans accrocs. A la suite d'un coup de vent assez violent et à la suite d'autres coups de vent qui étaient à craindre, nous avons eu une série d'incidents: Le moteur, grâce auquel le ballon devait être orienté de façon à nous préserver des radiations solaires trop intenses, n'a pas fonctionné, et la température dans la cabine est montée jusqu'à + 40° C (tandis que la température extérieure devait être à peu près - 60° C). Les travaux de réparation d'une voie d'air nous ont empêchés de faire des observations pendant la première demi-heure, c'est-à-dire pendant toute la montée. Enfin, un accident de soupape (dont la cause primaire était aussi la crainte du vent) nous a empêchés d'amorcer la descente au moment où il eût été temps encore de faire les mesures prévues pour la montée.

Au point de vue rayonnement cosmique, nous pouvons résumer comme suit nos résultats: Entre 15·500 m et 16·000 m (différence de l'écran atmosphérique équivalant à 5 mm de plomb) l'ionisation produite en vase clos par le rayonnement cosmique ne varie que très peu. Son intensité a été dans notre appareil 40 ions par  $\text{cm}^3$ , par seconde et par atmosphère de  $\text{CO}_2$ , tandis que KOLHOERSTER avait trouvé à 9000 mètres 80 ions. On peut en conclure que le rayonnement cosmique arrivant dans le voisinage de notre planète, n'est pas accompagné d'une quantité appréciable de rayons gamma telle que les produisent les corps radioactifs que nous connaissons. Si l'effet paroît dans les chambres d'ionisation employées par KOLHOERSTER n'est pas beaucoup plus important que dans notre appareil, on peut encore en conclure que l'ionisation du rayonnement cosmique diminue entre 9000 et 16·000 mètres. Ce dernier résultat, toutefois, demande à être repris, notre chambre d'ionisation différant beaucoup quant à ses caractéristiques de celle employée par KOLHOERSTER.

Si les résultats à ce point de vue ne sont pas très riches, nous avons, cependant, la satisfaction d'avoir créé un outillage qui permettra à nos successeurs de continuer nos recherches dans de bonnes conditions. J'espère que l'année prochaine ne se terminera pas sans qu'une équipe belge puisse utiliser nos mêmes appareils pour continuer nos recherches. Nous espérons avoir démontré que la navigation n'est pas plus dangereuse dans la stratosphère qu'elle ne l'est dans la troposphère et que des appareils relativement simples permettent de maintenir pendant 17 heures l'intérieur d'une cabine étanche dans les conditions nécessaires à la vie humaine.

Pour terminer, je dirai deux mots encore relatifs aux rayons lumineux et caloriques: Ainsi que l'a déjà fait observer le Prof. HEIM, lors de son ascension, l'intensité de la lumière du ciel diminue fortement dans les grandes altitudes. Vous allez voir tout à l'heure un cliché pris à 16.000 m à travers le hublot supérieur de la cabine sans emploi de verre jaune. Vous verrez que les parties non éclairées par le soleil de l'enveloppe du ballon, qui est jaune, se détachent en clair du ciel bleu foncé.

Quant aux rayons caloriques, nous avons constaté à nos dépens qu'ils sont très intenses puisque la cabine a été chauffée, comme je vous l'ai dit, à près de  $100^\circ$  au delà de la température ambiante.

Ce fait ne nous a pas beaucoup étonnés ; nous l'avions prévu à peu de chose près. Mais ce qui nous a étonnés, c'est que entre 11 et 13 heures, pendant que la cabine était protégée contre les rayons directs du soleil par l'enveloppe du ballon, la température intérieure de la cabine n'a pas baissé en dessous de + 22° C. L'eau de condensation qui se trouvait en dessous du plancher n'a jamais été gelée. Cela prouve que nous étions en présence d'un rayonnement calorique assez intense constitué en partie par les rayons solaires diffusés (courtes longueurs d'onde), en partie par le rayonnement propre (grandes longueurs d'onde) de l'atmosphère qui nous entourait et de la terre qui était en dessous de nous. Une analyse spectrale, même très grossière de ces rayonnements, eût été intéressante. Je souhaite que cette question aussi puisse être reprise par d'autres. Je crois que le nombre d'amateurs stratosphériques serait très grand si tous les physiciens pouvaient se rendre compte de la beauté des phénomènes observables là-haut. Ce que nous avons pu voir par les petites fenêtres de notre cabine était si nouveau, si grandiose, que le simple coup d'œil valait tout le travail de préparation qu'il nous a coûté.

# **L'utilisation de l'énergie thermique des mers et les essais de M. Georges Claude à Cuba**

Par

P. SCHIDELER, Paris<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> L'auteur n'a pas envoyé le manuscrit de sa conférence.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

# **Die geologische Entwicklung Südafrikas und seiner Lagerstätten**

Von

P. ARBENZ, Bern

Auf den Juli 1929 hatte die Südafrikanische Union ihre Einladung zum Internationalen Geologenkongress in Pretoria ergehen lassen. In der Regel findet ein solcher Kongress alle drei Jahre statt, bald in Europa, bald in fernen Ländern. Die letzte Tagung wurde in Madrid abgehalten. Die grosse Bedeutung dieser Kongresse liegt zum Teil in den Arbeiten ihrer Kommissionen, die gewisse Fragen oder Teilgebiete zu bearbeiten übernommen haben, oder aber in den nach Fachgebieten oder einzelnen Problemen gegliederten Sektionen und wohl in allererster Linie — und dies gilt vor allem für Kongresse in überseeischen Ländern — in der Möglichkeit, unter kundiger Führung grosse Länderstrecken von besonderem geologischem, petrographischem oder bergbaulichem Interesse kennenzulernen. Trotz der grossen Entfernung erschienen über 200 Teilnehmer in Südafrika. 48 Staaten hatten insgesamt 83 offizielle Delegierte geschickt. Ausserdem haben Universitäten, wissenschaftliche Gesellschaften, Institute usw. Delegierte entsandt. Unter den 36 deutschen Teilnehmern waren 4 Staatsdelegierte. Frankreich und Kolonien war durch 10, England und Wales durch 3, die Dominions und Kolonien, inklusive Südafrika, durch 19, die U. S. A. durch 9 Delegierte vertreten. Die Schweiz hatte zwei Vertreter geschickt, Herrn Prof. NIGGLI als Delegierten des Bundesrates, und den Sprechenden zusammen mit Herrn Prof. NIGGLI als Delegierte der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Im Anschluss an den Kongress waren Exkursionen organisiert worden, die die Teilnehmer zu allen wichtigsten Stätten Südafrikas, zu den Minen von Kimberley und Johannesburg, zu den Platinlagerstätten des Buschfeldes und bis hinauf nach Süd-Rho-

desia, ja, in einzelnen Gruppen bis zu den Kupferlagerstätten der Haute Katanga in Belgisch-Kongo führten.

Man kann sich keinen grösseren Gegensatz denken, als er zwischen unserm kleinen, reich gegliederten Alpenland, mit seiner bis in die jüngste geologische Vergangenheit dramatischen Entwicklung, mit seinen jungen Formen, und dem alten, kontinentalen Klotz von Südafrika besteht, wo nur am Rande Formationen auftreten, die uns durch ihre marinen Fossilien vertraut sind, im Innern aber auf einem uralten Grundstock Schichtsysteme meist festländischer Entstehung liegen, die zum Teil wiederum so alt sind, dass es vergeblich sein muss, darin nach Versteinerungen zu suchen. Was uns nach Südafrika zog, waren aber auch gewisse Besonderheiten, die dieses Land vor allen andern gleich alten kontinentalen Massen auszeichnen: die reichen, überaus mannigfaltigen Lagerstätten von Gold, Platin und Diamant. Alle diese Bildungen in ihren erdgeschichtlichen Zusammenhängen kennenzulernen, sie in Beziehung zu sehen mit den erdgeschichtlichen Zyklen, das war die Hauptaufgabe der Reise, das war das Hauptthema, das uns neben all der Fülle grosser Eindrücke immer wieder beschäftigte, und diese Fragen sollen auch für die heutige Darstellung den Leitfaden bilden.

Es war mir möglich, länger in Südafrika zu weilen als die meisten Kongressbesucher und die Reise rund um Afrika mit Rückfahrt über die Ostküste auszuführen. Dass die Reise so ergiebig ausgefallen ist, daran war nicht bloss die vorzügliche Kongressorganisation mit ihrer Fülle hochinteressanter Exkursionen schuld, ich sehe mich vielmehr auch, was ich hier besonders betonen möchte, den südafrikanischen Geologen zu grösstem persönlichen Dank verpflichtet für ihr grosses Entgegenkommen und ihre mannigfaltige Unterstützung. Vor allem gilt mein Dank den Herren Dr. ROGERS, dem Direktor des Geologischen Survey, Dr. HALL, dem Vizedirektor und Generalsekretär des Kongresses, sowie den Geologen Dr. NEL und Dr. KRIGE. Einer freundlichen Einladung von Herrn Prof. Dr. SCHNEIDERHÖHN in Freiburg i. Br. verdanke ich die Möglichkeit, in seiner Begleitung eine private Autofahrt durch das Buschfeld zu machen.

Man mag Südafrika betreten, von welcher Seite man will, überall wird im geologischen Aufbau sehr bald der Gegensatz zwischen einem alten, den Untergrund bildenden Sockel von Granit,

Gneis und uralten, gestört gelagerten Sedimentgesteinen usw. und den flach ausgebreiteten, oft gar nicht gestörten, dann wieder verworfenen oder schwach gefalteten Deckschichten auffallen. Letztere fehlen an der Küste Südwestafrikas fast vollständig, am reichsten ausgebildet sind sie im Süden und Südosten. Ihrem geologischen Alter nach sind sie sehr verschieden, bald handelt es sich um Vertreter präkambrischer Systeme, bald reichen sie bis ins Paläozoikum und Mesozoikum hinein. Nur ganz am Rand des alten Sockels sind marine Schichten jüngerer Alters zu finden (untere Kreide im Südosten, Eozän im Westen). Nur von wenigen Stellen Südafrikas kennt man Spuren von marinem Karbon. Dies zeigt uns, dass schon in der paläozoischen Aera Südafrika ein Kontinent war, dessen geologische Geschichte schon damals im wesentlichen abgeschlossen war. Der Kontinent war zu einer Zeit erstarrt, als in unserem Lande die geologische Geschichte mit dem alpinen Zyklus erst begann. Südafrika fehlt die mesozoische Versenkung und die tertiäre Orogenesis, es fehlt der ganze alpine Zyklus, abgesehen von einigen wenigen echo-artigen Spuren.

Betreten wir Südafrika an seiner Südspitze bei Kapstadt. Die flachen Deckschichten werden dort vom Kapsystem mit dem über tausend Meter mächtigen Tafelbergsandstein als unterstem, imposantestem Glied vertreten, wahrscheinlich silurischen bis unterdevonischen Alters. Der alte Sockel, auf dem dieser Sandstein aufliegt, ist noch nicht der älteste Untergrund, es sind Granite und Schiefer der Namaformation, die dem jüngsten Präkambrium zugerechnet wird. Die Auflagerungsfläche ist an der berühmten Rivierastrasse von Kapstadt zum Kap der Guten Hoffnung beim Chapmans Peak ausgezeichnet aufgeschlossen. Der Granit zeigt dort an seiner Oberfläche eine tiefgründige festländische Verwitterung, ist in Kugeln aufgelöst und geht in eine lateritische Masse über, auf der mit scharfer Grenze der an der Basis rötliche Quarzsandstein des Tafelberges einsetzt. Schiefe Schichtung im kleinen zeigt allenthalben, dass das Material von Norden, vom alten Festland hergekommen ist. Eine rasche Senkung hatte den alten Sockel erfasst, und die paläozoischen Schichtsysteme begannen sich abzusetzen.

Von besonderem Interesse ist die Einlagerung einer Moräenschicht, eines sogenannten Tillites, im oberen Teil des Tafelbergsandsteins. Sie findet sich nicht nur auf dem Plateau

des Tafelberges selbst, sondern auch noch weitverbreitet in den Ketten des Kapgebirges gegen die Karoo hinein. Schon dieser Umstand zeigt, dass es sich nicht um eine lokale Bildung beliebiger Entstehung handelt. Das Vorkommen echter gekritzter Geschiebe in einer dichten Pasta von grauem Sandstein vertrieben mir aber vollends jeden Zweifel an der Richtigkeit der Deutung dieser Ablagerung als alte Moräne. HAUGHTON beschrieb sogar aus dem Liegenden dieser Moräne Schichtstauchungen, die er auf die Wirkung des Eindruckes und der Eisbewegung zurückführt.

An den Tafelbergsandstein schliessen sich die Bokkeveldschichten mit marinen Fossilien des untern und mittleren Devons, den ersten und letzten sichern marinen Fossilien des Kapsystems. Mit den nachfolgenden Wittebergsschichten (untere Karbon) schliesst das sogenannte Kapsystem ab, dessen Mächtigkeit zirka 3000 Meter erreicht.

Das Kapsystem ist um Südafrika herum in Falten gelegt, das ist das Faltengebirge der Käpiden. Breite, flache Falten sind es von oft sehr langer Erstreckung. Der Tafelbergsandstein bildet in der Regel den Kern der Gewölbe. Es ist ein sanftes Faltengebirge mit Biegungen von grossem Krümmungsradius, etwa von der Länge der Alpen. Zwei Äste setzen es zusammen. Im Westen sind es die Ketten der Cedarberge, die Nord-Süd streichen, im Süden und Osten die Ketten der Zwartherge usw. mit vorwiegendem Ost-West-Streichen. Die beiden Äste vereinigen sich nicht bogenförmig um die Spitze des Kontinentes herum, sondern treten spitzwinklig in Scharung zusammen, überkreuzen sich sogar möglicherweise etwas, indem der Cedarbogen wohl etwas älter ist als der andere. Die faltende Bewegung ging gegen den Kontinent. Das Alter der Faltung dürfte im wesentlichen jungpaläozoisch bis altmesozoisch sein. Später aber sind weitere Bewegungen hinzugekommen, nämlich erstens bogenförmige Brüche, an denen die äussern Staffeln und Schollen tiefer gesunken sind, und zweitens, nach langer Zeit der Abtragung und Ablagerung altkretazischer Schichten in Antiklinal- und Synklinaltalungen (Uitenhageschichten, marines Neocom; Enonkonglomerat, festländisches Äquivalent der vorigen) erneute schwache Zusammenfaltung und Störung auch der Kreideschichten.

Die schönsten Profile durch die Kapketten lernten wir im Hexrivertal und in der Kluse des Gamkarivers in den Zwar-

bergen kennen. Die Reise führte uns in das noch innerhalb der Kapketten gelegene Becken der Kleinen Karroo, dann durch die pittoresken Ketten der Hexriverberge hindurch auf die schon 900 Meter höher gelegene Abtragungsfläche der Grossen Karroo hinauf. Dort steht man schon am Nordrande der Käpidenfaltung, die gegen die Grosse Karroo langsam ausklingt. Die Schichten des Kapsystems verschwinden nordwärts unter jüngern Schichten, die sich vollkommen konkordant darüber einstellen. Das ist das System der Karrooschichten, die, soweit sie in die Käpiden eingreifen, mitgefaltet sind. Es ist ein Schichtkomplex von zusammen bis zu 4500 Meter Mächtigkeit. An der Basis liegen die durch ihre weitverbreiteten Moränen charakterisierten berühmten Dwykaschichten (oberes Karbon bis event. unteres Perm), es folgen die Ecca- und Unteren Beaufortschichten (Perm), die mittleren und oberen Beaufort- und die Stormbergschichten, welche Trias und Lias umfassen. Während die Karrooschichten in und über den Falten der Kapketten bis auf Reste der Dwyka abgetragen sind, das Gebirge also seiner hüllenden Schichten beraubt ist, erscheinen diese Karrooschichten landeinwärts auf riesigen Flächen in immer vollständigerer Erhaltung. Aus ihnen formt sich im Süden und Südosten des Hochlandes die das Küstenland (zu dem auch die Kapketten gehören) vom eigentlichen Kontinent scheidende mächtige Landstufe, die unter dem Namen Great Escarpment oder Rogers Stufe (KRENKEL) bekannt ist. Am Nordrand der Grossen Karroo erhebt sie sich in der klaren Luft der Halbwüste, schon aus grosser Entfernung sichtbar, tausend Meter über diese Fläche und erreicht Höhen von 1800—1900 Meter. Erst wenn man diese Landstufe überwunden hat, betritt man das Innere des eigentlichen Südafrika, die wenig gegliederte, riesige Fläche des Hochfeldes.

Durch das Aussetzen der Schichten des Kapsystems kommen landeinwärts die Karrooschichten direkt auf ältere Komplexe zu ruhen, sei es direkt auf den archaischen Sockel, sei es auf zwischen geschaltete Formationskomplexe (Sedimente oder Eruptiv-Laven) präkambrischen Alters zu liegen. Die „Präkarroo-Fläche“ ist eine Abtragungsfläche grossen Stils. Auf ihr breiten sich oft unmittelbar die Grundmoränen der Dwykavergletscherung aus, deren Spuren vom Kapgebiet bis über Johannesburg hinaus reichen. Besteht der Untergrund aus festem Gestein, wie z. B. den Diabasen

des Ventersdorpsystems, so konnten ausgezeichnete Gletscherschliffflächen erhalten bleiben. Die berühmteste Stelle dieser Art bei Nooitgedacht westlich Kimberley wurde von den Kongressbesuchern allgemein bewundert und als ein Naturdenkmal ersten Ranges dem Schutze empfohlen.

Die Karrooschichten enthalten aber noch weitere Besonderheiten von hohem Interesse.

Nach Schluss der Vereisung in der Eccazeit (Perm) bildeten sich die grossen Kohlelager Südafrikas (Witbank in Transvaal, in Natal, bei Wankie in Süd-Rhodesia). Die nachfolgenden Beaufortschichten sind frei von Kohlen, haben daher für die Praxis kaum Bedeutung. Sie sind aber für die Paläontologie von um so grösserem Interesse, da in ihnen eine reiche Fauna hochinteressanter Amphibien und Reptilien überliefert ist. Schon im Perm begann die Austrocknung des Landes. Vorkommen und Art dieser Tiere, sowie der Charakter der Sedimente deuten auf Trockenklima und wüstenartigen Charakter des Landes in jener Zeit. Und schliesslich ist noch als wichtiges Phänomen der Karoozeit der noch weit über Südafrika hinaus verbreitete Vulkanismus zu erwähnen. Ungezählte intrusive, flache Lagergänge, schiefe und steile Gänge von Dolerit, zum Teil auch von Gabbro, drangen in die Schichten nachträglich ein und durchsetzten namentlich die Beaufortschichten in einem dichten Netzwerk. Oberflächlich breiteten sich diese Laven als Basaltdecken von enormem Ausmass im wesentlichen in der Stormbergzeit aus (Wende Trias-Jura), so die Basalte des Basutolandes mit dem Mont aux Sources, den Basalten usw. des Lebombo in Portugiesisch-Ostafrika, dem Batoka-Basalt bei den Viktoriafällen am Zambesi. Mit diesem Karoo-Vulkanismus ist nur eine unbedeutende Erzbildung verbunden gewesen.

Verlassen wir nun diese Deckschichten der Karoo und steigen wir in die ältesten Teile des Sockels hinab und verfolgen wir dann die erdgeschichtliche Entwicklung von dort aus.

Der Blick auf die geologische Karte zeigt, dass die archäischen Massen des Untergrundes am besten in Südwestafrika, in Süd-Rhodesia und im Swaziland aufgeschlossen sind. Eine verwirrende Fülle von Gesteinen tritt uns da entgegen. Vor allem imponieren grosse granitische und basische Intrusivmassen, zwischen denen hindurch sich Gneise, sedimentäre Schiefer verschiedener Art, zum

Teil hochmetamorph, und vulkanische Tuffgesteine ziehen. Stratigraphisch lassen sich diese Sedimentgesteinszüge in Systeme gliedern, die unter sich zum Teil durch Diskordanzen getrennt sind und unter sehr verschiedenen Namen laufen (Rhodesische Schiefer, Swaziland-System, Pongola-, Moodie-, Kraaipan- usw. Schichten).

Ihre gegenseitigen Altersbeziehungen sind noch nicht völlig geklärt, sicher ist aber, dass sie zum grössten Teil archäischen Alters, zum Teil auch frühlagonisch sind. Auffallend ist in ihnen die Armut an Kalkgesteinen, das Überwiegen von Sand- und Tongesteinen und die Häufigkeit des sogenannten Banded Ironstone (gebänderter Toneisenstein oder Eisenkiesel). Von besonderem Interesse sind Einschaltungen von echten Konglomeraten, wie wir sie am Sebakwe Poort bei Que-Que in Süd-Rhodesia zu sehen bekamen. Manchmal sind die Tiefengesteine jünger als die Schiefer und durchbrechen sie unter Metamorphose, manchmal erweisen sie sich aber auch als älter. Stets ist die Lagerung der alten Gesteinszüge gestört. Vorherrschend ist eine SW-NE Streichrichtung und eine entsprechende Anordnung der Granitdome. Es ist der Rumpf eines alten, wohl nicht einheitlichen Gebirges der Palaeafrikiden (KRENKEL). Obwohl dieses Gebirge weder als zeitliche Bildung noch räumlich einheitlich ist, müssen wir vorerst diese alten Gesteine in einer Gruppe beisammen lassen.

In Zusammenhang mit diesen alten Eruptivgesteinen (Gruppe der alten Granite, Olivinfelse, Serpentine usw.) stehen eine Reihe von sehr bedeutenden nutzbaren Lagerstätten, namentlich in Süd-Rhodesien. In Verbindung mit den ultrabasischen Massen, die als Olivinfelse (Dunite) erstarrten, in der Folge aber in Serpentin und Talkgesteine umgewandelt wurden, wohl zum Teil unter Einwirkung der nachmals eindringenden Granite, dann aber auch durch die Agenzien der Oberfläche, finden sich als Typus der sogenannten liquidmagmatischen Ausscheidungen, d. h. durch Erstarrung aus dem Magma entstandenen Erzlagerstätten, die grossen Vorkommnisse von Chromit bei Selukwe in Süd-Rhodesia, das 60 % der Weltchromproduktion liefert und zurzeit die grösste Chromerzlagerstätte der Erde darstellt. Als Produkt hydrothermaler Zersetzung stellen sich reiche Asbestlagerstätten ein. Shabani lieferte 1908—1928 278,000 t Asbest im Werte von £ 7,200,000. Eng an die Granite schliessen sich die berühmten rhodesischen Golderzgänge an. Es sind Quarzgänge, imprä-

nierte Ruscheln und Gangzonen in der Randregion der Granite und in den Nebengesteinen, mit Freigold und goldhaltigen Sulfiden von hydrothermaler Entstehung. Die grösste Mine dieser Art ist zurzeit die Cam- und Motor-Mine in Süd-Rhodesia. Die Zahl dieser Gänge ist aber sehr gross, und ungezählt sind die Stellen, wo nachweisbar schon in alter Zeit Bergbau getrieben worden ist.

Die Periode der alten, im wesentlichen archaischen Granite ist somit die Zeit der ersten bedeutenden Mineralisation. Magmatische Typen, hydrothermale Gänge usw. sind bekannt, es fehlt aber auch nicht an Beispielen sedimentärer Erze aus diesen alten Zeiten. Dahin wären zu rechnen die gebänderten Eisensteine und, nach neueren Ansichten, die bedeutenden Kupfererzlagerstätten Nord-Rhodesiens und wohl auch der Katanga. Es muss in diesen alten Massen ferner primäre Vorkommen von Diamant und Platin gegeben haben, die aber zurzeit noch nicht bekannt geworden sind. So findet man neben Gold in den Konglomeraten des Witwatersrandes Platinmetalle (Osmiridium) und sehr selten auch Diamant. Letzterer wird auch in Sanden der Karrooformationen bei Somabula in Süd-Rhodesien ausgebeutet. Aber in weit bedeutenderem Masse wurde aus den alten Metallkonzentrationen Gold entnommen, das in die späteren Sedimente gelangte, so vor allem das Gold der Konglomerate am Witwatersrand.

Der Witwatersrand, kurz Rand genannte Höhenzug, bildet die Ost-West verlaufende, gegen 1900 Meter hohe Wasserscheide zwischen Vaal und Limpopo. Er besteht aus südwärts einfallenden, 8000 Meter mächtigen Schichtfolgen von Quarziten mit eingeschalteten Konglomeraten, Tonen und Toneisensteinen ohne eine Spur von Kalk. Intensive tiefgründige Verwitterung muss dieser Aufschüttung von Sedimenten, die in einem weiten Trog erfolgt ist, vorangegangen sein. Weitaus überwiegend ist unter den Komponenten reiner Quarz, kein einziges Fragment eines andern intakten Gesteins ist darin mehr enthalten, es sind nur Quarz, Ton und Eiseoxyde nebst einer Reihe besonders widerstandsfähiger Kleinmineralien übriggeblieben, unter denen auffällenderweise der Granat fehlt. Mit den Sedimenten gleichzeitig ist aber neben dem seltenen Diamant und den Platinmetallen vor allem das Gold zum Absatz gelangt. Es findet sich stets nur im Bindestoff der Konglomerate, und zwar vorzugsweise nur in einigen

wenigen bestimmten Horizonten, von denen der Main Reef Leader der wichtigste ist. Die Schicht misst nur 0,5—1,8 Meter Mächtigkeit. Sie ist dort am reichsten, wo das Konglomerat am grössten ist. Das Gold tritt stets als eine feine, von Auge in der Regel nicht sichtbare Beimengung in Pyrit auf. Oft ist dort, wo viel Pyrit vorhanden ist, wenig Gold zu finden und umgekehrt. Gehalt und Mächtigkeit der goldführenden Konglomeratbänke schwanken beträchtlich, im Mittel wird jetzt mit Erzen von 10 g Au p. t. gearbeitet. Phänomenal ist das Aushalten der goldführenden Schichten im Streichen und Fallen. Das Ausgehende der Schicht am Tage ist am Rand auf über 180 km Erstreckung nachgewiesen worden. Die Minenkette des Randes greift mit ihren mächtigen weissen Sandhalden in dichtgeschlossenem Zuge über 100 km weit von Westen gegen Osten. In ihrer Mitte liegt, auf den Schichtköpfen der goldführenden Formationen stehend, die Stadt Johannesburg, die seit 1885 aus dem Nichts zu einer Großstadt von 300,000 Einwohnern angewachsen ist. Aber auch nach der Tiefe ist die Erzführung von erstaunlicher Konstanz. Die Village Deep Mine hat das Erzlager bis zu 2300 Meter Tiefe unter der Oberfläche verfolgt, und es wird in dieser Tiefe, der tiefsten Mine der Erde, zurzeit abgebaut. In kaum einer halben Stunde gelangt man von 1700 Meter über Meer auf 600 Meter unter Meer, dem schräg zur Tiefe fallenden Erzband entlang fahrend. Diese Konstanz der Erzführung, diese Niveaubeständigkeit, ist zunächst der Hauptfaktor für die Bedeutung von Johannesburg, aber nicht der einzige. Dazu kommen die billigen Arbeitskräfte der Schwarzen und der wichtige Umstand, dass die geothermische Tiefenstufe zirka 120 Meter beträgt, die Temperatur also mit der Tiefe viermal langsamer zunimmt als in normalen Verhältnissen.

Über die Genesis der Lagerstätte des Randes herrscht bis zum heutigen Tag keine völlige Übereinstimmung der Ansichten. Es scheint mir aber, wie den meisten Kongressbesuchern, unzweifelhaft, dass es sich um eine im Prinzip syngenetische Bildung handelt, dass auch das Sulfid und Gold während oder kurz nach Bildung der Konglomerate zum Absatz gelangt ist, wobei allerdings nachträglich beträchtliche Änderungen in der Struktur, aber keine wesentlichen Wanderungen der Metalle mehr eingetreten sein mögen. Gegen eine spätere Zufuhr des Erzes in Form von Lösungen spricht vor allem die ausserordentliche Niveaubeständig-

keit der Erzführung, die Beschränkung der Goldführung auf gewisse Horizonte von ursprünglich grossem Porenvolumen, wobei aber nicht alle gleichartigen Konglomeratbänke goldhaltig sind, ja nur ein ganz kleiner Teil, wenn man die ganze Schichtreihe im Auge hat. Die Ablagerung mochte in einem sinkenden Schwemmland erfolgt sein. Für Absatz in Seen von einiger Tiefe oder im Meer fehlen alle Beweise, trotzdem wird von vielen Autoren daran gedacht. Das Material stammte, wie die Verteilung und Mächtigkeit der Schichten zeigt, von Norden, und wir gehen nicht fehl, wenn wir die Heimat des Goldes, wie schon bemerkt wurde, in den primären Goldreserven vom Typus der alten rhodesischen Lagerstätten vermuten.

Heute produziert der Rand über die Hälfte der Weltgoldausbeute. Bis 1928 wurden zirka 30 Millionen Tonnen Gestein verarbeitet und zirka 305 Tonnen Gold gewonnen. Dazu kommt noch die wichtige Produktion von Osmiridium.

Südlich und östlich von Johannesburg erheben sich die Schichten des Witwatersrandsystems aus der tiefen Einmuldung wieder empor, und rund 80 km von Johannesburg entfernt sind die Konglomerathorizonte, wenn auch meist nur mit geringen Goldmengen, noch nachweisbar. Die Vorräte an Gold gehen also noch weit unter die heute erreichten Tiefen hinab gegen Süden.

Eine Besonderheit im System des Witwatersrandes ist eine in der Nähe von Heidelberg auftretende, von ROGERS entdeckte Tilliteinlagerung. Gekritzte Geschiebe liegen in einer sandig-glimmerigen Masse. Aussehen und fazieller Charakter stimmen genau mit den jüngern Dwykatilliten überein. Es besteht für mich kein Zweifel, dass es sich hier um echte Glazialablagerungen handelt und die Deutung der südafrikanischen Autoren entschieden richtig ist. Dies waren die ältesten Moränen, die wir zu sehen bekamen.

Das Alter des Witwatersrandsystems lässt sich nur relativ angeben. Es dürfte in das Jungalgonkium einzureihen sein und hat wahrscheinlich in Südwestafrika Äquivalente von anderer Facies. Es überlagert diskordant die alte nacharchäische Abtragungsfläche mit ihren Graniten und Gneisen und wird selbst diskordant überlagert nicht nur von den Karrooschichten, sondern auch schon von einem viel ältern mächtigen Schichtsystem, der Transvaal-Nama-Formation jungalgonkischen Alters. Vor deren Ablage-

rung ist es zur Einmuldung des Randsystems gekommen und zu beträchtlichen tektonischen Störungen; in diese Zwischenzeit fällt ferner der Ausbruch von ungeheuren Massen einer Diabas lava (Ventersdorp-System), der, von Quarziten begleitet, sich zeitlich unmittelbar an das Witwatersrandsystem anschliesst. Dieser Diabas bezeichnet das Ende einer grossen Senkungszeit, ganz ähnlich wie die Karroo-Dolerite und Basalte das Ende der Karroosenkung markieren. Auch die Ventersdorp-Diabase lieferten ganz wenig Erze und bedeuten keine Mineralisationsepoke.

Transvaal- und Nama-System haben sich als gleichaltrig erwiesen. In ihm sind in Südwestafrika die ältesten problematischen Fossilien gefunden worden. Es ist nicht unmöglich, dass dieses System ins Kambrium hinaufreicht, wahrscheinlicher aber ist es präkambrisches Alters. Auf jeden Fall ist es älter als das Kap-system, das im Innern Südafrikas wahrscheinlich durch den kontinentalen roten Sandstein des Waterberges vertreten wird. Dieses Transvaalsystem ist in Südafrika und Rhodesien sehr weit verbreitet. Es ist in der Regel dreigeteilt und zerfällt in Black Reef (vorwiegend Quarzite), Dolomitserie und Pretoriaserie (Tone mit zwischengeschalteten mächtigen Quarzitzügen, Mandelsteinlava und einem auch in Südwest verbreiteten Tillitband). Von Bedeutung für die Technik sind die in der Pretoriaserie eingeschalteten Eisen-erze hämatitischer, z. T. oolithischer Art, wahrscheinlich mariner Entstehung. Unzweifelhaft mariner Abkunft ist der Dolomit. Diese Periode zeigt das Bild einer raschen allgemeinen Senkung. Die Zeit der Dolomitserie bedeutet die erste sichere allgemeine und gleichzeitige, und meist auch die letzte sichere Inundation Südafrikas. Im nördlichen Transvaal dauerte die Senkung noch an, während im Westen Faltungen einsetzten (Namaiden oder Neoafridiiden). Es kam zum Aufstieg einer riesigen Magmamasse, die als Tiefengestein erstarrte und in ihrer heutigen Erhaltung etwa das Areal der ganzen Schweiz einnimmt. Das ist der berühmte Buschfeldkomplex. Er besteht in seiner unteren Hälfte aus basischen Gesteinen, vorwiegend Norit und Pyroxenit und ultrabasischen Gesteinen. Noch tiefer ist er in Form von Lagergängen mit den Pretoriashichten verfingert. Auch mitten in der Tiefengesteinsmasse drin haben sich noch lange Züge von Quarziten und andern Sedimenten der Pretoriaserie erhalten. Über dem Norit stellt sich als jüngere Bildung der rote Buschfeldgranit ein, der

schliesslich mit Granophyr und Porphyren abschliesst. Die ganze Masse ist so ruhig und ungestört gelagert, wie nur denkbar, und füllt eine grosse Mulde aus, deren längere Axe West—Ost streicht. Von allen Seiten fallen die Schichten flacher oder steiler unter den Komplex ein und völlig konkordant liegt, den Kern der Mulde einnehmend, dieser Tiefengesteinskomplex obenauf. Vor allem bemerkenswert ist, dass seine bis ins einzelne gehende Bänderung genau der Schichtlage entspricht, d. h. er ist der vollständige räumliche Ersatz der obern Pretoriaserie. Sein Eindringen hat die Schichtlage kaum nennenswert verändert. Von einem Heben des Daches, von in Granit schwimmenden Schollen u. dgl. kann nicht die Rede sein. So ruhig wie nur möglich hat das Magma die Sedimente ersetzt und ihren Platz durch Einschmelzung eingenommen, ohne sich etwa im einzelnen durch den Chemismus der verzehrten Sedimente beeinflussen zu lassen. Immerhin ist auffallend, dass die Quarzite der Einschmelzung am meisten widerstanden haben und z. B. an der Grenze Norit-Granit weit verbreitet sind. Unzweifelhaft ist der Granit in seiner Erstarrung jünger als der Norit und ist vielleicht als ganze Masse erst nachträglich aus der Tiefe aufgestiegen. Im ganzen aber zeigt die Aufeinanderfolge der Gesteine die Differentiation eines einst einheitlichen Magmas, wobei im einzelnen scharfe Untersonderungen vorgekommen sind. So sind in der ultrabasischen Zone weithin streichende Bänder von Chromit ausgeschieden worden, ferner von Magnetit. In diese Zone fallen auch die olivinführenden Poryxenitbänder mit nickelhaltigen Sulfiden und Platin (sogenannter Merensky-Horizont). Dicht daneben haben sich als lokal sauerste Fraktionen schneeweisse Bänder von Labradorfels (Anorthosit) ausgeschieden. In welch ungestörter Ruhe sich diese Differentiationsvorgänge abgespielt haben müssen, geht daraus hervor, dass diese Bänderung auf der ganzen über 150 km langen Süd- und Ostseite des Buschfeldkomplexes in gleicher Weise anhält. Sie gestattet, eine eigentliche Stratigraphie in diesen geschichteten magmatischen Gesteinen durchzuführen.

Bei diesen Differentiationsausscheidungen hat jedenfalls die Schwerkraft (gravitatorische Selektion) eine sehr grosse Rolle gespielt. Meines Erachtens muss die Einmuldung des ganzen Komplexes im wesentlichen nach der Intrusion und die Erstarrung unter geringer Überlagerung erfolgt sein. Mit der Auskristallisation des Granites (nach NIGGLI besser als Quarzyenit zu bezeichnen)

kam es in dessen Randregionen zur Bildung pneumatolytischer Zinnerzlagerstätten (Zaaiplaats).

Die Buschfeldmasse repräsentiert den Typus der „jüngeren Granite“ Südafrikas. Sie ist in ihrer Art zwar nicht ganz einzig auf der Erde, übertrifft aber an Dimension und Grosszügigkeit des Baues ihr Pendant, die Masse von Sudbury in Kanada um ein Vielfaches. Mit diesem Magmataufstieg war die zweite grosse Mineralisation in Südafrika erfolgt. Sie lieferte als magmatische Ausscheidungen unter diesen besondern Umständen die Platinlagerstätten, Chromit und Magnetit, als postmagmatische Bildungen die Zinnerzgänge und Imprägnationen und möglicherweise auch gewisse Golderzlagerstätten in Osttransvaal.

Bedeutend später als der Granit, mit ihm aber petrochemisch verwandt, traten Magmen aus von der Zusammensetzung der Alkali-syenite des Buschfeldes und des südlichen Transvaal. Sie treten in Form von lang hinstreichenden Gangzügen und einzelnen Ppropfen (Pilandsberg) auf.

Es ist schwer zu sagen, was die Magmen veranlasst habe, ihren Sitz zu verlagern und nach oben zu steigen. Tektonische Pressungen waren im Buschfeld in keinem Falle schuld. Allgemeine, nicht aber bloss lokale Senkungen mochten wohl die Hauptursache gewesen sein, und als Folge davon Einschmelzungen und Verflüssigung in grossen Tiefen. Die lokale Einmuldung des Buschfeldes darf auf keinen Fall als Ursache angesehen werden, vielmehr erscheint sie mir als die Folge der Verlagerung des Magma nach oben und der damit verbundenen Überlastung höherer Rindenteile durch diese spezifisch sehr schweren Massen.

Im Anschluss an die Buschfeldmasse muss noch ein anderes Gebilde ähnlicher petrographischer Zusammensetzung, aber anderer Gestalt genannt werden, das in seinem Auftreten und seinen Dimensionen wiederum ein Unikum auf der Welt darstellt, das ist der Great Dyke, der grosse Gang von Norit und hochbasischen Gesteinen im östlichen Süd-Rhodesia. Geradlinig zieht er in nord-nordöstlicher Richtung als ein 500 km langes und 6—10 km breites Band wie ein scharfer Schnitt durch die Gesteine des alten Sockels. Sein Inhalt ist in der Mitte und oben Norit vom Typus des Buschfeldes, seitlich und gegen die Tiefe folgen ultrabasische Gesteine mit Chromitbändern und auch dem Platinhorizont. In muldenför-

miger sonderbarer Lagerung erfüllen diese Gesteine diese mächtige Spalte. Der rote Granit fehlt. Landschaftlich tritt der Gang meist stark zurück und ist zu Talungen herausgewittert, während die umgebende Granitlandschaft erhöhte Bänder neben diesen sonderbaren Streifen bildet. Wir querten den Gang auf der Fahrt zu den Asbestgruben von Shabani und konnten ihn bei wundervoll klarem Wetter vom Selukwe Peak aus nach Norden und Süden auf eine Gesamtlänge von über 150 km deutlich verfolgen, ein unvergesslicher Anblick. Die Verwandtschaft in der Zusammensetzung mit dem Buschfeldnorit, mit dem er zwar räumlich nicht direkt in Verbindung zu stehen scheint, berechtigt zur Annahme, dass es sich um eine gleich alte Bildung handle, d. h. dass er um die Wende des Prökambriums und Kambriums entstanden ist. Es wäre demnach ein zu einer Gangform langgezogenes Buschfeld, eine Spaltenausfüllung mit Tiefengesteinscharakter von hochbasischem Chemismus, wiederum ein Produkt ganz langsamer, ruhiger Differenziation und Erstarrung.

Die Folgezeit war durch überwiegende Abtragungen ausgezeichnet und Auflagerung von festländischen Schichten vom Alter des Kap- und Karroo-Systems, d. h. der paläozoischen und mesozoischen Ära. Die endgültige Heraushebung des Kontinentes erfolgte wohl erst von der Kreide an. In dieser ganzen ungeheuren Zeit passierte in Südafrika geologisch sehr wenig. Die Karrooschichten setzten sich in ungleicher Mächtigkeit ab, Abtragung nahm sie zum Teil wieder weg, wie auch ältere Schichten, und uraltes Relief wurde wieder ausgegraben. So liegt Pretoria in exhumierten Längstälern der Präkarroofläche, Johannesburg sogar in einem Längstal algonkischen Alters. Trockenes Klima, zum Teil sogar eigentliches Wüstenklima und Küstenferne haben zu dieser Konstanz und Erhaltung der Formen geführt, vor allem aber auch die tektonische Ruhe.

Aber noch einmal, es mochte in der Zeit der oberen Kreide gewesen sein, regte sich der Vulkanismus der Tiefe, nochmals wurde Südafrika von einem Vorgang von beispielloser Grosszügigkeit und Weiträumigkeit erfasst: das war der Durchbruch der vulkanischen Schlote vom Typus der Kimberlit-Pipes. An Hunderten von Stellen wurde der kontinentale Klotz und seine auflagernden Schichten bis und mit den Karrooschichten wohl nahezu gleichzeitig von diesen vulkanischen Röhren durchschlagen in einem

Areal, das nicht nur ganz Südafrika umfasst, sondern sich weit nach Norden von der Kapprovinz bis Mwanza am Viktoriasee über 30 Breitengrade erstreckt und von der Westküste bis nahe an die Ostküste reicht. Es ist eine der grössten einheitlichen vulkanischen Provinzen der Erde. Ihre Entstehung bedeutet die dritte und letzte Epoche der Mineralisation Südafrikas und lieferte die primären Lagerstätten des Diamanten.

Diese Schlotte treten einzeln oder gruppenweise auf und sind nach Füllung und Form Individuen. Nirgends sind sie äusserlich als Krater mehr erkennbar. Ihre Oberflächengestalt ist verwischt und oft ist, wie bei Kimberley, an ihrem Ausgang seit ihrer Bildung eine beträchtliche Abtragung erfolgt. Nur durch Zufall hat man sie gefunden. Wie viele mögen noch unter den riesigen Flächen der Kalaharisande verborgen sein! Der Durchmesser beträgt 30 bis 600 Meter. Sie steigen nahezu senkrecht oder schwach gekrümmt aus unbekannten Tiefen vielleicht 80—100 km tief herauf. Auch bei Kimberley, wo man sie bis zu 1000 Meter unter Tage abgebaut hat, kann man noch keine Veränderung ihres Charakters in der Tiefe erkennen. Sie durchschlagen jedes beliebige Nebengestein und werden von dessen Charakter in keiner Weise beeinflusst. Ihre Füllung besteht in der Hauptsache aus einer eruptiven Breccie, dem sogenannten Blue Ground, in dem verschiedene Bestandteile enthalten sind: 1. primäres Erstarrungsmaterial, in kompakteren Massen Kimberlit genannt, ein ultrabasisches, olivinreiches, mit Basalt verwandtes Gestein. 2. zu Serpentin usw. zersetzte Kimberlibreccie. 3. Einschlüsse von Gesteinen aus grosser Tiefe (Eclogite, Pyroxenfels, Glimmerfels), die beim Transport aus der Tiefe und den heftigen Bewegungen in den Schloten zu rundlichen Kugeln abgerollt worden sind. 4. Einschlüsse von Gesteinen der Wände und der Oberfläche, die oft Hunderte von Metern in die Tiefe gelangt sind (Karroosandstein, Ecca-Kohle, Transvaaldolomit in Menge, ja mächtige Schollen von Sandstein, z. B. Waterbergsandstein). — Die Struktur der ganzen Masse zeigt alle Spuren einer höchst gewaltsamen Bewegung, in welcher die Massen von oben und von unten in wildem Wirbel gemengt worden sind. Die Wände der Röhren wurden dabei glatt gescheuert. In dieser Masse drin, im Kimberlit und Blue Ground im allgemeinen, liegen die Diamanten. Sie sind von Pipe zu Pipe sehr verschieden nach Farbe, Form und Häufigkeit. Viele Schlotte enthalten überhaupt keine.

Bei Kimberley zeigen die meisten Diamanten Kristallform, bei Pretoria in der Premier Mine sind zerschmetterte Splitter häufig. Man ist allgemein zur Überzeugung gekommen, dass sich der Diamant in grosser Tiefe unter Einwirkung dieser vulkanischen Explosionskräfte gebildet hat, und dann mit den Materialien der Tiefe heraufgeschleudert und dabei oft zertrümmert worden ist. Zur grossen Seltenheit hat man Diamant in Eclogit gefunden, nie aber in Einschlüssen von jüngern Gesteinen. Der Diamant ist ein Bestandteil des Blue Ground und mit diesem gleichzeitig entstanden, und nicht von dem Kohlenstoff der Kalke und der zufällig hineingeratenen Kohlen abzuleiten.

Neben der Besichtigung der Minen selbst gab uns einen vollständigen Einblick in die Zusammensetzung der Pipe-Ausfüllungen eine grosse, im freien Feld aufgestellte Sammlung, die für den Kongress vom General Manager der De Beers Company W. A. WILLIAMS und Dr. A. Dutoit in Kimberley bereitgelegt worden ist.

Um Kimberley befinden sich sechs Schlotte, von denen drei im Abbau waren. Der Diamant ist von Auge nur als allergrösste Seltenheit zu sehen. Seine Häufigkeit ist zu gering. Der Kubikmeter gebrochener Blue Ground enthält in Kimberley durchschnittlich 0,1 g (== 0,5 Karat), auf die Tonne festen Gesteins fallen danach etwa 0,04—0,05 g Diamant. 1926/27 wurden dort 1,133,352 Karat = 226,670 g im Gesamtwert von etwa 104 Millionen Franken produziert, was einen Durchschnittswert von £ 3.16 oder Fr. 95 pro Karat entsprach.

Nicht weniger interessant als Kimberley ist die Premier Mine östlich von Pretoria. Sie ist die grösste bekannte Pipe, eigentlich eine Doppelpipe, die sich an einem mächtigen Sandstein einschluss, der von oben eingesunken war, gespalten hatte. Ihr grösster Durchmesser misst 870 m, ihr kleinster 500 m. Seit der Entdeckung im Jahre 1903 wurden in 25 Jahren bis zu einer Tiefe von 150—160 m rund 100 Millionen Tonnen Gestein im Tagbau herausgenommen und verarbeitet. Auch hier kommen auf die Tonne Gestein nur 0,05 g Diamant. Per Jahr mögen zirka 3500 Karat (zu 0,2 g) zum Vorschein kommen. Hier wurde der grösste Diamant Südafrikas, ein Bruchstück eines grossen Oktaeders, der sogenannte Cullinan mit 3025 $\frac{1}{4}$  Karat, gefunden. Besonders wertvoll sind die blauweissen Steine. Bemerkenswert ist, dass 60 % des Reingewinns dem Staate zufliest, die Grube also überwiegend staatlich ist. In

diesem mächtigen Tagbau, der auf alle Beschauer einen unauslöschlichen Eindruck machte, arbeiteten 5000 Mann, darunter zirka  $\frac{1}{10}$  Weisse, in zwei Schichten. Die Grube ist 160 m tief, mit vertikalen standfesten Wänden. Sie kann auf diese Weise noch weitere 100 m abgeteuft werden.

Von diesen primären Lagerstätten aus und von vielen, die man noch nicht kennt, gelangte der Diamant in die Flussande des Vaal und Oranje, wo er zuerst 1866 gefunden worden ist. Die Pipes entdeckte man zuerst bei Kimberley 1871. Erst 1908 fand man die ersten Diamanten in den Dünensanden des damals deutschen Südwestafrika, wo seither namentlich in der Gegend der Oranjerimündung in der Küstenwüste immer reichere Funde gemacht worden sind, die sich auf eine Strecke von 430 km verteilen. Sie finden sich dort ursprünglich in Konglomeraten und Küstenterrassen, zum Teil tertiären Alters, in groben Flusschottern und Dünen-sanden.

Die Pipes sind überall jünger als die Karrooschichten. Findet man Diamanten in ältern Ablagerungen (Somabula, Johannesburg), so muss deren primäre Heimat in ältern unbekannten Vorkommnissen zu suchen sein.

Mit dem Durchbruch der Kimberlitröhren schliesst der letzte grosse Akt der vulkanischen Tätigkeit und Erzlieferung Südafrikas ab. Zwar gab es auch im Innern später noch vulkanische Explosionen, die zu marartigen Bildungen führten (Saltpan nördlich Pretoria). Sie spielten weder für die Oberflächengestaltung noch sonstwie erdgeschichtlich eine Rolle.

Südafrika fehlen die grossen Verwerfungen und Grabenbrüche Ostafrikas, es fehlen ihm auch die gewaltigen jungen Vulkanbauten. Am Grabental des Nyassasees hören diese Bauformen des Ostens auf. Es ist eines der Hauptmerkmale Südafrikas, dass es sich als ungebrochene Kontinentalplatte bis in die geologische Neuzeit hinein erhalten hat.

In der Kreide- und Tertiärperiode erfolgte die allgemeine Heraushebung des Kontinents, die flache Einmuldung im Innern und die Austrocknung grosser Räume. Gleichzeitig begann auch die Bearbeitung der Randstufe durch die Flüsse. Namentlich gilt dies für die regenreichere Ostseite, wo Landschaften von jugendlich frischem Charakter mit tief eingeschnittenen Tälern und Wasserfällen entstanden sind. Dort liegen auch die am höchsten gehobenen

Ränder des Kontinents mit Höhen über 3000 m und imposanten Abstürzen gegen Osten.

Am weitesten landeinwärts gedrängt erscheint die Hauptstufe in der weiten Talung des Zambesi. Schon nahe dem Rande der Kalahariwüste stürzen seine Wasser in den Viktoriafälle 120 m tief über die Flühe des zu den Karrooeruptiven gehörenden Batokobasaltes und bilden ein Naturschauspiel von überwältigender Schönheit.

Viel weniger zerschnitten und ganz anders geartet ist der Weststrand, auf dem das extreme Wüstenklima der Namib lastet. Nur die grössten Gewässer erreichen die Küste, alle andern trocknen unterwegs ein, kommen nur als temporäre Wildwässer ein Stück weit und verlieren sich als Grundwasseradern in den Anschwemmungen und Sanden der Täler. Uralte Landformen haben sich dort auch in der Küstenregion noch erhalten.

Blicken wir zurück: Die erdgeschichtliche Vergangenheit Südafrikas ist durch drei grosse Epochen der Mineralisation und primären Erzentstehung gekennzeichnet: die Zeit der alten Granite und andern Tiefengesteine, die auch die Epoche der ältesten und intensivsten Faltungen war (Paläafrikiden), sodann an der Wende von Präkambrium und Paläozoikum die Epoche der jüngern Granite und Tiefengesteine (Nama- resp. Postnamagranite, Buschfeldmasse, Great Dyke), die sich an die in Westafrika auswirkende Namafaltung (Neoafrikiden) anschliesst, sodann zuletzt die in die Kreidezeit fallende Eruption der Kimberlitschlote mit den Diamanten. Ohne Bedeutung für die Erzbringung waren die Ergüsse ungeheurer Mengen basischer Laven am Schluss von Perioden der Senkung und Sedimentanhäufung: die Ventersdorpdiabase am Schlusse der Witwatersrandperiode im Präkambrium, die Basalte des Karroovulkanismus im älteren Mesozoikum.

Allen diesen Erscheinungen ist ein sehr grosser Maßstab eigen. Südafrika wird in allen seinen Bauformen, wie auch im Verlauf seiner geologischen Ereignisse von einer erstaunlichen Weiträumigkeit beherrscht, einem Charakterzug, der ganz Afrika eigen ist und seinen Baustil massgebend bestimmt.

*Tabelle zur Stratigraphie von Südafrika*

Känozoikum	Sande, Schotter, Limonit, Oberflächenkalke und Quarzite, Dünensande	Diamant: Vaal, in Dünen-sand SW-Afrika
Tertiär	Marine Küstenablagerungen, in SW-Afrika mit Diamant — Kalaharisande z. T.	
Kreide	Marin: Umzamba (Zululand): Senon, False Bay: Cenoman, Port. Ost - Afrika: Aptien. Uitenhageschichten (Port Elizabeth): Neocom Festländisch: Enonkonglomerat (Kapgebiet), Kalaharisande ( $\pm$ äolisch), Kalahari, Rhodesia	Durchbruch der Kimberlit-schlote mit Diamanten
Lias — Trias	<i>Karroosystem</i> , festländisch 4. Stormbergschichten d) Drakensbergbasalte c) Cave Sandstein b) Redbeds a) Molteno-Sch. (Pflanzen) 3. Beaufortschichten (Reptilien) 2. Eccaschichten (kohleführend im N und E) 1. Dwykaschichten c) Obere Tone b) Tillit (Moräne) a) Untere Tone (im S)	Intrusion der Karroodolerite und Ergüsse von Basalt  Kapfaltung (1. Hauptphase)
Perm  (Carbon?)	<i>Kapsystem</i> 3. Wittebergschichten 2. Bokkeveldschichten (marin) 1. Tafelbergsandstein (mit Tilliteinlagerung)	
Altpaläozoisch oder älter	<i>Waterbergssystem</i> , Umkondo-system (Rhodesia)	Alkaligesteine, Durch-bruch in Gängen und kleinen Stöcken

Jungalgonisch bis altpaläozoisch	<p><i>Transvaal-Namasystem</i> (Lomagundi in S-Rhodesia)</p> <p>4. Rooibergserie, Quarzite, Fel-site</p> <p>3. Pretoriaserie</p> <p>c) Magaliesberg — Quarzit</p> <p>b) Daspoort — Quarzit, Eisenerzlager, Mandelstein-lava, Tillit!</p> <p>a) Time ball Hill — Quarzit etc.</p> <p>2. Dolomitserie (Campbell- rand — Dolomit, Schwarzkalk in SW-Afrika), marin</p> <p>1. Black Reef — Quarzit; Kui-bis-Quarzit in SW-Afrika</p>	<p>Intrusion der Buschfeld-masse (des Gr. Dyke in S. Rhodesia, der Erongo-granite in SW, etc.)</p> <p>Cr, Ni-Fe, Pt, Sn</p> <p>Namafaltung in SW</p>
Algonkisch	<p><i>Ventersdorp-Konkipsystem</i> Diabasmandelstein, Quarzit, wenig Kalk</p> <p><i>Witwatersrandsystem</i> (im SW: Konjas-S.)</p> <p>5. Kimberley-Elsburg-Serie (vorw. Quarzit u. Konglomerat)</p> <p>4. Main-Bird-Serie (mit Main Reef, dem Haupt-Goldhori-zont; Quarzit u. Konglomerat)</p> <p>3. Jeppestown-Serie (vorw. Tone)</p> <p>2. Government Reef-Serie (mit Tillit)</p> <p>1. Hospital Hill-Serie (vorw. Quar-zit)</p>	<p>Basische Lavaergüsse</p> <p>Goldlagerstätten von Johannesburg</p>
Altalgonkisch bis archaisch	<p>Pongola-, Barberton, Kheis-, Moodie-, Kraaipan- (u. a.) Systeme</p> <p>Swazilandsystem</p> <p>Basement Schists (S-Rhodesia) (Parallelisation noch grössten-teils unbekannt)</p>	<p>Alte Granite und basische Eruptiva</p> <p>(Au, Cr, Cu, Asbest) Allgemeine Faltung</p>

# **Les Rhizocéphales parasites des Pagures**

Par

**CHARLES PÉREZ**

Professeur de Zoologie à la Sorbonne

Directeur de la Station Biologique de Roscoff

Avec 4 figures

Mesdames, Messieurs,

Mes premiers mots doivent être de reconnaissance. En m'invitant à assister à sa Réunion annuelle et à prendre la parole en séance plénière, la Société Helvétique des Sciences Naturelles m'a fait un honneur dont je sens tout le prix et dont je la remercie du fond du cœur. J'imagine que cet honneur s'adresse moins à ma personne qu'au Laboratoire de Roscoff, où j'ai chaque année le plaisir de recevoir des biologistes suisses et à nouer avec eux des relations de bonne amitié. Aussi ai-je choisi comme sujet de ma communication les recherches que j'ai poursuivies récemment à Roscoff, en les situant par rapport aux faits antérieurement acquis.

Les Rhizocéphales constituent un groupe de Crustacés inférieurs qui vivent en parasites sur les Crustacés Décapodes. Ces animaux sont extrêmement intéressants au point de vue de la biologie générale, à la fois en raison de leur spécialisation anatomique, de la dégradation comme on dit souvent, liée à leur vie parasitaire et qui les rend à première vue méconnaissables pour des Crustacés, et en raison de la complication de leur cycle évolutif, vraiment déconcertante pour des êtres aussi élevés en organisation.

Le type classique de ce groupe est la Sacculine, parasite des Crabes. Elle se présente sous la forme d'un sac orbiculaire aplati, fixé par un pédicule sous l'abdomen du Crabe. A l'intérieur d'une enveloppe appelée manteau, toute la masse viscérale du parasite se réduit à des organes génitaux, testicules et surtout ovaires vo-

lumineux ; les œufs pondus sont incubés dans une cavité palléale, comprise entre la masse viscérale et le manteau, et qui s'ouvre à l'extérieur par un orifice cloacal diamétralement opposé au pédicule. Etant donné son point d'insertion, la Sacculine se trouve naturellement protégée par l'abdomen même de son hôte ; quand celui-ci est femelle, le parasite occupe la place où seraient pondus les œufs du Crabe ; s'il est mâle, la protection est presque la même, la Sacculine ayant pour effet de provoquer l'élargissement de l'abdomen de son hôte, en le rapprochant de la forme femelle. C'est là l'exemple même à l'occasion duquel GIARD a introduit le terme de castration parasitaire. Ce mot a eu parmi les biologistes une heureuse fortune, bien qu'il ne corresponde pas exactement à la réalité et qu'il ne réponde plus guère aux idées actuelles sur l'intersexualité.

Si l'on tire sur une Sacculine, elle cède assez facilement, en se détachant à la base d'insertion de son pédicule et laisse sous l'abdomen du Crabe un trou béant. C'est sans doute ce fait, joint à l'absence de caractères anatomiques bien nets, qui a poussé les premiers observateurs à voir dans la Sacculine une sorte d'Helminthe, suçant son hôte par une bouche située à la base du pédicule.

La véritable compréhension de la Sacculine se rattache à deux découvertes essentielles. FR. MÜLLER a montré que le sac externe n'est qu'une partie du parasite ; celui-ci se prolonge intérieurement par un chevelu extrêmement compliqué de tubes rameux, les racines, insinués entre les viscères du Crabe jusqu'aux pédoncules de ses yeux, jusqu'au bout des ongles de ses pattes, et drainant les matériaux nutritifs de son sang au profit de la masse viscérale du parasite. On comprend que le Crabe épuisé cesse de muer et de grandir et soit incapable de mûrir ses propres œufs ; ainsi s'explique la stérilité des femelles, qui n'est pas une véritable castration. Chez les mâles, où la Sacculine a moins d'influence directe sur la glande génitale elle-même, elle change la teneur du sang en graisse et la rend plus semblable à celle des femelles ; c'est cette altération du métabolisme qui se traduit dans la morphologie externe par une perversion de même sens.

L'autre découverte essentielle est celle de THOMPSON : la larve qui sort de l'œuf incubé de la Sacculine est un nauplius, fort analogue à celui des Cirripèdes. Son évolution ultérieure, en vie na-

geuse dans le plancton, conduit à une forme cypris. La Sacculine est donc un Crustacé, voisin des Cirripèdes.

La transformation de la cypris en Sacculine adulte a été longtemps une énigme pour les zoologistes. Une idée assez naturelle portait à croire que la cypris devait se fixer sous l'abdomen du Crabe et y subir sur place une métamorphose de fixation analogue à celle des Anatifes ou des Balanes. La vérité — ce serait bien le cas de dire qu'elle n'est pas toujours vraisemblable — est autrement compliquée. C'est YVES DELAGE qui l'a découverte, dans un travail célèbre dont je ne retiendrai ici que l'essentiel. La cypris se fixe n'importe où sur un jeune Crabe venant de muer, en s'accrochant par une antenne à la base d'un poil. Aussitôt elle subit une métamorphose profonde: elle s'ampute d'une façon brutale de tous les organes de sa vie nageuse: rames de ses pattes, muscles moteurs, yeux, réserves nutritives, etc. . . . Elle ne conserve qu'une petite masse cellulaire indifférenciée, groupe de blastomères qui remonte à la segmentation de l'œuf et s'est conservé sans évoluer davantage à travers tous les stades de la vie nageuse. Par des processus qu'il serait trop long d'exposer ici en détail, cette masse cellulaire est inoculée, comme par une poire à injection, à l'intérieur de l'organisme du Crabe. Elle est sans doute assez petite pour pouvoir être transportée passivement par le courant sanguin du Crabe et elle arrive finalement dans les sinus interviscéraux où le sang stagne, et où elle se fixe sur l'intestin. Nous la retrouvons alors, comme l'a montré SMITH, glissant d'avant en arrière le long de cet organe, en même temps qu'elle grandit, poussant ses premières racines et aboutissant enfin à sa place d'élection, où elle constitue la jeune Sacculine interne, que DELAGE avait déjà vue, et qui deviendra externe à l'occasion d'une mue du Crabe qui la porte.

Les Pagures ou Bernards l'Ermite sont affectés par des parasites très analogues à la Sacculine, que l'on a longtemps groupés sous l'appellation générique commune de Peltogaster. Eux aussi sont constitués par un sac externe réuni par un pédicule d'insertion à un système rameux de racines internes: celles-ci sont colorées en vert intense par un pigment particulier.

L'examen attentif des caractères anatomiques du sac viscéral a conduit DUBOSCQ à séparer les Peltogaster proprement dits, parasites des Eupagurus, des Septosaccus, parasites des Diogenes.

Mais l'étude de la ramifications des racines n'avait jamais été entreprise jusqu'ici. Je me suis attaché, par des dissections minutieuses, exécutées sous le microscope binoculaire, à enlever peu à peu tous les viscères et le tissu conjonctif du Pagure, de manière à ne laisser subsister que les racines du parasite. J'ai pu ainsi mettre en évidence une opposition complète entre les types de ramifications qui caractérisent respectivement les parasites des *Eupagurus* et les parasites des *Diogenes* (fig. 1); la coupure générique n'en apparaît que mieux justifiée.

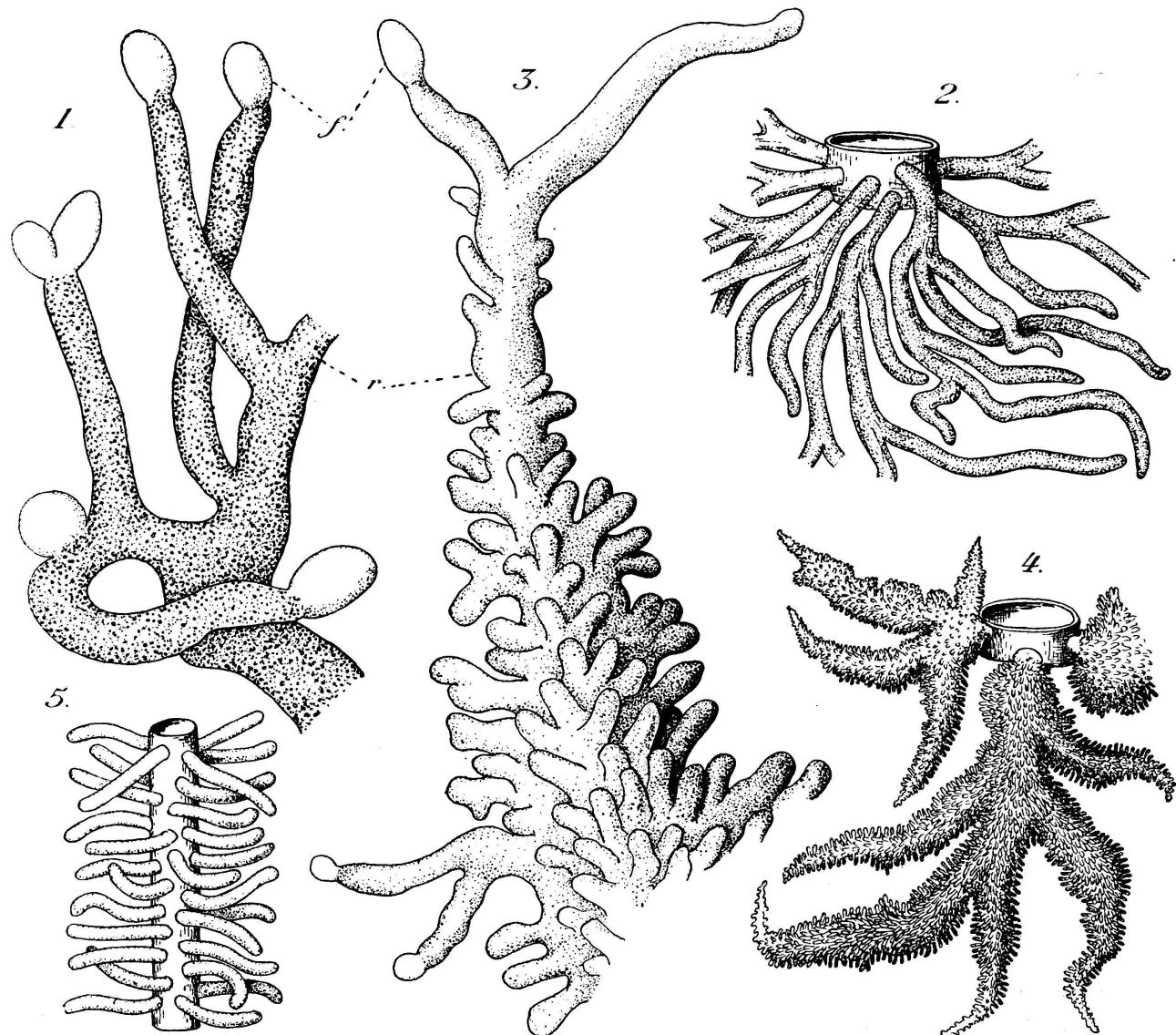


Fig. 1. Divers types de ramification des racines. — 1 = Racines thoraciques de *Peltogaster*: *r* = racines vertes; *f* = follicules incolores. — 2 = Tronçon de l'axe abdominal des racines. — 3 = Extrémité d'une racine de *Septosaccus*. — 4 = Tronçon de l'axe abdominal des racines du *Septosaccus*. — 5 = Tronçon de l'axe abdominal des racines du *Chlorogaster*.

Tous les types dont nous avons fait mention jusqu'ici Sacculines et Peltogaster, ont ceci de commun qu'une fois arrivés à l'état adulte, ils s'y maintiennent assez longtemps et produisent successivement plusieurs pontes; en effet, pendant qu'une ponte est incubée dans la cavité palléale, la masse viscérale se gonfle à nouveau, l'ovaire amenant à maturité une nouvelle poussée d'ooocytes; et à peine les nauplius ont-ils été libérés qu'en quelques heures se produit une mue du manteau, puis la ponte des œufs qui sont autofécondés. C'est seulement après un temps assez long que le parasite arrive au terme normal de son existence: après avoir libéré un dernier essaim de nauplius, le sac viscéral externe se flétrit et tombe, laissant tout d'abord sur son hôte une cicatrice béante, qui se ferme ensuite peu à peu. Le système des racines garde au contraire un certain temps encore sa vitalité et ne disparaît qu'à la longue après une dégénérescence qui ne progresse que très lentement.

Les Pagures peuvent encore être parasités par un autre type de Rhizocéphales auquel sera particulièrement relatif mon exposé d'aujourd'hui. C'est encore une forme longtemps confondue avec les espèces précédentes sous l'appellation commune de Peltogaster; mais qui mérite, comme vous allez voir, de constituer un genre spécial, et sans doute même une famille autonome. L'espèce que j'ai étudiée s'observe généralement, sur nos côtes océaniques, comme parasite de l'*Eupagurus cuanensis*; dans la Méditerranée elle s'attaque aussi à l'*Eupagurus excavatus*. Elle a été pour la première fois signalée en France par HESSE qui lui a donné le nom fort heureusement choisi de *Peltogaster tau*, signalétique de la forme en T du sac viscéral. Mais peu de mois auparavant, le Suédois LILLJEBORG l'avait rencontrée sur les côtes scandinaves et l'avait appelée *Peltogaster sulcatus*. DUBOSCQ enfin, en considération de la forme du sac et du fait que les racines sont incolores ou jaunâtres au lieu d'être vertes, a proposé de créer un genre spécial sous le nom de *Chlorogaster*. De sorte que finalement le nom régulier de l'espèce est: *Chlorogaster sulcatus* (LILLJEBORG).

J'ai fait, pour cette espèce aussi, des dissections du système radiculaire, comme celles que j'ai signalées plus haut. Elles sont ici particulièrement difficiles, aucune couleur ne distinguant les racines des viscères du Pagure. J'ai dû avoir recours à des artifices consistant à installer sur la préparation fraîche quelques

gouttes d'un fixateur, liquide de Bouin par exemple, au fur et à mesure que la dissection avance, de manière à coaguler et à rendre ainsi apparentes quelques épaisseurs de cellules. On constate ainsi que le pédicule du sac viscéral se branche en T sur un axe longitudinal des racines; celui-ci s'insinue dans l'abdomen entre les viscères et porte de toutes parts de courtes ramifications insérées à angle droit, qui lui donnent l'aspect d'un long goupillon. Vers l'avant, cet axe remonte dans le thorax en ne donnant que des ramifications grèles irrégulières et il se perd finalement dans un lacis de racines très fines, feutrées autour du début de l'intestin moyen. Cette allure toute spéciale des racines justifie à nouveau la création du genre *Chlorogaster*. Mais, de toutes les particularités des *Chlorogaster*, la plus remarquable, au point de vue de la biologie générale, est la multiplicité des sacs viscéraux que l'on observe simultanément sur un même *Pagure* infesté.

Les *Sacculines*, les *Peltogaster*, sont, en règle tout à fait générale, des parasites solitaires. Souvent même, dans beaucoup de stations, ce sont des parasites rares. La grande majorité des individus de l'espèce hôte sont indemnes; quelques-uns seulement sont parasités et on considère comme une heureuse chance de les rencontrer. A fortiori est-il exceptionnel de trouver un hôte qui porte simultanément deux parasites, encore plus rarissime d'en trouver un qui en porte trois.

Au contraire, en ce qui concerne les *Chlorogaster*, la grande majorité des individus de l'espèce hôte étant indemne, pour ceux qui sont parasités c'est l'exception de tout à l'heure qui devient la règle et la règle qui devient l'exception: il est tout à fait anormal de rencontrer un *Pagure* porteur d'un seul sac solitaire; ordinairement il y en a côté à côté 3 ou 4 ou davantage: 8, 10; ou jusqu'à 15 ou 20. A la dissection on constate que chacun d'eux a un axe radiculaire propre, avec goupillon dans l'abdomen, se ramifiant pour son compte dans le thorax et se perdant finalement dans le feutrage péri-intestinal. D'autre part, tous les sacs simultanés sont au même stade évolutif, par exemple tous en train de pondre ou tous en train d'émettre leurs nauplius à terme.

Comment expliquer cette singularité? La première idée qui se présente à l'esprit est de considérer chaque sac avec ses racines personnelles comme un individu, homologue d'un vrai *Peltogaster* et ayant eu même évolution, c'est-à-dire résultant de l'ino-

culation d'une larve cypris. La multiplicité des sacs externes implique alors une infestation multiple et leur identité de phase suggère une égalité d'âge; l'infestation multiple a dû être en plus simultanée.

Au point de vue théorique, un pareil fait n'est pas absolument impossible. Il est évident qu'un tropisme particulier (entendu comme un ensemble coordonné de réflexes) doit diriger les larves cypris vers les Pagures de l'espèce hôte. Et si l'on imagine, hypothèse assez naturelle, qu'un Pagure donné ne soit, au cours de sa vie, réceptif à l'infestation que pendant des périodes très limitées, les instants qui suivent les mues, c'est uniquement pendant une des ces périodes que les cypris attirées peut-être en essaim vers lui, réussiront à s'inoculer; après une pénétration presque simultanée elles évolueront ensuite d'une manière synchrone pour aboutir à des sacs viscéraux, réglés les uns sur les autres en correspondance de phase.

Mais si une pareille conception correspond à la vérité, il est tout de même bien singulier que ne soit pas plus souvent réalisé le cas où une seule cypris viendrait, au bon moment, s'inoculer à un Pagure et donnerait finalement un seul sac solitaire. La question peut d'ailleurs être serrée de plus près par une petite discussion mathématique.

Reprendons d'abord le cas d'un parasite normalement solitaire comme une Sacculine ou un Peltogaster. Si, dans une station donnée, le parasite infeste par un exemple 1 % des individus, on pourra s'attendre à trouver une infestation double dans 1 % de 1 % soit 1 pour 10,000, une infestation triple dans 1 pour 1,000,000 des individus. Supposons qu'ayant fait la statistique de l'infestation sur un très grand nombre d'individus pris au hasard, on en figure les résultats par rapport à deux axes de coordonnées: inscrivons sur l'axe des  $x$ , à des intervalles égaux, les nombres entiers successifs et faisons correspondre à chacun d'eux le sommet d'une ordonnée proportionnelle au nombre d'individus rencontrés porteurs d'un nombre de parasites égal à l'abcisse. Le polygone de fréquence ainsi obtenu jalonne par ses sommets une courbe dont l'allure rappelle de près l'inverse d'une exponentielle. On peut dire qu'une pareille courbe est le signe mathématique d'une infestation parasitaire où chaque cypris inoculée donne naissance à un sac viscéral adulte.

Or, confrontons maintenant avec ces considérations théoriques le résultat empirique de la statistique relative au *Chlorogaster* (fig. 2). Le polygone de fréquence jalonne par ses sommets une courbe de QUÉTELET dont le maximum correspond à l'abscisse 5. C'est-à-dire qu'à Roscoff le cas de beaucoup le plus fréquent est de rencontrer un *Pagure* portant simultanément cinq sacs de *Chlorogaster*, tandis qu'au fur et à mesure qu'on considère des individus portant un nombre de parasites plus éloignés de cinq dans un sens ou dans l'autre, le nombre de ces individus est de plus en plus petit. Une pareille courbe unimodale répond à la fluctuation d'un caractère qui obéit au hasard. La constatation de ce résultat empirique suffit à elle seule à montrer avec évidence que l'hypothèse d'une infestation multiple est inadmissible. L'infestation doit être unique, réalisée par l'inoculation d'une seule cypris ; mais elle doit être suivie d'un processus qui réalise la multiplicité des sacs externes, l'ordre de cette multiplicité étant régi par le hasard.

G. SMITH avait déjà été amené à considérer comme probable une infestation unique et il avait imaginé que la multiplicité ultérieure résultait d'un morcellement de la masse parasitaire inoculée en autant de germes individuels qu'on voit ensuite apparaître de sacs viscéraux externes. Ce serait un mécanisme analogue à celui que l'on désigne sous le nom de polyembryonie. La polyembryonie vraie consiste, comme on sait, dans la fragmentation du massif cellulaire encore indifférencié, résultant de la segmentation d'un œuf, en plusieurs massifs secondaires dont chacun est susceptible de donner ensuite un embryon puis un individu complet. Dans le cas présent, l'état indifférencié du germe inoculé par la cypris, les conditions de nutrition directe et facile que trouve ce germe dans l'organisme de son hôte, sont des circonstances analogues à celles où l'on observe la polyembryonie et qui permettent par conséquent d'envisager cette hypothèse. Il faut toutefois remarquer que ce serait une multiplication polygerminale bien singulière, en ce qu'elle succéderait non à la segmentation d'un œuf, mais à une longue existence larvaire libre sous la forme unipersonnelle déjà très différenciée d'un nauplius puis d'une cypris.

Les faits évolutifs que j'ai pu découvrir, s'ils n'excluent pas totalement la possibilité d'une multiplication multigerminale, montrent du moins qu'il n'est pas nécessaire d'avoir recours à cette hypothèse. En tête de son célèbre mémoire sur la *Sacculine*, Y. DELAGE

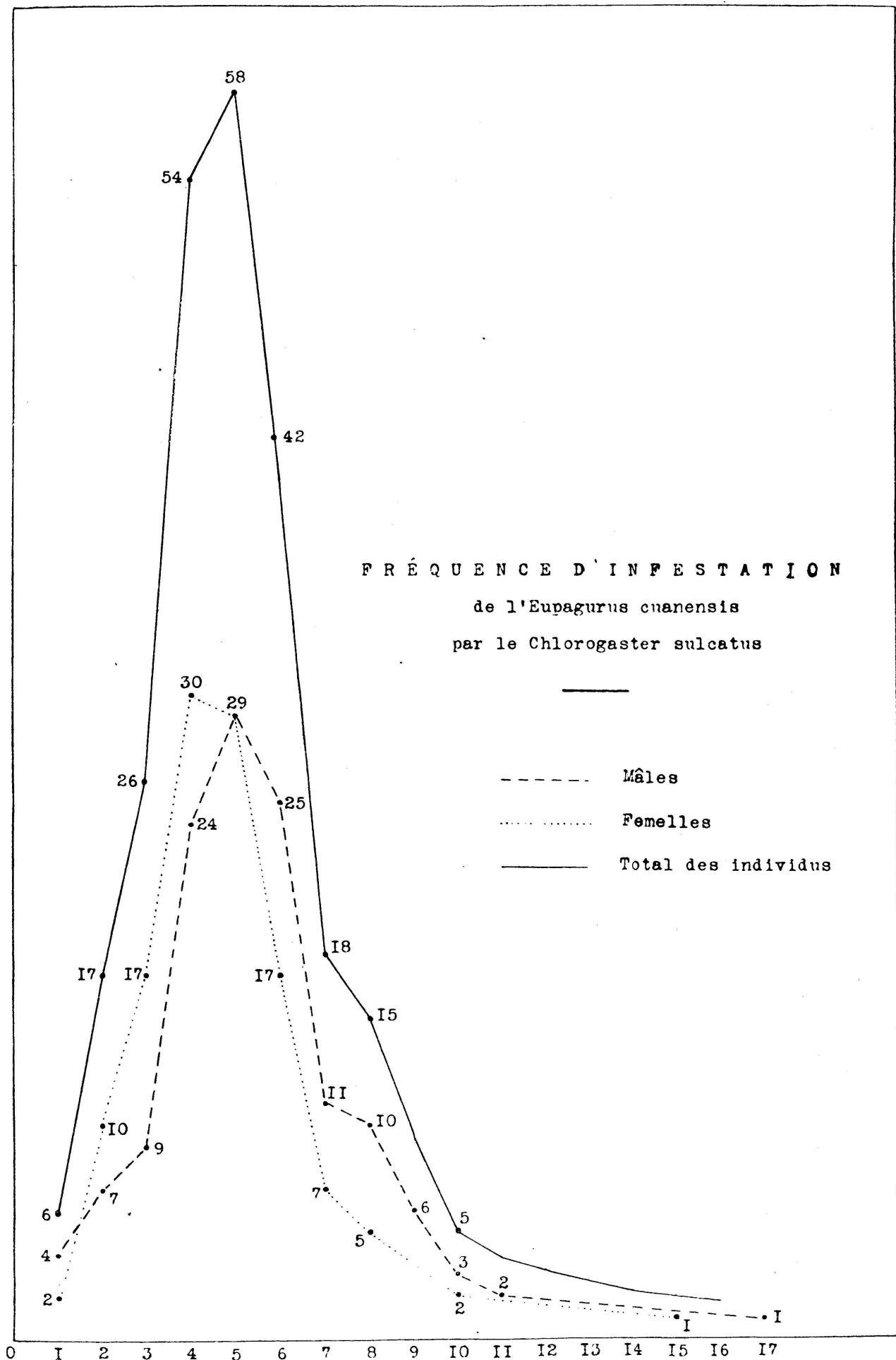


Fig. 2. Fréquence d'infestation des Pagures par des sacs multiples de Chlorogaster.

écrivait: « La nature s'observe, elle ne se devine pas! » Je pourrais reprendre ici ces paroles.

La manière didactique la plus claire pour continuer mon exposé sera sans doute de suivre l'ordre chronologique dans lequel les faits décisifs se sont successivement révélés à moi et ont peu à peu dissipé le mystère.

Premier fait important: alors que, chez les Sacculines et les Peltogaster, le sac viscéral persistant incube l'une après l'autre plusieurs pontes, chez le Chlorogaster chaque sac n'incube qu'une ponte unique. Pendant que se fait l'incubation de cette ponte, l'ovaire de la masse viscérale, au lieu de se développer, s'atrophie. Au moment où les nauplius sont libérés, la masse viscérale est toute ratatinée; les sacs externes, vidés à peu près simultanément, ont un aspect fripé et flétris; ils se désarticulent à leur point d'insertion et ne tardent pas à tomber, laissant à la surface de l'abdomen du Pagure autant de cicatrices ouvertes qu'il y avait auparavant de sacs simultanés.

L'observation d'un fait capital remonte à l'été d'il y a deux ans. J'avais entre temps porté mon attention sur les caractères différenciels des sexes chez les Pagures, et je fus surpris de rencontrer un *Eup. cuanensis* mâle, apparemment exempt de tout parasite, et dont les pléopodes présentaient des anomalies intersexuées. En l'examinant avec plus de soin, je remarquai sur son abdomen cinq cicatrices bien reconnaissables et déjà fermées; il avait donc, depuis un certain temps déjà, perdu cinq sacs de Chlorogaster. Etant données les idées que je me faisais à cette époque, j'interprétais la chute des sacs comme marquant le terme naturel de l'évolution du parasite et le début de la guérison de l'hôte. Le Pagure allait donc me fournir un stade intéressant de la résorption des racines et comme je n'avais pas le temps de le fixer séance tenante, je lui redonnai une coquille et le remis en aquarium. A quelques jours de là, je m'aperçus un matin que le Pagure avait mué. La chitine exuvierée avait entraîné avec elle les cinq cicatrices sigillaires; c'était bien ce que j'attendais. Quant au Pagure, avançant d'une étape vers sa guérison, il devait maintenant présenter un abdomen réparé, dont les téguments auraient recouvré une complète intégrité. Quelle ne fut pas ma surprise en constatant, au contraire, qu'il n'en était rien. Sensiblement aux mêmes places où il avait auparavant porté les cicatrices, il présentait

maintenant sa peau nouvelle perforée, comme à l'emporte-pièces, de cinq fenêtres rondes, comme les hublots d'un navire; et au niveau de chacune d'elles affleurait un anneau couleur de chair pâle, tranchant nettement sur la peau même du Pagure, toute guillochée de chromotophores variés.

Transporté de joie autant que de surprise, j'eus tout de suite l'intuition qu'allait se produire un fait décisif et porteur de lumière. Je ne voulus pas en garder égoïstement le spectacle pour moi seul et j'appelai mon assistante pour en être avec moi le témoin: « Vous voyez, lui dis-je, ces fenêtres; eh! bien, par chacune d'elles va sortir un jeune sac de *Chlorogaster*. » En effet, au cours de l'après-midi, ma prédiction se réalisa comme je l'avais annoncée.

Ainsi donc, si les sacs externes n'incubent chacun qu'une seule ponte, en revanche ils sont remplacés après leur chute par une nouvelle poussée de sacs jeunes qui pondront une fois à leur tour.

Cette première observation m'ayant mis en présence d'un remplacement équinumérique et, à ce que je crus, en coïncidence exacte des points d'insertion, je me suis imaginé qu'il s'agissait d'une régénération des sacs viscéraux, à partir de racines persistant telles quelles et assurant la nutrition des poussées successives de sacs externes. Mais c'était là une idée trop simpliste et qu'il a fallu abandonner devant les faits. L'été de l'an dernier a été consacré à découvrir, par des dissections attentives, quels sont, à l'intérieur du Pagure, les processus qui préparent la sortie d'une nouvelle poussée de sacs externes. Et voici ce que j'ai observé.

Les racines n'ont pas plus d'existence durable que les sacs externes auxquels elles correspondent, leur atrophie commence avant même que soit achevée l'incubation de la ponte dans le sac externe, et dès la chute de celui-ci, elles disparaissent par une dégénérescence rapide. Chaque poussée de sacs a donc ses racines particulières. Il ne s'agit pas d'une simple régénération, mais bien à chaque fois d'une reconstitution de l'appareil tout entier, et celle-ci s'organise d'une façon précoce, bien avant le moment où elle se manifestera par la sortie de ses sacs viscéraux.

Disséquons en effet un Pagure porteur de *Chlorogaster* en train d'incuber une ponte (fig. 3). A chaque sac externe (I) correspond un système de racines avec son goupillon abdominal. En

outre la poussée suivante (II) est déjà en place, sous forme d'un certain nombre de tubes longitudinaux, qui remontent dans le thorax jusqu'au feutrage péri-intestinal. Chacun d'eux n'émet encore, dans sa région antérieure, que quelques courtes ramifications assez pauvres et représente, dans sa partie abdominale postérieure, insinuée entre les viscères, l'amorce d'un futur goupillon, mais provisoirement réduit à son axe seul, sans aucune digitation transver-

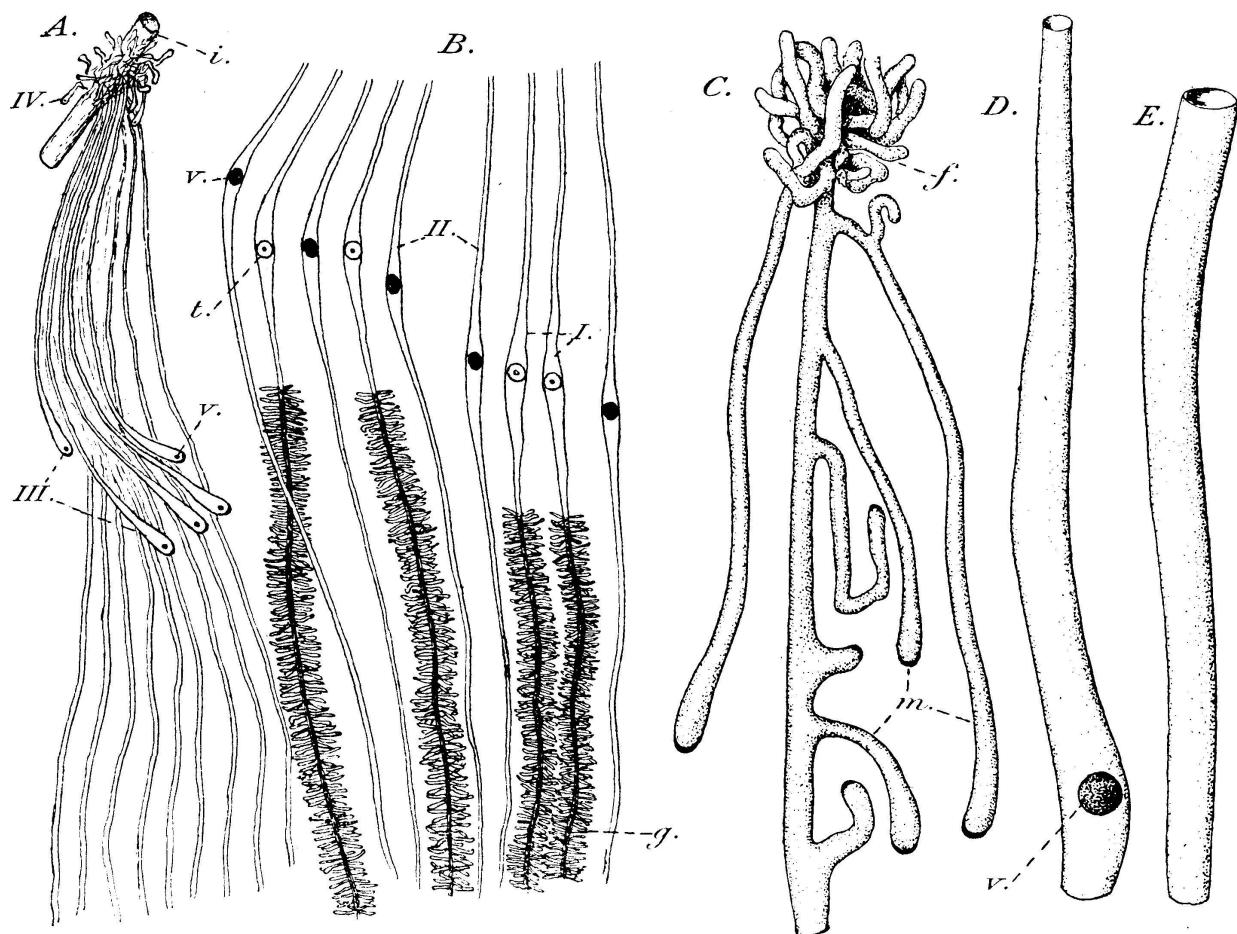


Fig. 3. Diagrammes de dissections de *Chlorogaster*. — *A* = région thoracique, *B* = région abdominale, *I*—*IV*, les poussées successives présentes simultanément. — *C.-D.-E.* = trois tronçons successifs d'un système radiculaire II; *f* = feutrage péri-intestinal; *g* = goupillon; *i* = intestin du Pagure; *m* = massue de ramifications; *t* = origine du pédicule d'un sac externe; *v* = bourgeon de masse viscérale.

sale. Tout ce nouveau système est flottant dans le coelome, sauf en un point où le tube longitudinal adhère à la face interne des téguments du Pagure. En ce point, qui correspond au futur orifice de sortie du sac viscéral de remplacement, celui-ci est déjà ébauché, à l'intérieur du tube creux de l'axe radiculaire, sous forme d'un

bourgeon, dont l'organogénèse est précoce et qui affecte suivant son étape de développement l'aspect d'un ovoïde court ou d'un boudin plus ou moins allongé.

Dans la partie antérieure de l'abdomen et dans le pédicule qui la relie au thorax, la dissection met en outre en évidence les amorces de la poussée suivante (III), sous forme d'un bouquet de tubes creux, en ampoules, dont les cols étirés viennent du thorax, tandis que les pansements renflées se dirigent vers l'arrière, munies à leur extrémité d'un sommet végétatif épais et contiennent chacune dans leur cavité, attenant à la paroi, un massif compact, à peu près sphérique, bourgeon du futur sac viscéral correspondant.

Enfin, dans le thorax même, où les tiges antérieures de tous les systèmes radiculaires précédents viennent se perdre dans le feutrage péri-intestinal, on voit émaner aussi de ce feutrage de courtes massus plus grêles (IV), de tailles et de directions diverses, et dont les plus grandes, orientant d'une manière manifeste leur panse vers l'arrière, contiennent à leur intérieur, en situation subterminale, un massif plein, né par foisonnement profond de la paroi, première annonce d'un bourgeon de sac viscéral encore ultérieur.

Chaque individu disséqué présente une variante personnelle de ce schéma général: plus les embryons incubés dans les sacs externes I sont avancés, plus les bourgeons II sont volumineux et différenciés, plus les ampoules III s'allongent dans l'abdomen, plus les massues IV sont elles-mêmes développées.

Ainsi, dans un Pagure infesté par un Chlorogaster, quatre poussées successives au moins de sacs viscéraux sont présentes simultanément. Et, en récapitulant les divers états fournis séparément par la dissection d'un grand nombre d'individus, on peut reconstituer l'histoire complète d'un sac viscéral et de ses racines. Un diverticule aveugle, issu du feutrage des racines péri-intestinales, renfle son extrémité en massue et s'insinue, du thorax vers l'abdomen, dans une sorte de canal où passent déjà, avec le tube digestif et la chaîne nerveuse du Pagure, les axes longitudinaux des systèmes radiculaires précédents. Puis, par prolifération subterminale de la paroi, naît dans la panse la première ébauche d'une future masse viscérale. L'organogénèse de ce bourgeon est très précoce, et notamment la future cavité palléale s'y indique

très tôt (fig. 4). Ensuite se forme par imagination une cavité péri-comatique, dont la paroi extérieure forme autour du bourgeon viscéral une sorte d'ammios. L'orifice de cette invagination reste toujours ouvert et la lèvre de son bord constitue comme la margelle circulaire d'un puits par lequel on pénètre dans la cavité périso-

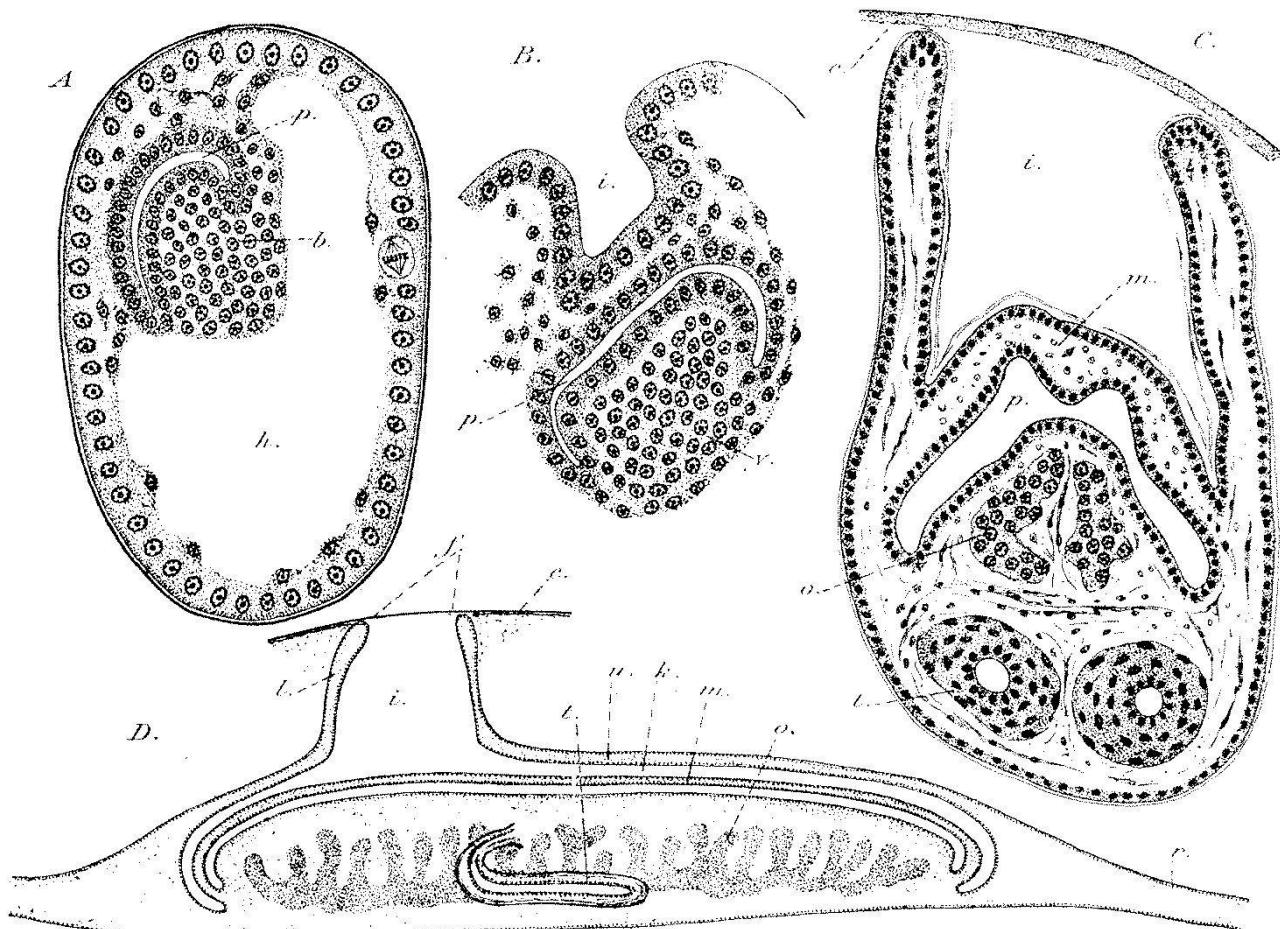


Fig. 4. Organogénèse du Chlorogaster. *A* = coupe transversale d'une masse; formation de la cavité palléale = *p*; *B*, invagination de la cavité périsomatique = *i*; *C* = coupe transversale d'un bourgeon âgé; *D* = diagramme longitudinal d'un bourgeon prêt à devenir externe; *b* = bourgeon viscéral; *c* = chitine du Pagure; *f* = fenêtre; *h* = cavité de la masse; *k* = cavité périsomatique; *l* = lèvre du goulot de la volve; *m* = manteau; *o* = ovaire; *p* = cavité palléale; *r* = axe des racines; *t* = testicule.

matique. C'est le bord de cette margelle qui vient prendre adhérence avec la face interne des téguments du Pagure, en s'insinuant jusqu'à toucher la chitine et en refoulant sur son pourtour l'hypoderme et le tissu conjonctif sous-jacent. A partir de ce mo-

ment le bourgeon viscéral est fixé par rapport à la surface tégu-mentaire du Pagure et le puits d'invagination annonce déjà la voie par laquelle se fera la sortie du sac externe. Quant au sommet végétatif de l'ancienne massue, il continue sa croissance vers l'arrière en donnant un tube régulièrement calibré, axe du futur goupillon, dont les ramifications latérales ne commenceront à pousser qu'à peu près au moment de la chute des sacs viscéraux de la poussée précédente.

Il résulte de ce qui vient d'être dit des connexions entre l'ébauche du parasite et les téguments de son hôte, que celui-ci ne peut plus sécréter de chitine à l'intérieur de la margelle du puits d'invagination. Ainsi s'explique la formation d'une fenêtre circulaire, correspondant à chaque bourgeon viscéral, préparant d'avance l'orifice taillé à l'emporte-pièces que la mue du Pagure mettra à nu. Le bourgeon n'aura plus qu'à sortir à l'extérieur en se dévaginant par cet orifice, tandis que la volve périsomatique s'effacera par rétraction.

Très souvent la nouvelle poussée de sacs externes est équivalente à celle qu'elle remplace, et les fenêtres sont assez voisines des cicatrices correspondant aux pédicules des sacs précédents pour simuler une exacte substitution. Mais un examen attentif montre qu'il n'y a pas coïncidence exacte; le voisinage intime n'est même pas constant et le remplacement nombre pour nombre n'est pas davantage nécessaire. Aux alentours du nombre cinq, qui est le plus fréquent, on observe souvent un remplacement équivalente; mais en multipliant les dissections, on rencontre aussi des cas où le nombre de la poussée prochaine est supérieur ou inférieur à celui des sacs externes. Il y a donc là un caractère fluctuant influencé par la vigueur du parasite, peut-être aussi par son âge, compté depuis l'origine de l'infestation du Pagure.

Un point reste encore que mes dissections ne m'ont pas permis d'élucider à fond, ce sont les connexions mutuelles des divers systèmes radiculaires simultanés ou successifs. Fragile et dense, le feutrage péri-intestinal est fort malaisé à débrouiller. La présence de massues insérées sur la partie antérieure d'un axe radiculaire principal s'observe toutefois assez fréquemment. Elle suggère avec force que les poussées successives naissent les uns des autres et sont en continuité de tissu. On conçoit aisément diverses techniques, microinjection ou reconstitution d'un modèle solide d'après

une série de coupes, qui permettraient sans doute d'arriver sur ce point à une certitude.

En résumé, l'ensemble des faits exposés me paraît conduire à l'interprétation suivante du cycle des *Chlorogaster*. L'infestation est produite, comme chez tous les autres Rhizocéphales, par l'inoculation d'une cypris unique. Celle-ci donne naissance à un système radiculaire permanent, le feutrage péri-intestinal, à partir duquel bourgeonnent, par poussées discontinues successives, les groupes des sacs viscéraux simultanés. Ce que l'on sait des *Thompsonia* autorise tout à fait cette interprétation et la fluctuation du nombre des bourgeons d'une même poussée fournit d'une manière tout à fait satisfaisante la condition, régie par le hasard, qu'exige comme nous l'avons vu, la statistique des cas observés.