

La Biométrie et les méthodes de statistique appliquées à la Botanique

Autor(en): **Chodat, R.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **87 (1904)**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90115>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La Biométrie et les méthodes de statistique appliquées à la Botanique.

Par R. CHODAT.

Un mathématicien de mes amis me disait dernièrement que ce qui l'avait détourné de la chimie c'était son manque de précision. Qu'aurait-il pensé de la biologie? Le chimiste à son tour considérera la biologie comme une branche inférieure des sciences; peu orienté dans ce domaine, il n'y verra qu'une longue, une interminable énumération des objets et des phénomènes. Il ne saura y reconnaître de lois générales et précises. Il ne verra dans la biologie qu'un ensemble de sciences descriptives, un domaine où le hasard et la fantaisie règnent en maîtres, mais où l'on ne saurait découvrir que limites imprécises et mouvantes.

Inattentif aux choses de l'art, le biologiste dénie peut-être à la musique, à la peinture, à la psychologie et à la morale tout élément scientifique. Il ne sait démêler dans une symphonie de Beethoven les lois de l'harmonie; étranger encore peut-être au domaine des sciences morales, il essaie de tout ramener à ses conceptions de la vie rudimentaire. Il ne reconnaît aucune réalité objective aux phénomènes qu'il ne sait pas encore analyser.

La vérité est que la science n'est pas encore assez avancée, le sera-t-elle jamais, pour pouvoir ramener, résoudre le phénomène chimique à une pure question de

physique. La matière, telle que nous la signalent nos sens, est quelque chose d'irréductible, nous apparaissant sous divers aspects. De même, toute donnée biologique ne se laisse pas simplement analyser, décomposer en facteurs chimico-physiques. Il y a ainsi, dans toutes les sciences, même dans les plus avancées et les plus étudiées, des données actuellement irréductibles. Ces dernières ne comportent donc aucune explication. Ce sont des constantes dont nous devons tenir compte, mais qui échappent à nos investigations. Et cependant, c'est faire de la science que d'étudier ces divers aspects de la matière, d'en connaître les rapports mutuels, de trouver la loi de leurs combinaisons. Ainsi la chimie est en quelque sorte encore une science descriptive. Mais nous pouvons nous élever par la chimie générale, par une sorte d'abstraction, à des conceptions plus vastes. Négligeant pour un moment les propriétés particulières aux éléments, nous trouvons les lois de la physique moléculaire. Tout phénomène chimique, tout changement d'équilibre dans un système chimique se laisse ramener à un problème d'énergétique. Édifié comme il l'est actuellement, ce magnifique chapitre de la science contemporaine*), la chimie physique ou chimie générale, ne serait pas si les efforts constants des chimistes descripteurs et des expérimentateurs ne nous avaient fourni les matériaux pour une généralisation plus haute.

En est-il de même de la biologie? L'examen de la cellule, ce complexe admirable, ce microcosme merveilleux dans lequel non seulement les unités hiérarchiques gravitent en un système ordonné, tel un système solaire, mais passent constamment d'un équilibre donné à un

*) Oswald, Allgemeine Chemie.

autre équilibre selon l'ordre du développement ontogénique, cet examen superficiel, dis-je, pourrait nous faire craindre qu'une généralisation analogue ne soit pas possible en biologie.

En effet la cellule est déjà, même chez les protophytes et les protozoaires, douée de tant de propriétés diverses, susceptible d'évolution et d'adaptations si compliquées, qu'elle nous apparaît comme animée par une conscience au moins rudimentaire et se manifeste à nous comme un être muni d'un élément de liberté. Et cependant combien parmi les fonctions les plus délicates de la cellule ont été déjà ramenées à certaines structures définies et à des conditions physico-chimiques déterminées.

En montrant que dans le plasma se passent des réactions qui peuvent être exprimées en un langage physique et mathématique, vous n'avez pas écarté le mystère, me dira-t-on; vous n'avez pas expliqué la structure particulière de ce milieu ni des éléments qui, avec lui, composent la cellule vivante.

Sans doute l'objection est forte; mais un semblable reproche n'a pas arrêté le chimiste dans ses recherches lorsqu'on lui opposait de n'avoir pas su expliquer la raison de l'existence du grand nombre des corps simples. Il a laissé aux alchimistes la poursuite d'une utopie. Il a pensé que les grands problèmes ne peuvent être abordés que lorsque les éléments en sont résolus. Laissons donc les alchimistes de la biologie s'essayer en vain à déchirer le voile épais qui recouvre le problème de l'origine de la vie et des espèces pour nous attacher loyalement et consciencieusement à analyser les problèmes du vivant tels qu'ils se présentent à nous actuellement. L'exemple suivant illustrera ma pensée.

Parmi les substances qui jouent un grand rôle dans

l'économie de la cellule sont les ferments*). Extraits de de la cellule vivante, on les connaît en solution ou à l'état solide. Sous cette dernière forme, on a pu parfois les stériliser, c.-à-d. les chauffer à une température telle qu'aucune particule organisée ne pourrait subsister. Cependant il est encore actuellement des vitalistes qui considèrent les ferments comme des fractions de plasma, sorte de biophores auxquels seraient attachées, en vertu de leur origine, certaines particularités de la matière vivante.

Il est vrai qu'actuellement encore nous ne connaissons pas la nature chimique des ferments. Sont-ils toujours des albuminoïdes? Ont-ils entre eux une parenté de composition? Problèmes encore à résoudre. Mais nous en connaissons les propriétés chimiques. Les plus connus sont ceux de ces corps qui activent l'eau dans les phénomènes d'hydrolyse, les ferments hydrolysants.

Avec Bach**), nous avons montré que, dans les ferments oxydants, sont des peroxydes organiques activés par un catalysateur, la peroxydase. Nous avons mis en évidence les peroxydes à l'intérieur de la cellule vivante. Enfin, et c'est ce qui, dans ce moment, doit nous intéresser, nous avons réussi à montrer que dans certaines réactions on peut établir un rapport exact et constant entre les masses du peroxyde, du corps qui l'active et du produit d'oxydation. Ces ferments se comportent donc comme des corps chimiquement définis. On peut établir leur équivalent et par conséquent ce qu'ils avaient de mystérieux diminue d'autant.

*) Voir Oppenheimer, Die Fermente, 1904.

**) Chodat et Bach, Berichte der chem. Gesellschaft. Berlin, 1902—1904.

En chimie moderne, on veut non seulement connaître le point de départ d'une réaction et son terme, mais classer les réactions d'après leur marche. Il était donc extrêmement intéressant de connaître la vitesse de réaction des ferments, ces dérivés du protoplasma vivant. On pourrait ainsi déterminer si, dans leur mode d'action, ces corps particuliers suivent les lois générales des catalysateurs ou s'ils effectuent les réactions qu'ils accélèrent selon un mode propre. Etablir à chaque instant le rapport entre la quantité de ferment qui entre en réaction et le produit obtenu, c'est connaître, non seulement pour une quantité donnée, mais pour toute quantité la loi du phénomène en fonction du temps.

Or il s'est trouvé dans nos expériences sur le ferment oxydant, la peroxydase, qui active le peroxyde d'hydrogène, que sa vitesse de réaction suit la loi de l'action des masses de Güldberg et Waage, pour autant que les produits de la réaction ne viennent pas troubler le phénomène. D'une manière analogue se comportent aussi le labferment, la catalase*), l'invertase**), etc.

Les ferments, ces mystérieux corps issus de l'activité de la cellule ne se comportent donc pas autrement que les catalysateurs inorganiques. Ramener ainsi par la mesure, c.-à.-d. par une sorte de statistique, les phénomènes si variés de la coagulation, ceux du dédoublement et de l'oxydation provoqués par les ferments, aux lois générales de l'énergétique chimique, c'est opérer une généralisation de la plus haute importance.

Mais, me diront les adeptes de je ne sais quel faux vitalisme, autre chose est de décrire par une formule

*) G. Senter, Zeitschrift für phys. Chemie. Bd. XLIV.

**) Henry, Lois d'action des ferments, Paris 1903.

générale les lois de la catalyse dans les êtres vivants et de donner les lois de croissance par lesquelles des cellules en apparence semblables, des êtres aussi différents que l'homme, les animaux et les plantes se développent selon un plan si différent et aboutissent à des résultats si variés.

Sans doute il nous est impossible actuellement de donner la raison de cette différence, mais si nous pouvons montrer que, cachée par ces différences particulières, une loi générale se laisse découvrir par l'analyse, nous aurons prouvé que la morphogenèse n'est que l'étude de l'ensemble des états particuliers du développement, de ce que, par une abstraction, nous appelons la matière vivante.

Chaque germe est comme une amorce, un ferment qui active une série de réactions si complexes dans leur enchevêtrement qu'à première vue une analyse et à plus forte raison une généralisation du phénomène nous paraît impossible. Et cependant que d'unité ne découvrons-nous pas au milieu de cette décevante multiplicité!

L'étude du plasma considéré comme un colloïde, ses divers états ramenés à ceux des fausses solutions et des gelées, le problème des échanges cellulaires ramené à celui de la diffusion à travers des colloïdes*), la statique cellulaire expliquée par la pression osmotique, l'énergétique cellulaire élucidée par les phénomènes de combustion, de désagrégation moléculaire, de condensation de molécules simples en molécules complexes, par des phénomènes de physique moléculaire comme l'imbibition, la tension superficielle, etc., tout cet ensemble ne montre-t-il pas que les phénomènes les plus subtils de la vie cellulaire sont susceptibles d'analyse rationnelle et peu-

*) Höber, Physikalische Chemie der Zelle.

vent être exprimés en une langue précise, par des constantes physiques?

Mais, me dira-t-on, ce que vous étudiez ainsi dans la cellule ce n'est pas toute la cellule; vous choisissez de l'ensemble des phénomènes qui se passent dans ce microcosme ceux qui, par leur nature, sont d'ordre essentiellement chimique ou physique et vous laissez de côté tout ce qui est plus complexe, par conséquent, de nature éminemment biologique.

Personne ne niera que les phénomènes d'assimilation et de désassimilation, dont la résultante est l'édification d'un corps organisé, ne soient assez variés et complexes pour qu'au premier abord on puisse douter de pouvoir les exprimer par une formule unique. Qu'observons-nous en réalité? Portons en ordonnées les poids observés durant la croissance, correspondant aux temps, inscrits sur l'axe des x ; en réunissant les points obtenus, on trace une courbe de croissance qu'on peut analyser géométriquement.

Or il se trouve que, durant la période de croissance soit de l'animal soit de l'homme jusqu'à l'âge adulte, l'augmentation de poids peut s'exprimer par une hyperbole*).

Il était intéressant de vérifier cette loi sur les végétaux. C'est ce qu'ont fait, à Genève, M^{lle}. Stefanowska et M. Monnier. Ils ont trouvé que, soit pour le poids brut, soit en ce qui concerne les cendres ou l'azote, l'augmentation en poids suit la même loi et se laisse donc exprimer d'une manière précise comme on décrit une vitesse de réaction.

Les plantes étudiées ont été l'avoine et le blé sarrasin. Ainsi l'analyse des phénomènes de croissance con-

*) Stefanowska. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 4 mai 1903 et 1^{er} février 1904.

sidérés comme un tout, nous permet une remarquable généralisation qu'on n'aurait point obtenue sans l'aide de la biométrie, sans les méthodes graphiques ou analytiques. Chez les champignons étudiés au même point de vue dans mon laboratoire, la courbe de croissance était une ligne droite, indiquant ainsi une remarquable proportionnalité. Les Mucédinées étudiées étaient le *Penicillium glaucum* et le *Sterigmatocystis nigra*. Ici le phénomène de croissance semble n'être qu'une augmentation de masse, une réaction chimique simplifiée.

Ces préliminaires un peu longs m'amènent au but essentiel de cette conférence, l'application des méthodes précises au problème de la variation qui touche de si près à cette grande question de l'origine des races.

Jusqu'ici nous avons pu constater qu'à côté des particularités qui caractérisent chaque être, il est des propriétés générales par lesquelles l'unité du monde organique se laisse facilement démontrer. Peut-on également trouver l'expression exacte du phénomène de la variation par lequel les individus d'une même race, d'une même espèce, diffèrent les uns des autres dans leur stature, leur apparence et jusque dans leurs particularités les plus insignifiantes? Ce n'est pas ici le moment de dire dans quelle mesure la variation affecte les espèces animales et végétales depuis celles qui sont le plus constantes jusqu'à celles qui sont en perpétuelle fluctuation. Chacun connaît des exemples tirés de notre espèce humaine, des races canine ou chevaline ou des plantes cultivées. On a souvent parlé de variation ordonnée et de variation désordonnée*). Ces expressions proviennent d'une analyse incomplète du matériel variable.

*) L'Évêque de Vilmorin, Hérité, Paris 1890.

Lorsqu'on aborde ces questions par des méthodes précises on trouve que la variation est toujours ordonnée. Il suffit de pousser l'analyse assez loin pour découvrir la loi du phénomène. En particulier il faut considérer un à un les caractères élémentaires, dont la mosaïque constitue le caractère spécifique complexe. Les méthodes de statistique appliquées à l'étude de la variation ont été fondées par Quételet et Galton*); peu à peu elles se sont perfectionnées, précisées. Aujourd'hui elles constituent une branche importante de la biologie contemporaine. Elles ont leur organe attitré dans une revue périodique, „Biometrika“, qui accueille des travaux rédigés dans les trois langues scientifiques. De savants mathématiciens ont apporté leur concours à ces investigations. Ici comme en physique et en chimie générale on ne peut se passer de mathématiques supérieures. Une étude reste incomplète si elle n'est révisée par un savant rompu aux méthodes mathématiques.

Il s'agit en effet non seulement d'évaluer d'une manière numérique les variantes, mais, après les avoir ordonnées, d'étudier la loi numérique de leurs rapports.

Un exemple tiré de mes recherches**) illustrera ma pensée et les principes de cette méthode. Il y a quelques années, un jeune amateur de Genève m'apportait un bouquet d'orchidées cueillies dans sa propriété de Mézery. Autant de hampes, autant d'espèces différentes, pensait-il. La variation en effet était excessive; au premier abord on avait quelque peine à reconnaître le type

*) Voir au sujet de ces méthodes: Davenport Statistical methods, New-York, II. Ed.; Duncker, G., Die Methoden der Variationsstatistik; Pearson, Grammar of science.

**) Chodat, Bull. Herb. Boissier, 1901, 682. Ces recherches seront prochainement publiées in extenso dans un autre périodique.

fondamental au milieu du polymorphisme extraordinaire de ces fleurs. La grandeur, la couleur, la forme du labelum, celle de l'éperon, le nombre des taches, tout variait d'une manière désordonnée en apparence.

Pour étudier ce phénomène nous choisîmes, comme élément de variation, celui qui nous parut à la fois le plus saillant et le plus facile à évaluer. C'est le nombre des taches qui se dessinent sur le tablier. Chaque tache, petite ou grande, était prise comme intégrale; on voit que la variation en ce qui concerne ce caractère va de 0—45. On calcule le nombre des fleurs qui présentent un nombre donné de taches (V), on détermine la fréquence (F) de ces variantes. Portant sur l'axe des x les variantes, on a pour ordonnées correspondantes les fréquences. Réunissant les sommets des ordonnées on obtient une figure, dite polygone de variation, qui correspond sensiblement à une courbe qu'on peut définir mathématiquement.

Or il résulte d'un grand nombre de statistiques, tant zoologiques que botaniques que, le plus souvent, la courbe ainsi obtenue est symétrique et correspond au développement du binôme $(p + q)^c =$

$$0 + c_0 p^c q^0 + c_1 p^{c-1} q^1 + c_2 p^{c-2} q^2 + \dots + c_{c-2} p^2 q^{c-2} + c_{c-1} p^1 q^{c-1} + c_c p^0 q^c + 0$$

Si l'on dispose graphiquement ces termes comme ordonnées sur l'axe des x à des distances égales, on obtient en réunissant les extrémités libres des ordonnées par des lignes droites, des polygones binomiaux qui sont symétriques si $p=q$, asymétriques si $p < q$ ou $p > q$.

Le développement d'un binôme donne la probabilité des combinaisons en c, éléments qui se distribuent en deux groupes analogues, dont l'un est par rapport à l'autre dans la proportion de $p : q$.

On peut se représenter que l'organisme est sollicité à varier selon des causes qui agissent positivement ou négativement et qui sont dans le rapport de $p : q$. Selon les combinaisons de ces causes, l'écart individuel de la moyenne de l'ensemble sera fort (positivement ou négativement) ou faible.

Cette méthode n'indique nullement la qualité particulière des causes. La valeur c peut être limitée ou illimitée et par conséquent le polygone peut avoir l'abscisse limitée ou illimitée. Outre cette courbe de Gauss, on en a reconnu plusieurs autres qui sont étudiées dans les traités de biométrie.

On se sert beaucoup en biométrie des notions suivantes: M , la moyenne

$$M = \frac{\sum (v \cdot f)}{n}$$
, où Σ est la somme, v les variantes, f leur fréquence respective, n le nombre des variantes.

σ , l'indice de variabilité ou l'indice étalon

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x^2 \cdot f)}{n}}$$
, où x est la déviation de chaque classe de variantes de la moyenne (M), f et n comme dans l'exemple précédent.

Dans les cas où toutes les variantes exprimées par leur fréquence se laissent grouper en un polygone à un sommet, l'analyse de cette courbe est relativement aisée. Pearson, Duncker et Davenport ont résumé en des opuscules intelligibles les méthodes découvertes jusqu'à présent. Grâce à elles on peut exprimer simplement et en particulier par la valeur de σ le degré de variabilité et l'allure d'un polygone et comparer ainsi des races ou des espèces plus ou moins éloignées. Mais, lorsque le polygone de variation montre plusieurs sommets, ce qui est souvent réalisé dans les statistiques végétales, l'analyse de

ces courbes devient si difficile que des mathématiciens déjà rompus à ce genre de recherches y renoncent.

Lorsque la variation s'ordonne symétriquement autour d'un mode (la plus forte fréquence, indiquée dans les graphiques par les sommets) il y a tout lieu de supposer que l'on se trouve en présence d'une race pure. Cependant Pearson a montré que les fréquences des variantes peuvent, exprimées graphiquement, simuler un polygone unique de variation, lorsqu'une des formes l'emporte de beaucoup sur l'autre, dont le mode est voisin du mode principal.

Il peut en être tout autrement lorsque la courbe est complexe, c.-à.-d. que le polygone exhibe plusieurs sommets, plusieurs modes. Ludwig y a vu l'indice de la coexistence de plusieurs races auxquelles correspondraient les divers sommets du polygone. L'école anglaise n'admet pas sans autre que cette plurimodalité exprime toujours cette coexistence; elle soutient qu'elle peut être produite par les variations du milieu et les multiples facteurs de l'environnement.

Dans l'exemple que j'ai choisi de l'*Orchis morio* les courbes, à une exception près, ont été plurimodales. Ne pouvant analyser ces courbes, j'ai eu recours au procédé suivant: examiner dans un nombre de stations aussi considérable que possible et réparties sur l'Europe entière les courbes de variation de cette espèce et les comparer.

On pourrait voir ainsi si les modes observés à Genève, du premier printemps au mois de juin, se retrouveraient autre part et si, dans le déplacement des modes, il y aurait à découvrir une loi.

Mes statistiques se sont étendues à une trentaine de stations de plaine et de montagne; Genève (plusieurs stations), Savoie, Ain, Vaud, Valais, Lucerne, Marbourg, Breslau, Belluno (Italie), Grenoble (Dauphiné), Nantes,

Heriménil (Lorraine), Hyères, Corse, Gand (Belgique), Leiden (Hollande), Suède (plusieurs stations), Leeds, Cambridge, Buckden (Angleterre), Majorque (Baléares). *)

Or il résulte de la comparaison de tous ces polygones de variation qui comprennent près de 30,000 fleurs, que certains sommets se maintiennent avec une remarquable régularité. Ainsi le sommet principal qui, à Genève, est au-dessus de 11 (c'est-à-dire correspond à la fréquence de 11 taches sur le labellum) et qui se maintient, lorsqu'on combine en un seul polygone de variation toutes les statistiques, est accompagné de sommets secondaires au-dessus de 13, de 15, de 17 (parfois déplacés d'une unité à droite si la statistique est faite sur un matériel peu nombreux), se retrouve à Corbeyrier (Vaud), au Valais, à Hériménil (Meurthe et Moselle), à Nantes, à Bordeaux, à Belluno (Italie), à Leiden, à Cambridge, à Breslau, etc. Ce mode, qui est principal dans les stations de l'Europe centrale, devient secondaire autre part. A mesure que l'on s'approche de la région atlantique ou sub-atlantique, le sommet principal se déplace, il vient se placer au-dessus de 9 qui correspond alors à la plus grande fréquence. Si nous considérons l'ordonnée de 11 comme méridien, nous pourrions exprimer ceci en disant que, dans les formes atlantiques et sub-atlantiques, la masse des individus se trouve accumulée vers la gauche. Ce méridien devient médian pour plusieurs des races de

*) Ceci grâce à l'amabilité de correspondants qui ont récolté ou fait récolter pour moi le matériel en quantité suffisante. Ce sont en particulier MM. Bachmann (Lucerne), Besse (Martigny), Belèze (Paris), Dupuis (Genève), Gravis (Liège), Gadeceaux (Nantes), Hunnybun (Buckden), Hoskin (Cambridge), Janse (Leiden), Maire (Nancy), Meyer (Marbourg), Pax (Breslau), Devaux (Bordeaux), Smith et Gaut (Leeds), de Toni (Padoue), Wilzeck (Lausanne), Minio (Belluno), Nordstedt (Lund), Offner (Grenoble).

l'Europe centrale. Autrement dit, quand même ces statistiques ne sont pas encore assez complètes pour donner un résultat absolument définitif, il est cependant dès maintenant évident que le déplacement de M se fait vers la gauche avec une remarquable régularité, lorsqu'il s'agit de stations plus ou moins nordiques; au contraire dans l'Europe centrale M se confond presque avec le mode (F) ou se déplace plus ou moins fortement vers la droite entraîné par les sommets secondaires et parfois importants (Breslau) de 13, 15, 17.

Selon les stations, 13, 15, 17 l'emportent sur 11. On a bien ici l'impression d'une courbe complexe due au mélange de races, à la coexistence de plusieurs isomères.

J'entends dire par là que, lors de la maturité sexuelle et vu la population plus ou moins inhomogène, des isomères biologiques plus ou moins nombreux sont possibles. Ces combinaisons suivent la loi des grands nombres. Les conditions données par l'environnement favorisent les uns aux dépens des autres. Dans le N et vers l'Océan c'est l'isomère oscillant autour de la moyenne 9 qui prédomine; la formation des isomères 11 et 6 est alors moins fréquente. Dans le type de Gand, l'isomère 6, qui préexiste dans plusieurs des populations étudiées (ce qui se voit par l'examen des courbes), l'emporte sur les autres.

Mais dans tous les cas examinés il s'agit (à une exception près) de complexes, c.-à.-d. de populations*).

Dans un travail récent, Johannsen**) a montré que l'on pouvait par sélection trier dans une population de *Phaseolus*, en partant d'une semence unique et en main-

*) L'auteur de cette communication avait exhibé une dizaine de graphiques; ils seront publiés autre part.

**) Johannsen, *Erblichkeit in Populationen und in reinen Linien*, 1903.

tenant la fécondation directe, des lignées à peu près constantes, c.-à.-d. dont tous les individus s'ordonnent en une courbe normale. Chaque écart de la moyenne, si considérable qu'il puisse être, revient (par autofécondation) à la moyenne. Les écarts dûs au milieu, tels qu'ils se présentent dans ces races pures, ne sont pas susceptibles de donner prise à la sélection; ils ne sont pas héréditaires puisque la descendance des types les plus aberrants revient immédiatement à la moyenne si l'on considère un nombre suffisant de semences.

De même dans la nature on trouve coexistant, se fécondant mutuellement, puis se triant plus ou moins selon les lois de la ségrégation par maturation sexuelle, on trouve, dis-je, des races, des lignées nombreuses qui constituent la population d'une station donnée. Il est le plus souvent impossible de démêler ce complexe par d'autres méthodes que celles de la statistique biométrique.

Un fait qui milite en faveur de cette idée, en particulier en ce qui concerne l'*Orchis morio*, c'est la manière dont se comporte, au point de vue de la variation, une forme de cette espèce étudiée par moi dans l'île de Majorque, aux Baléares. La statistique nous fait découvrir ici une race pure en ce qui concerne les taches; le polygone de variation a son mode sur le chiffre 5, la courbe est unimodale et symétrique et correspond presque exactement à la courbe normale calculée (voir à propos de la méthode qui permet de comparer une courbe observée avec la courbe calculée, Davenport l. c. p. 25). L'amplitude de variation est également plus faible dans le type de Majorque que dans ceux du continent. En effet, tandis que la valeur de σ est de 3—4 pour ces derniers, elle descend pour le type insulaire à 1,5. Ainsi se trouve vérifiée, par une méthode biométrique, cette loi de ségrégation des variétés

par les îles ou par toute cause isolante*), qu'elle s'exprime par les lacs avec leurs variétés de Diatomacées, les massifs montagneux avec leurs espèces vicariantes, le substratum géologique avec ses espèces calcifuges et calcicoles.

Mais cette variation si intéressante de l'*Orchis morio* de Majorque semble être, en somme, contenue dans les types continentaux, car nous voyons déjà sur le continent, et en particulier dans les populations atlantiques, les variantes à 5 taches devenir plus nombreuses. Cette variation est donc contenue dans l'amplitude de l'espèce complexe, continentale; quand même elle ne possède aucun mode ni sur 9 ni sur 11, 13 ou 17 (le maximum de taches observées étant de 10) elle appartient à l'extrême gauche du groupement. C'est comme si elle en avait été isolée par sélection géographique.

Cet exemple montre quelle peut être l'application de cette méthode à des problèmes de phylogénie et de géographie botanique.

La morphologie comparée peut devenir par ce moyen une science précise; la comparaison ne sera plus seulement conjecturale, elle s'exprimera par des coefficients de ressemblance ou de dissemblance. Ainsi les problèmes les plus compliqués de la biologie sont susceptibles d'une analyse rigoureuse.

C'est ce que les recherches méthodiques de l'école anglaise Galton-Pearson ont mis tout récemment en lumière. Je veux parler du problème si difficile de l'hérédité.

Étudiant cette question au point de vue biométrique, Pearson et Weldon nous ont montré que les mêmes lois découlent des observations, qu'elles soient faites en partant de l'homme, de l'animal ou de la plante. Il est important

*) Wagner, Die Entstehung der Arten durch räumliche Sonderung, 1889.

d'insister sur la nécessité d'opérer sur un grand nombre d'individus, ces lois de variation ne pouvant être déduites d'un petit nombre d'observations.

Ainsi les coefficients de corrélation entre descendants et ascendants (il s'agit ici exclusivement de populations au sens de Johannsen) sont sensiblement les mêmes dans les cas les plus divers. L'héritage reçu des deux ascendants est sensiblement 50 pour cent ou 0,50 du total, 0,25 des 4 grands parents, 0,125 des arrière grands parents et $\frac{1}{2^n}$ du total de la n^e génération. Pearson, dans ses recherches basées sur un matériel très considérable, a quelque peu modifié ces premiers résultats. Un de ses travaux nous intéresse tout particulièrement, celui où il étudie la corrélation ancestrale ou fraternelle des Pavots (Shirley Poppy). La conclusion est la suivante: „Il résulte de ceci que les premières observations sur de grandes séries de plantes, en ce qui concerne les lois de l'hérédité des caractères variant d'une manière continue, donnent des résultats numériques en accordance générale avec ceux déjà obtenus pour les animaux supérieurs et les insectes.

„Par conséquent les méthodes qui ont été reconnues comme suffisantes pour décrire l'influence héréditaire chez l'homme et les animaux suffiront pour décrire les résultats analogues dans les variations continues des caractères de la plante.“

J'aurais voulu vous parler d'autres résultats obtenus, en particulier dans l'étude de l'hybridité, mais le temps limité de cette conférence me force à conclure.

Laissons à ceux que fascinent je ne sais quelles lois d'un vitalisme ancien ou moderne, spéculer sur des faits insuffisamment établis ou aborder la résolution de problè-

mes insolubles. Mais sans diminuer aucunement cette partie de la biologie qui consiste essentiellement dans l'énumération et la description des phénomènes naturels, sachons nous élever par l'abstraction à une généralisation supérieure. Au lieu de nous attarder à faire de la biologie conjecturale, abordons franchement les problèmes en nous servant des méthodes précises mises à notre portée maintenant. Elles ne sont pas d'aujourd'hui, ces méthodes en biologie ; elles ont été fondées par tous ceux qui ont abordé logiquement l'étude des êtres vivants. Mises en honneur par les pères de la physiologie végétale, les Hales, les Th. de Saussure, les Pfeffer, elles demandent à être complétées et étendues à tous les domaines de la biologie, depuis la physique moléculaire de la cellule et de ses dérivés, jusqu'aux problèmes les plus mystérieux de la fécondation et de la filiation. Si ce succinct exposé avait pu intéresser l'un ou l'autre de mes auditeurs à ces questions d'énergétique et de biométrie, le but de ma conférence serait atteint.
