

Principes Généraux de l'Expérimentation Culturale Scientifique⁽¹⁾

par **J. A. MASSIBOT**

INGÉNIEUR AGRICOLE
ET D'AGRONOMIE COLONIALE

L'enchaînement répété de certains faits pousse l'esprit à le considérer, par déduction, comme un ordre logique exprimant des relations de cause à effet. Cette causalité se vérifie en provoquant ces faits, en réalisant des expériences, dont le but est de découvrir les lois régissant la succession des phénomènes naturels.

Pour parvenir à ce résultat, l'homme dispose du *fait* qui suggère l'idée, de l'*idée* qui dirige l'expérience et de l'*expérience* qui juge l'idée. L'expérience apparaît donc, en principe, comme le contrôle d'une idée par un fait. Si les faits seuls sont réels, un fait brut est dépourvu de sens et, pour nous être accessible, il doit être transformé en idée par l'activité de l'esprit.

Il existe deux moyens d'investigation scientifique : l'observation qui est la constatation d'un fait naturel et l'expérience qui instruit sur le fait et qui consiste à provoquer un fait pour faire naître ou pour vérifier une idée.

En partant de cette distinction abstraite entre observation et expérience, on arrive à séparer les *sciences dites d'observation* qui sont celles où l'on compare des faits que l'on se borne à constater (astronomie par exemple) *des sciences d'expérimentation ou expérimentales*, dans lesquelles on provoque l'apparition, la modification, la disparition, en un mot, la variation d'un fait pour mieux l'observer. Il faut d'ailleurs noter que les sciences terrestres peuvent être à la fois des sciences d'observation et des sciences expérimentales.

L'observateur est le photographe des phénomènes : son observation doit représenter exactement la Nature sans jamais faire preuve d'idée préconçue. Mais l'observateur et l'expérimentateur constatent également des faits. Ils se comportent donc, de ce point

“ Une idée, tant qu'elle reste une vue de l'esprit, est toujours en balance avec une idée contraire ; seul le fait est probant et entraîne la conviction ”.

E. DUCLAUX.

“ The actual and physical conduct of an experiment must govern the statistical procedure of its interpretation ”.

R. A. FISHER.

de vue, exactement comme s'il s'agissait de deux observations ordinaires, ce qui a permis d'affirmer que l'expérience n'était, au fond, qu'une observation provoquée.

Cependant, la simple constatation des faits ne pourra jamais parvenir à constituer une science car, pour s'instruire, il faut nécessairement raisonner sur ce que l'on a observé, comparer les faits et les juger par d'autres faits qui servent de contrôle. *Le raisonnement expérimental* sera le même dans les sciences d'observation et dans les sciences expérimentales car il y aura toujours un *jugement par comparaison* s'appuyant sur deux faits, l'un servant de point de départ, l'autre de conclusion au raisonnement. Dans les sciences d'observation, les deux faits seront toujours des observations tandis que dans les sciences expérimentales les deux faits pourront être empruntés exclusivement à l'expérimentation, ou à l'expérimentation et à l'observation à la fois. Si, du point de vue de la méthode philosophique, il n'y a pas de différence essentielle entre les sciences d'observation et les sciences expérimentales, dans les premières, cependant, l'homme se contente d'observer et de raisonner expérimentalement sans expérimenter. C'est cette distinction qui a fait dire à Claude BERNARD que les sciences d'observation sont des sciences passives alors que les sciences expérimentales sont des sciences actives grâce auxquelles l'homme devient un « inventeur de phénomènes, un véritable contre-

(1) Extrait de l'ouvrage “ La technique des essais culturaux et des études d'écologie agricole ”, Frère, Edit. Tourcoing, 1946, 650 pages 21×27. Voir “ Fruits d'Outre-Mer ”, vol. 1, n° 3, 1945.

maître de la création ». De ce fait, on ne saurait assigner de limites à la puissance qu'il pourra ainsi acquérir sur la Nature.

Pour raisonner expérimentalement, il faut généralement avoir une *idée préconçue ou hypothèse* puis invoquer ou provoquer des faits (des observations) pour contrôler cette idée directrice. Cette dernière doit renfermer tout ce qui est déjà connu sur le sujet afin de guider sûrement la recherche. Il faut toujours s'assurer que les faits servant de point de départ de l'hypothèse sont bien établis. Quand on évolue dans une science jeune où existent de nombreuses questions complexes et obscures encore mal étudiées, l'idée expérimentale — l'hypothèse — ne se dégage pas toujours facilement. Dans ce cas, on ne peut se diriger que d'après une sorte d'intuition, en se livrant, au besoin, à des « expériences pour voir destinées à faire surgir une première observation imprévue et indéterminée d'avance dont l'apparition pourra suggérer une hypothèse fructueuse ».

Une condition essentielle de l'hypothèse, c'est qu'elle soit vérifiable expérimentalement.

La méthode expérimentale a pour but la transformation de l'hypothèse fondée sur une intuition ou un sentiment des choses en une interprétation a posteriori basée sur l'étude expérimentale des phénomènes.

Elle s'appuie successivement sur le sentiment, la raison et l'expérience. Elle ne se rapporte qu'à la recherche des vérités inconscientes, extérieures et objectives et non à celle des vérités intérieures, conscientes ou subjectives. Le sentiment engendre l'idée ou hypothèse expérimentale qui est l'interprétation anticipée des phénomènes examinés. La raison (le raisonnement) sert à déduire les conséquences de cette idée et à les soumettre au contrôle de l'expérience. Le raisonnement expérimental s'exerce sur des observations, mais en réalité, il s'applique aux idées que l'aspect de ces phénomènes a éveillé dans notre esprit. Dans les sciences, le raisonnement va tantôt des faits aux idées (du particulier au général : induction) et tantôt des idées aux faits (du général au particulier : déduction).

L'idée est, en fait, le point de départ et le but de tout raisonnement scientifique.

L'expérimentateur institue donc l'expérience pour qu'elle fournisse un résultat servant de contrôle à l'hypothèse formulée. Dès que le résultat de l'expérience se manifeste, l'expérimentateur se trouve en présence d'une observation qu'il a provoquée et qu'il doit constater comme toute observation, sans idée préconçue. L'expérimentateur doit être un bon observateur. Les faits expérimentaux étant observés, l'expérimentateur raisonnera, comparera et jugera si l'hypothèse expérimentale est vérifiée ou infirmée. Si l'hypothèse ne se vérifie pas, elle disparaît, mais les faits qu'elle aura servi à trouver resteront acquis.

Toutefois, nous ne sommes jamais sûrs d'avoir vu,

au cours de l'examen d'un phénomène, tout ce que nous présente la Nature. Il en résulte que si le raisonnement nous guide dans la science expérimentale, il ne nous impose pas nécessairement ses conséquences qui doivent être contrôlées expérimentalement. De cette façon, le chercheur garde entière sa liberté d'action fondée sur le *doute philosophique*. Lorsque le fait expérimental est en opposition avec une théorie, il faut accepter le fait et abandonner cette dernière.

« Le grand principe expérimental est le doute philosophique qui laisse à l'esprit sa liberté et son initiative et d'où dérivent les qualités les plus précieuses pour un investigateur » a dit Claude BERNARD qui ajoutait : « Il faut garder sa liberté d'esprit et croire que, dans la Nature l'absurde n'est pas toujours, impossible ». Toutefois, il faut se garder de confondre le doute philosophique et le scepticisme. Si nous devons douter de la conclusion de notre raisonnement, c'est parce que notre point de départ repose toujours, au fond, sur des hypothèses ou sur des théories plus ou moins imparfaites. Les vérités expérimentales, qui sont inconscientes, ne peuvent nous être connues que d'une manière relative à l'état actuel de notre science.

Au cours du siècle dernier et au début du vingtième siècle, on admettait qu'il existait un *déterminisme absolu*, en ce sens que le rapport d'un phénomène à une cause déterminée semblait nécessaire et indépendant de l'expérience. Partant de là, un phénomène naturel étant donné, aucun expérimentateur ne pouvait admettre qu'une variation dans l'expression de ce phénomène apparaisse, sans, qu'en même temps, ne soient survenues des conditions nouvelles dans sa manifestation. L'expérimentateur avait, en outre, la certitude *a priori* que ces variations étaient déterminées par des rapports rigoureux et mathématiques. L'expression de ce déterminisme absolu se retrouve dans la phrase bien connue de LAPLACE : « une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la Nature est animée et la structure respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome ; rien ne serait incertain pour elle et l'avenir comme le passé seraient présents à ses yeux ».

Cependant, l'expérience nous montre que notre raison et la science qu'elle crée sont soumises à la loi d'évolution comme tous les êtres vivants et l'univers lui-même.

La conception nouvelle du *déterminisme statistique* de la connaissance actuelle que nous avons d'un système matériel ne permet de prévoir que des probabilités quant aux divers états ultérieurs possibles de celui-ci. Par ailleurs, nos possibilités de prévision dépendent, avant tout, de notre information qui ne peut s'accroître que par l'action.

Selon le professeur L. LANGEVIN, « le déterminisme statistique substitue à l'attitude contemplative et quelque peu désespérante du déterminisme absolu » (attitude obligatoire dans les sciences d'observation mais qui conduit à ce paradoxe que la science expérimentale issue des besoins de l'action arrive seulement à nier la possibilité même de cette dernière et aboutit à un fatalisme), « une attitude active où se réalise la synthèse du sujet et de l'objet, et où celui-là peut transformer celui-ci sans qu'un implacable destin ail, à l'avance, fixé des limites à cette action ».

1. - CONSTITUTION D'UNE EXPÉRIENCE

Une expérience est un fait ou une succession de faits provoqués dans certaines conditions plus ou moins connues, et dont certaines sont choisies par l'expérimentateur ou connues de lui. Ce dernier évalue les variables mises en cause ou contrôlées et les résultats expérimentaux.

Pour tirer parti des renseignements recueillis, il faut les interpréter, ce qui consiste à rechercher et à définir des relations existant entre les variables mises en cause ou contrôlées et les résultats expérimentaux obtenus. Si l'hypothèse explicative des faits observés est vérifiée en répétant l'expérience, elle devient une loi naturelle.

Une expérience comprend donc 2 parties successives : un plan expérimental qu'il faut préparer et réaliser et l'interprétation des résultats expérimentaux à l'aide des méthodes statistiques, car toute évaluation comporte une certaine indétermination. Cependant, le plan expérimental, ou structure logique de l'expérience, et le procédé statistique d'interprétation des résultats sont deux aspects différents d'un même ensemble qui constitue les exigences logiques de toute expérimentation bien conduite.

L'ensemble des expériences, des inductions, déductions et vérifications successives auxquelles elles donnent lieu constitue l'expérimentation.

2. - ÉNONCÉ ET PLAN DE L'EXPÉRIENCE

L'énoncé de l'expérience doit conduire à envisager les limites et les caractéristiques tant essentielles qu'auxiliaires de l'expérience. Il doit être clair, précis et complet.

En étudiant un plan expérimental quelconque, il faut toujours prévoir tous les résultats possibles et décider, sans ambiguïté, quelle interprétation conviendrait à chacun d'eux.

Le problème à traiter doit être précisé avant de commencer l'étude du plan expérimental.

3. - SEUIL DE SIGNIFICATION DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

L'expérimentation porte sur un monde complexe et l'on est jamais certain d'avoir envisagé toutes les données d'un problème ni d'avoir obtenu tous les

résultats d'une expérience. Toutefois, afin de tirer parti de l'expérimentation, il faut pouvoir passer du particulier au général ou généraliser les conclusions tirées d'une expérience qui n'est qu'un cas particulier. En le faisant, il faut savoir le degré d'incertitude que l'on risque, ce qui revient à estimer le degré de confiance ou la signification des résultats expérimentaux.

L'expérimentateur peut être plus ou moins exigeant quant à la part d'incertitude — due au hasard — dont il se contente pour que les résultats d'une expérience soient considérés comme positifs, c'est-à-dire significatifs. En général, on admet qu'une probabilité de 5 % ($P \leq 0,05$) laissée à l'effet du hasard est le seuil normal à partir et en dessous duquel les résultats sont considérés comme n'étant pas dûs au hasard, laissant à ce dernier une chance sur 20 d'avoir été la cause du phénomène considéré.

Si $0,05 < P \leq 0,35$, la part laissée au hasard est trop élevée et l'on doit considérer que l'événement n'est pas significatif, bien qu'il existe une tendance demandant à être corroborée par une autre ou plusieurs autres expériences. Les tables de x/σ , t ,... permettent d'évaluer la probabilité d'un résultat expérimental.

Aucune expérience isolée, même si elle est significative en elle-même, ne peut suffire pour assurer la démonstration expérimentale de n'importe quel phénomène naturel, car elle ne garantit pas contre l'action imprévisible et normale du hasard. Pour affirmer qu'un phénomène naturel est démontré expérimentalement, il est donc indispensable de disposer d'un ensemble de résultats obtenus en suivant une bonne méthode d'investigation.

4. - L'HYPOTHÈSE NULLE

Nous avons vu qu'une expérimentation est une succession de faits provoqués et que l'expérimentateur tâche de relier les résultats obtenus aux données par un raisonnement explicatif intuitif ou hypothèse. Cette dernière permet de classer les résultats expérimentaux en 2 catégories : ceux qui se montrent significativement différents de l'hypothèse explicative et ceux qui n'en sont pas différents.

L'hypothèse que l'on se propose de vérifier par l'expérience doit être explicitement formulée au moment où l'on établit le plan de l'expérience, afin d'éviter toute confusion.

On adopte généralement l'hypothèse nulle de FISHER qui consiste à admettre que le hasard seul intervient dans la distribution des résultats expérimentaux et on tâche de prouver le contraire. Si l'on n'y parvient pas pour un seuil de signification déterminé, on admet que les différences constatées sont l'effet du hasard.

FISHER note que l'hypothèse nulle n'est jamais prouvée mais peut être désapprouvée par l'expérience et que chaque expérience est entreprise afin de donner aux faits une chance de réfuter l'hypothèse nulle.

« L'hypothèse nulle doit être exacte, sans vague,

sans ambiguïté, car elle doit fournir la base du problème de distribution dont le test de signification est la solution » (FISHER).

On ne peut d'ailleurs admettre l'hypothèse contraire comme hypothèse nulle, aussi raisonnable soit-elle, car elle peut être réfutée par une simple faute et parce que sa vérification exigerait un nombre infini d'épreuves.

5. - DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

On croit souvent que, pour obtenir une bonne expérience, il est nécessaire et suffisant de réaliser des conditions particulièrement identiques pour toutes les variables intervenant, sauf pour celles dont on désire éprouver le comportement.

L'obtention de conditions rigoureusement identiques est impossible à réaliser, quels que soient les soins apportés et l'adresse de l'expérimentateur, du fait surtout des causes incontrôlables qui sont innombrables. Le raffinement de l'expérience ne conduit donc pas au but recherché qui revient, en définitif, à mieux utiliser les ressources dont dispose l'expérimentateur. Pour y parvenir, il faut rechercher les causes de trouble, faire disparaître certaines d'entre elles (erreurs évitables ou systématiques) et laisser délibérément agir les autres.

En biologie, on a observé que les causes de trouble qui introduisent des divergences dans les moyennes de mesures portant sur un matériel semblable produisent naturellement des effets qui sont représentés par une distribution normale. Aussi, en matière de recherches agronomiques — en génétique et en microbiologie exceptées — on tâche d'obtenir une distribution normale des résultats expérimentaux.

Dans ce but, il est indispensable que chaque erreur individuelle ait une chance égale et indépendante d'être positive ou négative, ce qui conduit à une distribution d'erreurs symétrique par rapport à la moyenne (distribution normale) car, à chaque erreur positive correspond une erreur négative égale et qui se produit avec une égale probabilité.

D'ailleurs, l'hypothèse nulle consistant à admettre que la distribution des résultats d'une expérience ne dépend que du hasard, il est nécessaire que le dispositif expérimental respecte cette condition et ne laisse intervenir aucune cause qui modifierait l'action du hasard. Pour cela, les causes de trouble que nous sommes impuissants à contrôler doivent faire partie de celles qui constituent le hasard.

En définitive, *en assignant à chaque traitement une position ne dépendant que du hasard, l'expérimentateur acquiert la certitude que les estimations de l'erreur auxquelles il aboutira tiendront compte de toutes les causes de variation, et elles sont innombrables, qui ont agi sur l'expérience et il sera délivré du souci d'avoir à considérer et à estimer leur action.*

6. - DIMENSIONS D'UNE EXPÉRIENCE

L'expérience doit être assez importante ou répétée un nombre suffisant de fois pour pouvoir démontrer la prédominance de classifications correctes malgré les causes de trouble (erreurs occasionnelles ou expérimentales).

L'unique but des raffinements expérimentaux est d'augmenter la sensibilité de l'expérience, ce qui peut d'ailleurs être également obtenu en accroissant la dimension de l'expérience ou en la répétant. Dans ces deux derniers cas, on augmente le nombre de résultats, ce qui permet d'obtenir un degré plus bas de discrimination impulsive. « Puisque, dans chaque cas, l'expérience peut nier mais jamais prouver l'hypothèse nulle, la valeur de celle-ci est augmentée chaque fois que l'on arrive à pouvoir nier plus facilement l'hypothèse nulle » (FISHER).

7. - CAS PARTICULIER DES ESSAIS COMPARATIFS DE RENDEMENT

a) Importance de la répétition dans un essai comparatif de rendement.

La répétition d'un même traitement poursuit deux buts distincts et complémentaires.

D'une part, elle permet de réduire l'erreur affectant le rendement moyen de chaque traitement

$$\left(\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

et, de ce fait, elle accroît la précision de l'expérience.

D'autre part, elle fournit une estimation de l'erreur expérimentale qui permet de déterminer la signification statistique de la comparaison des résultats donnés par deux traitements mis en cause. En effet, même si l'étendue du champ d'essais était uniforme, il faudrait vingt ans d'expériences au cours desquelles cette uniformité serait maintenue constante pour déterminer d'une façon grossière et à la probabilité de $P = 0,05$, ce qui correspond à une chance sur vingt laissée au hasard, la signification de la différence constatée entre les rendements de deux traitements, cultivés chacun sur une seule parcelle au cours d'un même essai annuel. La répétition conduisant à une estimation convenable de l'erreur expérimentale affectant le rendement moyen de chaque traitement permet, grâce à l'emploi du critérium $t = d/\sigma_d$ de déterminer d'une manière satisfaisante la signification des comparaisons de traitements.

Dans ces conditions, on doit alors éprouver les traitements à étudier, non sur diverses parcelles d'un terrain de fertilité identique sur toute son étendue, qu'il est impossible de trouver dans la Nature, mais sur des parcelles groupées en répétitions et représentant des échantillons de ce terrain, sur lequel on répartit, au hasard, les traitements considérés. L'estimation de

l'erreur expérimentale est obtenue par la comparaison des parcelles traitées de la même façon.

L'attribution au hasard des traitements aux diverses parcelles du champ, garantit la validité du critérium de signification employé, qui est basé sur une estimation de l'erreur rendue possible par la répétition.

Remarque. — En dehors de la répétition, de nombreux autres facteurs contribuent aussi à accroître la précision d'un essai comparatif de rendement. L'expérimentateur ne devra jamais négliger de les utiliser à fond car la négligence des précautions ordinaires qui demandent évidemment du soin et un contrôle sévère, peuvent conduire à des résultats dépourvus de signification. Ce sont, entre autre, la précision de la récolte et de la pesée du produit, l'exécution des mensurations et des piquetages des parcelles, le soin apporté dans le choix de la surface de chaque parcelle, de chaque répétition, la réalisation aussi parfaite que possible de conditions identiques pour les différentes parcelles, la protection de la récolte contre les dégâts, accidents, pertes. En outre, l'expérimentateur devra s'attacher à réduire les causes d'erreur dues à l'hétérogénéité du sol.

b) Choix de l'énoncé de l'expérience et établissement du plan expérimental.

Pour les essais en plein champ, les traitements à mettre en cause doivent être choisis avec beaucoup de soins. Pour cela, il faut estimer la grandeur de la différence entre les traitements qu'il est raisonnable de rechercher. On conseille de choisir, lorsqu'on entreprend une expérimentation en plein champ, une variation de traitements mettant en évidence des différences de rendement relativement importantes, et, par la suite, de modifier graduellement cette variation, au cours d'essais ultérieurs, pour déterminer le traitement optimum.

Le degré de complexité d'une expérience ne dépend que de l'habilité du personnel et des facilités de travail. Il est préférable de réaliser une expérience simple bien conduite plutôt qu'un essai complexe dont les résultats seraient douteux par suite des difficultés d'exécution et d'interprétation.

Tous les détails de l'expérience doivent être spécifiés lors de l'établissement du plan expérimental (terrain, parcelle, méthode de culture, plante, fumure, évaluation du rendement, classement du produit, observations quantitatives et qualitatives végétales, agrologiques, climatologiques et phytosociologiques).

c) Prix de revient de l'expérimentation.

Une bonne expérimentation doit être économique et cela est surtout vrai pour l'expérimentation en plein champ qui demande une surveillance attentive et vigilante de l'exécution, ce qui en fait une forme coûteuse de recherche. Pour réussir plus certainement en plein champ, il est nécessaire que l'expérimentateur ait une connaissance complète du sol, des exigences des plantes, de la technique culturale et de l'évaluation des rendements. Si cette connaissance fait défaut — cas de cultures nouvelles — il n'est pas recommandable d'entreprendre des essais sur une grande échelle.

En outre, il convient de souligner que le rendement ne représente que le critérium final d'appréciation des effets d'un facteur de croissance des végétaux cultivés et doit être complété par des observations végétales, climatologiques et agrologiques qui éclaireront les conclusions, permettant de retirer d'un essai le maximum de renseignements.

d) Généralisation des résultats fournis par les essais culturaux.

La valeur des essais culturaux doit être appréciée d'après l'augmentation du rendement national qu'elle est susceptible de provoquer.

Mais la nature très variable du sol et du climat constitue un obstacle inévitable et important à la solution facile des problèmes que doit résoudre l'expérimentation en plein champ.

Les conclusions d'un seul essai ne sont d'ailleurs valables que pour les conditions réalisées lors de son exécution. Aussi est-il nécessaire de répéter chaque expérience en de nombreux types de sol et durant plusieurs années afin de déterminer l'incidence des variations du milieu (sol, climat, et facteur social) sur l'efficacité de tout facteur du rendement. En outre, le seuil de signification adopté laisse une chance sur vingt au hasard et un grand nombre de répétitions d'un essai limite donc l'indétermination des résultats et rend possible d'obtenir des conclusions ayant une valeur pratique indiscutable, et pouvant être vulgarisées sans crainte d'échec. A cet égard, il faut souligner que l'expérimentateur ne saurait, s'entourer de trop de garanties avant de passer à la vulgarisation des résultats qu'il a obtenus, car si ses recommandations sont mal fondées, son travail sera critiqué et son action discréditée, ce qui ne manquera pas de nuire à l'évolution de la production agricole à laquelle il concourt dans une très large mesure.

OUVRAGES GÉNÉRAUX A CONSULTER :

Claude BERNARD. — Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Première Partie 1865, rééditée en 1941 par la Librairie A. HATTE, Paris.

R. A. FISHER. — The Design of Experiments, Oliver and Boyd, Londres, 1942.