Zeitschrift: Archives des sciences [2004-ff.]

Herausgeber: Société de Physique et d'histoire Naturelle de Genève

Band: 57 (2004)

Heft: 1

Artikel: Fonctions et formes de l'expérimentation chez Charles Bonnet : esquisse d'une typologie

Autor: Sigrist, René

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738433

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: 12.07.2025

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

Fonctions et formes de l'expérimentation chez Charles Bonnet: esquisse d'une typologie

René SIGRIST*

Manuscrit reçu le 20 mai 2004, accepté le 30 juillet 2004

Abstract

Charles Bonnet's uses and shapes of experimentation: a typological survey – *Based on Charles Bonnet's work, namely his* Recherches sur l'usage des feuilles, *the purpose of this article is to map both the functions and the form of natural experimentation in the middle of the 18th century. It shows that the scientists of that period, who considered experimentation to be the highest level of scientific demonstration, where conscious of the different functional and typological varieties of experimentation. They addressed this issue through detailed narration of research practices, building in so doing what may be termed a rhetoric of transparency. The triumph in the 19th century of new norms of scientific discourse, and in the 20th century that of a philosophy of science based on a different epistemology, caused the empirical practices of the Enlightenment to be forgotten. Today, historians strive to reconstruct, albeit enormous gulfs in terminology, the main divisions established by natural historians of that period between exploratory and demonstrative (or discriminant) experimentation. By his systematic preference for discriminant experimentation, Charles Bonnet's work is a good example of a logical approach of natural history. But it does not exhaust an 18th century «art of observation» that also combined many other means, notably in the fields of taxonomy, anatomic dissection, chemical analysis and physical measures.*

Key-words: *Charles Bonnet, natural experimentation, typology, 18th century.*

Résumé

En se basant sur l'œuvre de Charles Bonnet, et particulièrement sur ses Recherches sur l'usage des feuilles, *le présent article s'efforce de caractériser les fonctions et les formes de l'expérimentation naturaliste du milieu du XVIIIe siècle. Il montre que les savants des Lumières qui voyaient dans l'expérimentation la forme la plus achevée de la démonstration scientifique étaient très conscients de la variété fonctionnelle et typologique de l'expérimentation, qu'ils mettaient en évidence par le moyen d'une narration détaillée des opérations effectuées (rhétorique de la transparence). Il a fallu le triomphe, au XIXe siècle, d'une norme «laplacienne» de la démonstration scientifique, et au XXe siècle celui d'une philosophie des sciences orientée vers d'autres problématiques, pour que se perde la conscience de cette richesse des pratiques empiriques des Lumières. Mais les historiens d'aujourd'hui tendent à retrouver, malgré la différence des terminologies employées, les grandes divisions établies par les savants du XVIIIe siècle entre observation exploratoire et expérimentation démonstrative (ou discriminante). Par sa préférence pour les expériences discriminantes, Charles Bonnet illustre un style de recherches que l'on peut qualifier de «naturalisme logicien». Mais celui-ci est loin d'épuiser les richesses d'un «art d'observer» des Lumières également multiforme dans les domaines de la taxonomie, de la dissection anatomique, de l'analyse chimique et de la mesure physique.*

Mots-clefs: *Charles Bonnet, expérimentation naturaliste, typologie, XVIIIe siècle.*

L'idée que l'expérience scientifique puisse revêtir des fonctions différentes ne va pas forcément de soi. Pour une certaine historiographie d'inspiration philosophique, longtemps dominante, l'expérimentation remplit en effet toujours plus ou moins le même rôle: celui de vérifier des théories, des hypothèses ou des lois mathématiques[1]. Cette vision classique a été sérieusement nuancée par plusieurs auteurs récents, dont Hacking (1988) et Galison (1988), qui ont montré la grande complexité des rapports entre théorie, hypothèses et savoirs informels d'une part, instrumentation, savoir-faire techniques et conduite pratique des expériences de l'autre, sans parler de la

[1] Cette historiographie, qu'on pourrait qualifier de «classique», trouve notamment ses origines dans les réflexions d'épistémologues comme Popper ou Reichenbach sur les caractéristiques de la science.

* *Chemin Naville 20, 1231 Conches*

formalisation des données, de leur traitement, etc.[2]. Plus récemment encore, des historiens comme Steinle (1997, 2000) et Burian (1997) ont relevé, dans la pratique de chercheurs comme Ampère, Brewster, Hertz ou Brachet, l'existence d'au moins deux types d'expériences différentes, qu'ils qualifient d'«exploratoires» et de «guidées par la théorie»[3]. Steinle (1997, 2000) ajoute que dans leur volonté de se conformer à une norme dominante définissant ce que devait être une recherche de caractère scientifique, les physiciens des XIXe et XXe siècles ont généralement passé sous silence la partie exploratoire de leurs investigations[4]. C'est donc à l'historien qu'il appartient de rétablir la vérité, c'est-à-dire la logique de la pratique scientifique effective. En épluchant les carnets de laboratoire, il est ainsi en mesure de révéler l'existence d'expériences exploratoires, à l'aide desquelles ces physiciens se sont efforcés de défricher des champs d'investigation nouveaux, d'élaborer et de stabiliser de concepts, ou de former des schémas de classification des phénomènes[5].

S'ils avaient travaillé sur l'histoire naturelle du XVIIIe siècle, ces historiens n'auraient pas eu l'impression de faire une découverte en parlant d'expériences exploratoires. Dans un paysage épistémologique radicalement différent de celui qui prévaudra par la suite, avec le triomphe du déterminisme laplacien, l'expérimentation de caractère exploratoire était en effet loin de se dissimuler. Elle fonctionnait au contraire comme instance légitimante de pratiques empiriques qui cherchaient encore à s'imposer au détriment de pratiques spéculatives liées à la prédominance longtemps maintenue des systèmes mécanistes[6]. Nous avons montré dans un précédent article consacré à Bonnet le rôle de l'expérimentation, qu'elle soit discriminante, analytique ou même exploratoire, comme composante de la rhétorique de la preuve scientifique[7]. Au milieu du XVIIIe siècle, cette rhétorique de la transparence faisait même de la description minutieuse de la démarche suivie, des expériences effectuées et des précautions prises l'élément central de la démonstration scientifique et de l'administration de la preuve[8]. Loin d'être perçue comme un danger pour la rigueur de la démarche scientifique, la narration d'expériences exploratoires, parfois non abouties, apparaissait comme un moyen de démontrer la bonne foi de l'observateur et son absence de préjugés théoriques. Nous voudrions mettre à profit cette apparente bonne foi des savants des Lumières pour approfondir, à propos de Charles Bonnet, la question de la typologie des pratiques expérimentales. A de rares exceptions près[9], cette question paraît avoir peu préoccupé les historiens des sciences. Mais qu'en est-il des contemporains eux-mêmes?

Une distinction formelle entre observations et expériences

Pour désigner ses opérations concrètes, Bonnet parle lui-même d'«observations». Le terme d'«expériences» n'apparaît que tardivement, dans ses «Mémoires sur la régénération de la tête du limaçon et des membres de la salamandre» (1777-81). Les raisons de cette différence terminologique ne sont d'ailleurs explicitées nulle part, mais l'on peut se reporter à ce que son disciple Jean Senebier explique au début de son *Art d'observer* (1775), où il oppose le caractère passif et «naturel» de l'observation au caractère actif et «artificiel» de l'expérience:

«L'Observation est ce regard attentif et réfléchi que l'âme porte par le moyen des sens sur les objets de la Nature tels qu'ils sont dans l'Univers, afin d'acquérir une connaissance exacte de leurs qualités, de leurs causes ou de leurs effets. L'Expérience est cette voie d'étudier les objets de la Nature par les épreuves qu'on fait subir à ceux qu'on veut pénétrer, que l'art prépare dans ce but, et dont le résultat instruit l'âme en agissant sur elle par le moyen des sens. Ainsi, la connaissance qu'on acquiert par l'observation est celle de la Nature elle-même; au lieu que la connaissance qu'on obtient par l'expérience est seulement celle d'un essai imaginé pour sonder la Nature; de sorte que, tandis que le Philosophe observateur aperçoit la Nature, celui qui fait des expériences cherche les moyens de l'apercevoir»[11].

En d'autres termes, on peut distinguer trois degrés d'intervention sur la nature:

2 Voir entre autres Hacking (1983, 1988) et Galison (1988).
3 «theory-driven» and «exploratory» experimentation (Steinle 1997, Burian 1997).
4 Steinle (2000, inédit).
5 Steinle (1997).
6 Sur les efforts déployés par Boyle pour établir la légitimité d'un discours scientifique fondé sur l'expérience, voir Shapin et Schaffer (1993).
7 Sigrist (2001).
8 Le *Traité d'insectologie* de Bonnet (1745), qui visait en réalité à fournir des arguments aux défenseurs de la théorie de la préformation oviste, ou du germe, se présentait ainsi comme une double série d'observations décrites de façon très détaillée. Cette narration précise était censée offrir aux chercheurs la possibilité de reproduire les épreuves en question.
9 L'une d'elles est l'étude de Trumpler sur les vérifications expérimentales du galvanisme dans les années 1790-1800 (Trumpler 1997).
10 Bonnet (1781a) et Bonnet (1781b).
11 Senebier (1775, pp. 2-3).

- des *observations au naturel*, ou à la loupe;
- des *observations provoquées*, menées à l'aide de dispositifs appropriés (observations in vitro, ou dans des lieux bien isolés);
- des *expériences* proprement dites, qui consistent le plus souvent à modifier un paramètre de la réalité (sectionnement d'un organe par exemple).

Développant à propos de Saussure cette opposition entre l'observateur réaliste, «appelé à lire la nature telle qu'elle est, et à la peindre comme ses sens l'aperçoivent», et l'expérimentateur proprement dit, qui, loin de demeurer spectateur, «est en conversation réglée avec la nature, et se trouve presque obligé d'en faire seul tous les frais», Senebier en arrivera ultérieurement à affirmer que pour l'expérimentateur:

«il faut forcer les phénomènes à s'expliquer par une violence importune; il faut imaginer des questions pour parvenir à les pénétrer, être attentif aux réponses pour en solliciter de nouvelles, et profiter de ce qu'on aperçoit pour en tirer la lumière qu'on cherche»[12].

Tirant toutes les conséquences de cette distinction, il en viendra même à penser que l'expérience, artificielle, ne répond qu'aux conditions du laboratoire, et qu'elle doit par conséquent être confirmée par l'observation dans la nature[13].

Cette distinction n'apparaît pas aussi nettement chez Charles Bonnet, qui ne semble guère s'interroger sur le statut épistémologique d'une opération artificielle sur la nature. En d'autres termes, il ne se pose pas de questions sur le statut ontologique de la réalité reconstituée in vitro, et donc sur la légitimité d'une expérience, même lorsque celle-ci est explicitement conçue comme une reproduction mécanique de la nature[14]. Dans ses *Recherches sur l'usage des feuilles*, il opère ainsi tantôt en plein air, sur des individus entiers, tantôt en cabinet, sur des portions de plantes, ou même sur de simples feuilles confinées dans des poudriers ou d'autres dispositifs de séquestration. Pour les besoins de l'analyse, il est prêt à démonter les plantes comme des horloges et croit à la possibilité de comprendre les mouvements des feuilles par analogie avec des modèles artificiels.

Sans aller jusqu'à affirmer que le vivant ne présente aucune spécificité, Bonnet rejette l'idée que les mouvements des feuilles puissent être provoqués par une quelconque «âme végétative». Il pense que la complexité presque indéfinie des ensembles organisés peut ainsi être ramenée, sinon réduite, à l'analyse de rapports entre des parties simples elles-mêmes dotées de propriétés ou de fonctions élémentaires. Ceci ne signifie pourtant pas que l'analyse du vivant soit si facile à mener, puisqu'il admet que la structure de l'espèce la moins élevée sur l'échelle des êtres l'emporte encore sur le plus beau chef-d'œuvre de l'horlogerie[15].

Max Grober a cru pouvoir affirmer que si Bonnet ne parle guère d'expérience, c'est que celle-ci se résume pratiquement chez lui à établir les conditions nécessaires à l'observation[16]. Son expérience type serait donc celle de la séquestration du puceron, ou telle autre qui consisterait à isoler des organismes dans une jarre de verre bien éclairée. Plutôt que d'expériences, il s'agirait donc d'«observations provoquées», un terme qui a l'avantage de rendre compte du caractère intentionnel, voire artificiel, des circonstances dans lesquelles elles se déroulent. Malgré tout, la palette des investigations empiriques de Bonnet est beaucoup plus large que ne l'affirme Grober, puisqu'elle comprend de nombreux types d'opérations qui consistent à modifier un paramètre de la réalité. Ses procédures discriminantes en particulier ne sont pas seulement des observations provoquées, mais de véritables expériences, au sens d'actes artificiels sur la nature.

On notera toutefois, pour conclure sur ce point, que Senebier rangeait également le recours à des instruments tranchants, comme le scalpel ou la pioche, parmi les actes d'observation, au même titre que l'emploi du microscope et du télescope, ou l'utilisation d'injections colorées[17]. Pour lui, le type même de l'expérimentation (artificielle) n'est donc pas la dissection anatomique, mais l'expérience chimique, au travers de laquelle le savant cherche «des effets nouveaux par des combinaisons inconnues à la Nature»[18]. Si l'on donne à l'expérimentation ce sens restrictif, alors Bonnet demeure en effet un observateur. Contrairement à son disciple, il se montre d'ailleurs réticent quant à l'utilisation de l'analyse chimique dans le domaine de l'histoire naturelle. Et il est de fait que la conduite de ses investigations empiriques demeure pour l'essentiel une affaire de discrimination logique entre différents facteurs de causalité, et non une question d'analyse chimique ou de mesures physiques.

[12] Senebier (1801, pp. 85-86).

[13] Senebier écrira en effet, à propos des *Essais sur l'hygrométrie* de Saussure: «Cette longue suite d'expériences neuves et importantes, faites avec les plus grandes précautions dans des vaisseaux fermés, n'offrait que des résultats propres à satisfaire la curiosité du physicien dans son cabinet; il fallait encore demander à la nature si elle reconnaissait ces lois, et confirmer l'expérience par l'observation» (Senebier 1801, p. 92).

[14] Sans doute faut-il y voir l'effet d'une rupture incomplète avec le mode de pensée mécaniste.

[15] Bonnet a d'ailleurs consacré la partie IX de sa *Palingénésie* à des «Réflexions sur l'excellence des machines organiques».

[16] Grober (1992, p. 129).

[17] Comme Bonnet et la plupart de ses contemporains, Senebier ne semble donc pas avoir totalement conscience de la spécificité du vivant. En l'absence d'une définition opératoire de la vie, les naturalistes du XVIIIe siècle qui travaillent sur les lois et les causes s'intitulent d'ailleurs «physiciens», que l'objet de leurs études soit animé ou non.

[18] Senebier (1775, p. 4).

Une distinction fonctionnelle: l'observation analytique et l'expérience démonstrative

Dans le compte-rendu des *Recherches sur l'usage des feuilles*, paru dans la *Bibliothèque impartiale*, apparaît, sous la plume d'Albrecht von Haller ou de Samuel Formey, une autre forme de distinction entre observation et expérience:
«L'Observation recueille les faits, la Réflexion les combine, l'Expérience vérifie le résultat de la combinaison»[19].
Cette distinction, fonctionnelle plutôt que formelle, nous paraît mieux correspondre que celle de Senebier à la pratique de Bonnet, c'est-à-dire à sa méthodologie implicite. Celle-ci est en effet basée sur deux types d'observations ou d'expériences:

- d'une part, les épreuves *analytiques*, destinées à recueillir et établir des faits, un peu à la manière des observations selon la définition de Haller ou Formey.
- d'autre part, les épreuves *démonstratives*, chargées d'étudier les «relations entre les choses», ce qui correspond à peu près au rôle de l'expérience selon Haller ou Formey.

Cette distinction fondamentale mérite quelques précisions.
Les observations ou expériences à caractère *analytique* ont tantôt une fonction exploratoire ou descriptive, tantôt une fonction généralisante. Elles contribuent d'une part à la constitution des «faits»[20] eux-mêmes, c'est-à-dire des objets d'étude (cas des observations effectuées sur les différents mouvements des feuilles), ainsi qu'à l'établissement de typologies phénoménales. D'autre part, elles participent à la généralisation analytique des «faits» déjà mis en évidence, autrement dit à l'étude de leur extension, de leurs variations, et éventuellement de leur développement dans le temps (exemple de la circulation de la sève). Elles peuvent prendre la forme d'observations simples ou provoquées, aussi bien que d'expériences véritables. Elles correspondent en gros aux «expériences exploratoires» des historiens modernes[21].
Les expériences *démonstratives* visent généralement à valider ou infirmer une hypothèse (par exemple celle de la dégénérescence du blé en ivraie), mais aussi à étudier une relation entre deux «faits» (comme la présence ou l'absence de lumière en liaison avec l'étiolement), voire à mettre en évidence l'existence d'un phénomène (comme le redressement des tiges). Elles prennent généralement une forme *discriminante* chez Bonnet et consistent le plus souvent à isoler une variable ou une partie structurale, ou à interrompre un rapport au moyen d'une procédure adéquate (séquestration, fragmentation, etc.). Dans certains cas, elles peuvent prendre le caractère d'une épreuve cruciale singulière. Ces épreuves sont à rapprocher des «expériences dirigées par la théorie» des historiens modernes.
Ces distinctions, qui n'apparaissent pas chez Bonnet d'une manière explicite, sont bien entendu loin d'être aussi nettes dans la pratique. Même la primauté chronologique de l'expérience analytique sur l'expérience discriminante, autrement dit de la constitution des faits sur la formulation d'une hypothèse n'est pas toujours claire: il arrive en effet qu'une investigation discriminante parte d'une hypothèse quasiment a priori, ou formulée sur la base d'une simple observation exploratoire. Et l'analyse proprement dite peut se développer après[22].
Deux tactiques de recherche se font jour dans l'ouvrage de Bonnet sur l'usage des feuilles. Dans l'étude de questions relativement simples à concevoir et à mettre en opération (étiolement, usage des cotylédons, dégénérescence supposée du blé en ivraie, voire circulation de la sève), il recourt généralement d'emblée à des expériences démonstratives, de type discriminant, qui suivent une logique de validation ou d'infirmation d'une hypothèse. Sur ce genre de questions, les investigations de Bonnet aboutissent en général à des résultats assez tranchés, qui peuvent être considérés comme des succès. En revanche, dans l'analyse de fonctions plus complexes telles que la nutrition des plantes par leurs feuilles, la mise en oeuvre d'expériences cruciales n'est que rarement possible parce que l'analyse logique s'avère difficile à mener. Bonnet multiplie alors les séries expérimentales dans lesquelles les «faits» sont établis et analysés au moyen d'expériences exploratoires et généralisantes, ou par des expériences discriminantes qui ne sont pas décisives. Il arrive donc souvent que les résultats obtenus ne soient que provisoires ou incertains. Ceci explique d'ailleurs les réticences de nombreux historiens face à un ouvrage que les contemporains avaient bien accueillis .

Le rôle des procédures analytiques: collecte et caractérisation, ou exploration et généralisation des «faits»

En parlant d'«accumulation indigeste de faits» à propos des *Recherches sur l'usage des feuilles*, Julius Sachs a peut-être mis le doigt sur une caractéristique

[19] *Bibliothèque impartiale*, t. IX, article V, p. 222. Dans notre article de 2001 (Sigrist 2001), nous avons attribué ce compte rendu à Samuel Formey, l'éditeur du recueil, mais il se pourrait bien qu'il s'agisse en réalité d'Albrecht von Haller, plus rompu à la critique de ce genre d'ouvrages.
[20] L'expression est de Bonnet, qui l'utilise notamment dans la préface de sa *Contemplation de la nature*.
[21] Steinle (1997).
[22] Steinle a montré que chez Ampère au contraire, trois semaines d'expériences exploratoires et analytiques avaient précédé une longue phase d'expériences guidées par la théorie (Steinle 2000, inédit).

fondamentale de la tactique d'enquête de Bonnet, qui est la multiplication des séries d'expériences, et particulièrement des opérations analytiques à vocation exploratoire ou généralisante. La complexité des sujets abordés n'autorise d'ailleurs que rarement la mise sur pied d'expériences cruciales. Une bonne partie des *Recherches* se résume ainsi à des opérations d'inventaire et de description, qui visent soit à repérer de nouveaux phénomènes ou de nouvelles variantes, soit à réexaminer «des faits qui n'ont pas été jusqu'ici assez approfondis». L'impression d'accumulation qui en résulte est d'autant plus forte que le champ d'investigation de Bonnet tend à s'élargir considérablement par rapport au *Traité d'insectologie*[24].

Les «faits» à étudier ne sont pas choisis au hasard, mais en fonction de leur importance et des conséquences qu'ils permettent de tirer, en l'occurrence pour la compréhension des fonctions des feuilles . Il peut arriver que ce choix résulte de l'observation de singularités comme l'étiolement ou les mouvements des feuilles et des tiges. Il peut aussi correspondre à une question déjà classique comme la dégénérescence du blé en ivraie. Souvent, l'observation ne donne lieu à une recherche que par l'intermédiaire d'une question, formulée explicitement ou non. C'est ainsi par exemple que le constat de différences morphologiques entre le dessus et le dessous des feuilles amène Bonnet à s'interroger, comme le lui suggérait Calandrini, sur l'existence de différences fonctionnelles entre ces deux surfaces. Cette interrogation permet la formulation d'une hypothèse, qui débouche à son tour sur la mise en place d'expériences de type discriminant. Les cas où les investigations sont menées sur un mode purement exploratoire, c'est-à-dire en l'absence de toute hypothèse, même implicite, sont plutôt rares. L'accumulation d'épreuves exploratoires joue néanmoins un rôle important dans l'étude de phénomènes complexes, comme l'illustre le «Mémoire sur le retournement des feuilles», où Bonnet procède à l'examen de toutes les modalités du phénomène, et de ses facteurs supposés. Ceci lui permet de mettre en évidence une bonne douzaine de «faits» ou de circonstances (Fig. 1).

Comme Bonnet l'explique dans la Préface de sa *Contemplation de la nature* (1764), la multiplication des expériences de type *exploratoire*[26], ne constitue que la première phase d'une démarche d'inventaire consistant à «décomposer jusque dans leurs moindres parties» les phénomènes d'une même classe. L'étape suivante doit être de «rapprocher des faits de même genre et de genres analogues», afin d'«examiner ce qu'ils ont de commun et ce qu'ils ont de propre, ce qu'ils ont de constant et ce qu'ils ont de variable»[27]. Mais il ne faudrait pas en conclure à une adhésion de Bonnet au schéma baconien qui part d'expériences multipliées pour aboutir à l'idée de la loi. Son induction est plutôt de type analytique,

- Que le retournement des feuilles s'observe dès qu'elles sortent du bourgeon (§ XXIII).
- Que ce retournement s'effectue au niveau d'une partie plus spongieuse située à l'extrémité du pédicule (§ XXV).
- Que les jeunes feuilles se retournent plus promptement, et qu'à la fin de l'automne, elles ne bougent presque plus (§ XXVI).
- Que les feuilles des herbes se retournent plus promptement que celles des arbres (§ XXVII).
- Que les feuilles se retournent aussi pendant la nuit (§ XXIX).
- Que le retournement se fait plus vite par temps chaud (§ XXX).
- Qu'au soleil, le retournement peut s'opérer en deux heures (§ XXXI).
- Que plus le nombre de retournements augmente, plus l'opération prend du temps (§ XXXII).
- Que des retournements successifs finissent par altérer les feuilles (§ XXXIII).
- Que de jeunes tiges sont aussi susceptibles de se retourner (§ XXXIV).
- Que les inflexions principales des tiges se font dans les nœuds.
- Que le guy fait exception à cette «loi» du redressement (§ XXXIV).
- Que dans les plantes voisines d'un abri, les feuilles présentent le plus souvent leur surface inférieure vers l'abri ou vers l'intérieur de la plante (§ XXXV).

Fig. 1: Un exemple d'investigations exploratoires: inventaire des «Faits» mis en évidence par Bonnet à propos du retournement des feuilles (Recherches, «Second Mémoire»)

[23] Il faudra à peu près un siècle pour que les éloges des contemporains (Formey, Haller, le père Berthier) et de leurs successeurs (Jean Trembley, Saussure, Cuvier, Candolle) fassent place à des appréciations (beaucoup) plus critiques, notamment celle formulée par Julius Sachs en 1865, qui marqua un tournant radical dans la façon d'apprécier les *Recherches* de Bonnet (cf. Sachs 1892).

[24] Au début du premier «Mémoire», Bonnet annonce en effet que ses *Recherches* visent à élucider la signification de toutes les fonctions que l'on a attribuées aux feuilles des plantes, soit la préparation du fluide nourricier, l'introduction de l'air dans le corps de la plante, la succion des particules aqueuses répandues dans l'atmosphère, et, dans une moindre mesure, l'élévation du fluide nourricier, dont Hales avait déjà apporté une démonstration expérimentale. En fait, cet immense programme ne sera pas mené jusqu'à son terme.

[25] «Si parmi les faits qu'on a sous les yeux, il en est un qui paraisse plus important ou plus fécond en conséquences que tout autre, c'est sur ce fait et sur ses conséquences les plus immédiates qu'on doit surtout porter son attention» (*Contemplation de la nature*, Préface, p. XIV).

[26] Ce terme n'apparaît pas chez Bonnet, qui se contente de parler d'observations.

[27] *Contemplation de la nature*, Préface, p. XIV.

quand elle ne répond pas, avec la mise en oeuvre des expériences discriminantes, au schéma observation - hypothèse - vérification expérimentale explicité par Claude Bernard[28].

L'inventaire des procédures analytiques: expériences exploratoires, expériences généralisantes et autres «séquences descriptives»

Une autre forme d'analyse empirique des phénomènes, proche des observations ou expériences exploratoires, est constituée par les épreuves *généralisantes*, qui consistent à étudier la généralité et les limites, autrement dit l'extension, d'un phénomène. Dans les *Recherches sur l'usage des feuilles*, ce type d'investigations est toutefois plus rare que dans le *Traité d'insectologie*. Un des plus beaux exemples est celui des expériences par lesquelles Bonnet s'efforce de démontrer la généralité du retournement des feuilles en plaçant des «jets» de vingt espèces différentes, herbacées et ligneuses, dans une position contraire à celle qui leur est naturelle (Fig. 2). Il observe que celles-ci reprennent toujours leur direction ordinaire, et que le retournement s'opère au niveau du pédicule. Il recherche ensuite la limite du phénomène en retournant quatorze fois de suite un même jet, et constate qu'il aboutit chaque fois à un retour à la position initiale[29].

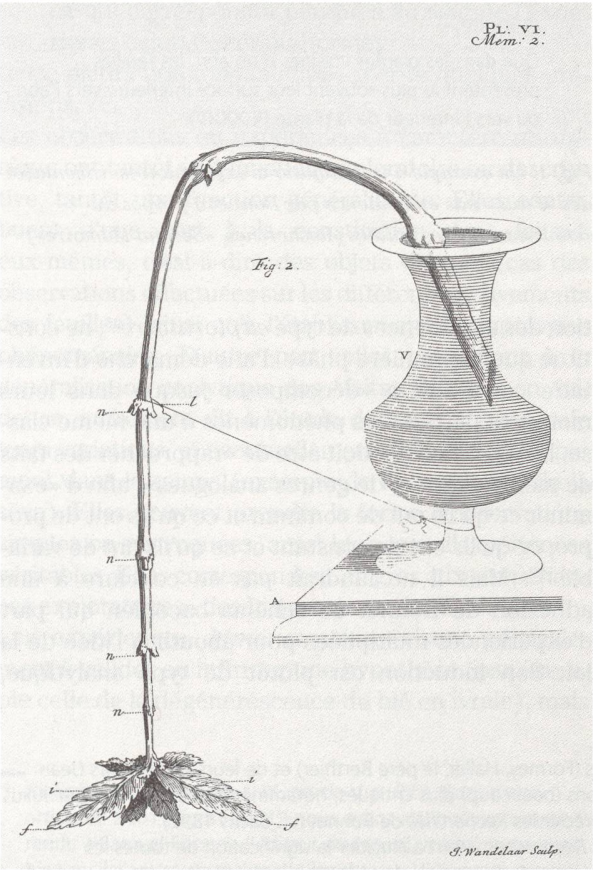

Fig. 2: Illustration d'une procédure d'entravement. Une tige de Mercuriale voit son extrémité supérieure ramenée en bas et maintenue dans cette position par un fil l rattaché au pied du vase, de sorte que la surface inférieure i, i des feuilles regarde le ciel (IIe Mémoire, pl. VI, fig. 2). L'extrémité de la tige ainsi placée ne tardait pas à se retourner vers le ciel, les nœuds n, n servant de principaux points d'inflexion.

Une autre forme d'études, qui ne concerne ni l'inventaire des «formes» phénoménologiques, ni leur analyse dans une perspective généralisante, consiste dans l'étude de processus qui se déroulent dans le temps. On en trouve un exemple dans l'étude de la circulation de la sève, et plus particulièrement dans l'identification des canaux par lesquels elle s'opère. En trempant des plantes par leurs racines dans des infusions colorées, plusieurs naturalistes, qui avaient vu la coloration s'accumuler dans les fibres ligneuses, en conclurent au rôle de celles-ci dans la circulation de la sève. Bonnet comprit toutefois qu'un tel processus devait s'analyser dans le temps. Il conçut ainsi ce que nous appellerons, faute de mieux, une *séquence expérimentale descriptive*[30]. Pour ce faire, il eut l'idée de plonger un groupe de plantes dans la teinture par leurs racines, puis opéra, plante par plante, une série de dissections à des intervalles de temps croissants. Il vit ainsi la coloration s'étendre le long des fibres du bois, puis gagner les fibres de l'écorce[31]. La question de la communication entre l'un et l'autre réseau ne put toutefois être résolue de manière directe, mais sa solution fut inférée à partir d'une série d'indices convergents[32].

Une autre séquence descriptive destinée à mettre cette circulation en évidence consistait à mener des observations continues à l'aide d'un tube de verre contenant du mercure adapté à un tronçon de branche: Bonnet espérait ainsi mettre en évidence l'alternance de l'ascension diurne et de la descente nocturne de la sève, et même «mesurer la force de la sève par l'élévation du mercure», de manière à comparer celle-ci dans différents sujets[33]! Mais l'expérience n'était pas simple à réaliser, et demeura à l'état de

28 Bernard (1865).

29 *Recherches sur l'usage des feuilles*, 2e Mémoire, § XXI et XXII.

30 Il n'est toutefois pas certain que Bonnet ait vraiment perçu le caractère séquentiel, et donc méthodologiquement innovant, de ce genre de procédures.

31 Une variante consistait à utiliser des haricots étiolés, donc semi-transparents.

32 *Recherches*, 5e Mémoire, § XCII, en particulier pp. 279-280. C'est naturellement les feuilles et les fleurs que Bonnet soupçonnait de servir de point de communication, mais les canaux étaient trop fins pour être mis en évidence par la teinture colorée.

33 Bonnet ne doutait pas en effet que la marche de la sève dans la belle saison ne ressemble à celle du mercure d'un thermomètre.

A. Procédures analytiques	
- Procédures exploratoires	Repérage de nouveaux phénomènes, ou «faits», soit inventaire des «formes» et de leurs modalités
- Procédures généralisantes	Etude de la généralité et des limites d'un phénomène, soit analyse de son extension
- Séquences descriptives	Analyse d'un processus par des suites d'observations échelonnées dans le temps
- Variations	Modifications de protocoles expérimentaux (par inversion, modification de paramètre, etc.) afin de «tester» un fait, ses limites ou ses variantes
- «Pêche à la ligne»	Investigation au hasard, sans plan déterminé, dans l'espoir de voir surgir quelque chose d'inattendu
B. Procédures démonstratives non-discriminantes	
- Expériences en miroir	Inversion d'un processus expérimental afin de démontrer la validité d'une explication
- Expériences artificielles	Réalisation de modèles fonctionnant censés reproduire les caractéristiques d'un être naturel
- Applications pratiques	Mise à l'épreuve d'un fait ou d'une découverte à travers un processus technique efficient
C. Procédures discriminantes	
- Séquestration	Isolement d'un organisme par rapport au milieu environnant
- Obturation simple	Interruption de tout échange de substances entre un organisme et son milieu
- Obturation différenciée	Interruption sélective des échanges de substances entre un organisme et son milieu
- Fragmentation	Division d'un organisme en plusieurs parties afin d'étudier les rapports entre ces parties, ainsi que la nature du tout
- Séparation	Prélèvement d'un organe ou d'une partie afin de l'étudier séparément du tout
- Ablation	Enlèvement d'un organe ou d'une partie afin d'étudier sa fonction dans le tout
- Sectionnement	Interruption du rapport entre deux parties d'un organisme ou d'un tout
- Entravement	Gêne apportée au libre exercice d'une fonction organique

Fig. 3: Tentative d'inventaire des formes d'expérimentation mises en oeuvre par Bonnet dans ses Recherches sur l'usage des feuilles

projet. Ceci ne l'empêchera pas d'intervenir comme une expérience de pensée dans la rhétorique de Bonnet[34].

L'inventaire des formes d'épreuves analytiques peut sans doute être poussé plus loin, si l'on se réfère notamment à un «Cours de logique» de Gabriel Cramer, qui fut, avec Jean-Louis Calandrini, le principal maître de Bonnet à l'Académie de Genève[35]. Dans ce texte, qui reflète l'enseignement méthodologique dispensé à plusieurs générations de savants genevois[36], et dont l'un des exemplaires a appartenu à Bonnet lui-même[37], on relève notamment une série de paragraphes relatifs aux «Divers moyens par lesquels on invente et fait de nouvelles expériences, ou l'on s'assure de celles qui ont été faites». Ces moyens de *variation*, au nombre de huit[38], se trouvent pour la plupart à l'œuvre dans les *Recherches sur l'usage des feuilles*. Il s'agit en particulier de la variation proprement dite, de l'extension, de l'inversion, de la conjugaison, de l'application à des objets utiles, et même de l'improvisation au hasard, sans oublier la production «par l'art ce qu'on voit dans la nature», procédé illustré par la fabrication de feuilles artificielles[39]. La diversité de ces moyens, et l'importance accordée à la répétition et à la variation des expériences, contribuent à expliquer la longueur des suites expérimentales présentées dans les *Recherches*.

En ce qui concerne le hasard, Bonnet recourt parfois à des expériences «à l'aveugle», sans questionnement préalable: c'est d'ailleurs une pratique courante

34 La notion d'«expérience de pensée» est bien entendu un concept d'historien, qui n'apparaît pas explicitement chez Bonnet.

35 BPU (= Bibliothèque Publique et Universitaire de Genève), Ms Trembley 34: «Cours de logique par feu M. Cramer, professeur de philosophie». Jean-Daniel Candaux a identifié ce manuscrit comme étant l'exemplaire de Bonnet lui-même, copié par l'un de ses secrétaires (cf. Candaux 1993). Il est à noter que la composition de cette «Logique» est forcément antérieure à 1752 (mort de Cramer) et donc à la publication des *Recherches sur l'usage des feuilles*.

36 Sur l'histoire de ce manuscrit, qui a notamment servi à la confection des articles «Idée», «Induction» et «Probabilité» de la grande *Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, voir Candaux (1993), notamment pp. 83-86. D'autres copies de cette Logique ont circulé à Genève jusqu'au début du XIXe siècle, puisque l'une d'elles est signalée comme ayant appartenu à Nicolas-Théodore de Saussure (1767-1845).

37 Voir note 35. Il est toutefois curieux de constater que dans ses *Mémoires autobiographiques*, Bonnet signale de préférence une «petite logique manuscrite» de Calandrini, qu'il dit avoir lue avec davantage de profit que l'Art de penser de Nicole (cf. Savioz 1948, p. 47).

38 Selon Cramer, on peut en effet multiplier les expériences: «1° en les variant; 2° en les étendant; 3° en les renversant; 4° en étendant la qualité sur laquelle on fait l'expérience; 5° en produisant par l'art ce qu'on voit dans la nature; 6° en les appliquant à quelque chose d'utile; 7° en réunissant deux expériences sur un même sujet; 8° en se livrant au hasard» (Logique de Cramer, §§ 440-447).

39 *Recherches*, 2e Mémoire, § LIII.

au XVIIIe siècle, que Claude Bernard qualifiera de «pêche à la ligne»[40]. Mais dans l'ensemble, le savant genevois n'est pas partisan d'une multiplication d'opérations de ce genre. Au fil de son œuvre, il insistera au contraire d'une manière croissante sur la nécessité d'encadrer les expériences par un véritable processus de réflexion analytique, qui permet de définir des protocoles plus discriminants et de donner un sens plus précis aux résultats d'expériences

Les procédures démonstratives et discriminantes: esquisse d'une typologie

Parmi les formes d'investigation démonstratives ou probatoires auxquelles recourt volontiers Bonnet, il convient de relever les expériences en miroir, l'exécution de modèles artificiels et les applications utiles de faits expérimentaux. Toutes ces opérations, qui relèvent de la question de l'administration de la preuve, méritent de constituer une catégorie à part, que l'on pourrait appeler les *procédures démonstratives non-discriminantes*, afin de souligner leur absence de caractère crucial.

En règle générale, Bonnet cherche cependant à privilégier les expériences *discriminantes*, et si possible cruciales, et l'on peut considérer celles-ci comme caractéristiques de son style expérimental. Ces procédures sont de deux types principaux, mis en évidence par Marino Buscaglia à propos du *Traité d'insectologie*: la séquestration et de fragmentation[41]. Dans les *Recherches sur l'usage des feuilles*, elles sont accompagnées de nombreuses variantes que l'on peut qualifier tour à tour de procédures par obturation (simple ou différencielle), par séparation, par ablation, par sectionnement ou par entravement (Fig. 3).

La procédure *par séquestration*, qui consiste à isoler un organisme de son environnement naturel afin de pouvoir l'examiner dans un milieu contrôlé et maîtrisé, trouve ses modèles historiques dans les protocoles appliqués par Redi à l'étude de la génération spontanée, et dans celui imaginé par Mayow pour établir la respiration animale (à savoir l'emprisonnement d'individus sous des cloches de verre)[42]. En physiologie végétale, la séquestration concerne naturellement les rapports avec le milieu, celui des individus n'ayant en l'occurrence guère de sens. Hales avait recouru à cette forme d'investigation comme préalable à l'établissement de mesures physiques exactes[43], et sa méthode devait inspirer Jean Senebier et Nicolas-Théodore de Saussure parmi d'autres[44]. Pour Bonnet, qui pratique assez peu de mesures, la multiplication des confinements de plantes dans des poudriers ou sur des plates-bandes relève essentiellement d'une commodité de laboratoire. De véritables séquestrations, conçues comme des opérations logiques, interviennent toutefois dans les expériences de végétation hors sol qu'il réalisa en 1746. Dans ses recherches sur les feuilles, un cas de séquestration particulièrement poussée est offert par l'exposition au soleil d'une feuille de vigne placée sous une cloche, elle-même située dans un vase rempli d'eau (Fig. 4).

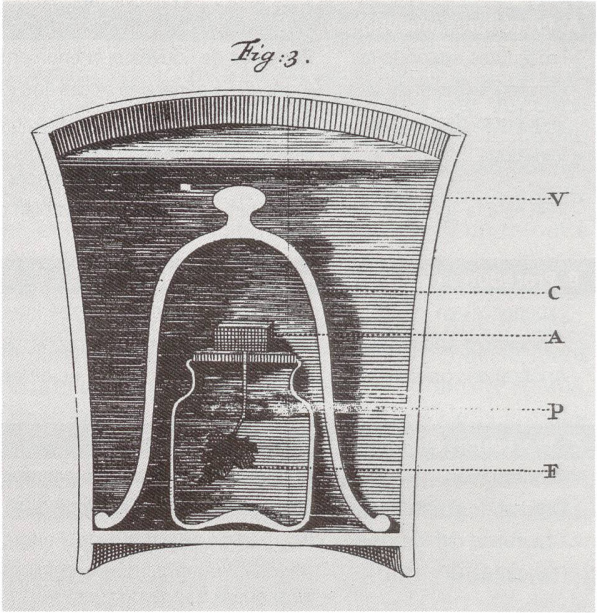

Fig. 4: Illustration en coupe d'un dispositif extrême de séquestration: une feuille F d'une pousse de petite Mauve est mise en expérience horizontalement, la surface tournée vers le bas, dans un poudrier recouvert d'une cloche elle-même placée dans un grand vase rempli d'eau (IIe Mémoire, pl. XVII, fig. 3). Cette expérience était conçue pour s'assurer que l'air ne pouvait être la cause du retournement des feuilles en interrompant toute communication avec celui-ci. Mais le dispositif choisi ne tenait aucun compte du fait que la colonne d'eau pouvait entraver tout mouvement par son seul poids.

Une autre procédure discriminante, bien adaptée aux questions de physiologie végétale, consiste à interrompre un échange de substances entre un organisme et le milieu environnant: on peut la qualifier de procédure par *obturation*. C'est ainsi que pour éclaircir la question de l'existence dans les plantes d'éventuelles «trachées» destinées à la respiration, à l'absorption ou à la transpiration, Bonnet a eu l'idée de plonger des rameaux dans de l'huile[45]. Ce faisant, il reproduisait une procédure que Réaumur avait appliquée à des insectes, et que Duhamel du

40 Il peut d'ailleurs s'agir d'opérations ponctuelles (exemple de gouttes d'eau déposées sur des feuilles) ou plus systématiques (vernissage de feuilles différentes). Dans certains cas, ces expériences complètent une série par une véritable mise à la torture des phénomènes (sections de polypes chez Trembley).

41 Buscaglia (1994, p. 297).

42 Buscaglia (1994, pp. 297-299).

43 Hales (1727).

44 Senebier (1782) et Saussure (1804).

45 *Recherches*, 1er Mémoire, § XII.

Monceau avait systématisée dans le domaine végétal, en enduisant des feuilles de colle, de vernis, d'huile, de cire et de miel[46]. En l'occurrence, ces expériences n'ont pas permis à Bonnet de trancher la question qu'il se posait. Il est vrai que la procédure par obturation simple, dans laquelle toutes les ouvertures sont bouchées indistinctement, ne facilite pas la séparation des différentes causes possibles: dans l'exemple ci-dessus, elle ne permet pas de distinguer ce qui relève de l'imbibition, de la transpiration, ou d'une éventuelle «respiration»[47].

C'est pourquoi Bonnet recourt parfois à une procédure *par obturation différencielle*, qui lui permet d'étudier de manière plus sélective l'échange de substances entre le milieu et l'organisme. Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle la surface supérieure des feuilles a un rôle moteur dans la transpiration, il imagine ainsi d'huiler tantôt la surface supérieure, tantôt la surface inférieure, de feuilles trempées dans l'eau par le pétiole (Fig. 5). Il mesure ensuite la quantité d'eau absorbée dans l'une et l'autre situation. L'expérience est répétée sur 21 espèces de plantes ligneuses et 9 espèces de plantes herbacées, avec à chaque fois un groupe témoin laissé tel quel. Bonnet peut ainsi démontrer que l'absorption est généralement plus importante lorsque la surface supérieure est vernie, et conclure que la transpiration s'effectue essentiellement par la surface inférieure.

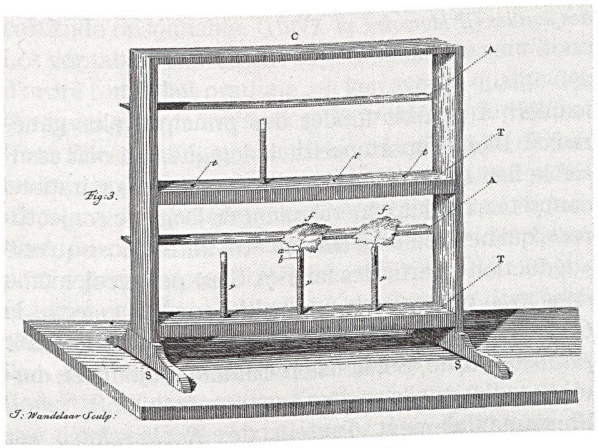

Fig. 5: Dispositif utilisé par Bonnet pour mesurer l'absorption d'eau par des feuilles dont on a successivement huilé la surface supérieure, puis inférieure (Ier Mémoire, pl. II, fig. 3). En l'occurrence, cette procédure par obturation différenciée intervenait sur des organes déjà séparés de leur organisme d'origine.

On peut placer dans cette même catégorie des obturations différencielles la curieuse procédure par laquelle Bonnet imagine de coudre deux à deux des feuilles de même espèce, de manière à ce que leurs surfaces supérieures, puis inférieures, soient appliquées l'une contre l'autre, c'est-à-dire face à face[48].

L'autre famille de procédures discriminantes relève de la *fragmentation*, illustrée dès le *Traité d'insectologie* par le sectionnement de vers d'eau douce en 2, 3, 4, 8, 10, 14 et même 26 parties, afin de voir si chacune d'elles est capable de régénérer un individu entier. En règle générale, cette procédure, brillamment appliquée par Abraham Trembley à ses polypes, doit permettre de déterminer les rapports entre les différentes parties d'un tout organique, et ainsi de préciser la nature de l'organisme lui-même.

En physiologie végétale, cette procédure trouve peu d'applications, et elle est généralement remplacée par la *séparation*, qui en est une forme voisine. Consistant à détacher une partie du tout auquel elle appartient, cette procédure doit permettre l'analyse des propriétés d'une partie séparément de celles, jugées trop complexes, de l'ensemble. Pour rendre compte de la faculté d'absorption des deux surfaces des feuilles, Bonnet choisit ainsi d'opérer avec des feuilles détachées, qu'il pose sur une surface aqueuse, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Dans l'ensemble de ses *Recherches*, l'emploi de simples rameaux, de pousses («jets»), de feuilles isolées, voire de portions de feuilles, est d'ailleurs quasi général, et c'est le recours à des plantes entières qui fait presque figure d'exception. Une fois encore, cette pratique apparaît davantage comme une commodité expérimentale, destinée à simplifier la mise en oeuvre des protocoles, que comme une méthode d'analyse discriminante, qui consiste à briser un lien fonctionnel entre deux parties. Ce démembrement des organismes, caractéristique d'une mentalité mécaniste, nous apparaît d'ailleurs très réducteur. L'historien de la botanique Julius Sachs n'a ainsi pas ménagé ses critiques sur cette simplification outrancière des «designs expérimentaux» de Bonnet[49].

Une autre procédure discriminante mise en œuvre dans les *Recherches sur l'usage des feuilles* est l'*ablation*, qui consiste à priver un organisme d'une de ses parties, dans le but d'en découvrir la fonction. En mettant l'accent sur le comportement de

46 Les résultats des expériences, alors inédites, de Duhamel ont été rapportées par Bonnet au § XII de ses *Recherches*.

47 Bonnet ne put donc que constater: «que les parties plus délicates ou plus herbacées souffrent plus de cette obturation que les parties plus dures ou plus ligneuses [...]; que la surface inférieure souffre plus que la surface supérieure», enfin que les parties voisines de celles plongées dans l'huile ne souffrent pas, ce qui vient probablement du fait que l'huile de noix utilisée était trop grasse pour circuler dans les canaux des plantes (*Recherches*, 1er Mémoire, § XII et XIII).

48 *Recherches*, 5e Mémoire, § LXXXVIII.

49 «Il est impossible de se représenter des expériences plus mal combinées. Si Bonnet avait voulu s'assurer de la justesse de l'hypothèse de Calandrini, il eût dû commencer par ne pas séparer les feuilles de la plante; il eût dû observer l'effet que produit, sur la végétation, l'absorption supposée de la rosée» (Sachs 1892, p. 502).

l'organisme mutilé, elle est en quelque sorte le pendant de la procédure de séparation, qui vise plutôt à étudier l'organe enlevé. Ainsi, pour élucider le rôle des cotylédons, qu'il soupçonne être essentiel dans l'accroissement des plantes, Bonnet procède à leur ablation sur de jeunes plants de haricot et de sarrasin. Comparés avec des témoins laissés intacts, les plants sans cotylédons se caractérisent en effet par une croissance fortement diminuée[50].

Une variante de cette procédure est le *sectionnement*, qui interrompt le rapport entre deux parties d'un organisme. Dans une série d'expériences sur des haricots, Bonnet s'efforce ainsi de rompre la communication entre le cotylédon et le germe. Il remarque que les plants sectionnés demeurent nains, au point, note-t-il, qu'un botaniste aurait pu les prendre pour une nouvelle espèce.

Une dernière procédure discriminante repérable dans les *Recherches* est l'*entravement*, qui consiste à gêner le libre exercice d'une fonction afin d'en démontrer l'existence ou dans l'espoir d'en mieux saisir la nature. En plaçant certaines tiges de plantes dans une position qui ne leur est pas habituelle, Bonnet parvient à mettre en évidence la tendance des feuilles à retrouver leur orientation originelle. Il imagine aussi d'entraver le retournement spontané des feuilles en les piquant, en sectionnant leurs nervures principales, en procédant à des ligatures, en plantant des épingles dans le pédicule, en enduisant les feuilles d'huile, ou en les plongeant dans l'eau (Fig. 6)[51].

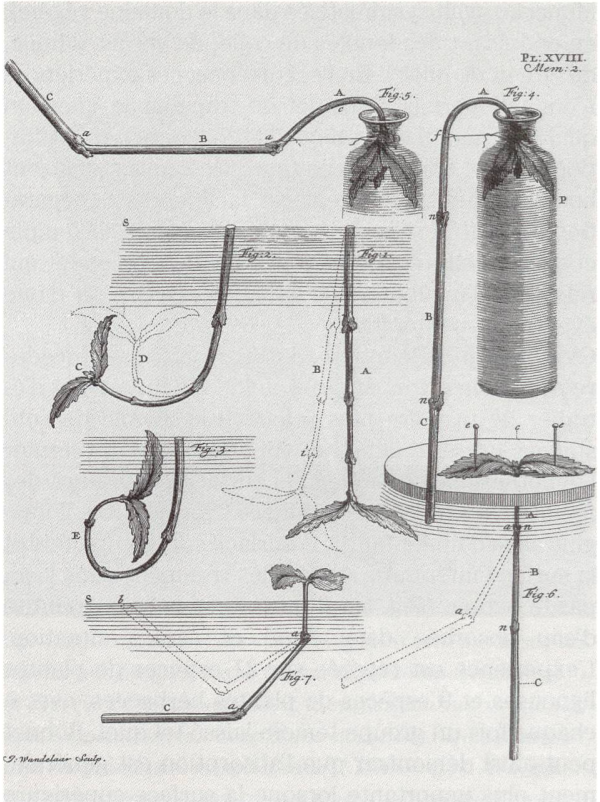

Fig. 6: Planche illustrant différentes procédures d'entravement imaginées par Bonnet pour étudier le retournement des feuilles (IIe Mémoire, pl. XVIII).

Les conditions du recours à l'expérimentation selon Bonnet

Si elle n'apparaît pas explicitement chez Bonnet, la distinction entre expériences analytiques, et expériences démonstratives ou discriminantes correspond pourtant bien à ce qu'il définit lui-même comme les deux fonctions principales de la recherche expérimentale, à savoir la collecte et l'analyse de «faits» d'une part, l'étude des «relations entre les choses» de l'autre[52]. Cette typologie demeure bien entendu relative, car il est difficile de déterminer avec précision à partir de quand une procédure de recherche devient discriminante, c'est-à-dire permet de trancher une question.

D'une manière de plus en plus marquée au fil de son œuvre, Bonnet semble d'ailleurs considérer que les observations et les expériences ne sont pas signifiantes par elles-mêmes, mais doivent être interprétées de manière à pouvoir fonder des principes plus généraux[53]. D'où l'importance de la logique, qui doit assurer le lien entre les raisonnements et les opérations concrètes, et plus généralement de l'«art de conjecturer», qui ne prétend d'ailleurs être autre chose qu'une «déduction à partir des faits»[54]. C'est pourquoi, même dans ses ouvrages les plus théoriques comme la *Contemplation de la nature*, voire la *Palingénésie philosophique*, Bonnet se réclamera toujours en dernière analyse de la preuve expérimentale.

Fondamentalement, l'auteur des *Recherches* est convaincu que l'expérimentation est capable de répondre aux questions qu'il pose à la nature, pour autant que ses résultats soient correctement interprétés et théorisés. Il possède d'ailleurs une confiance presque illimitée en la capacité des sens, et particulièrement de la vue, à révéler la réalité. C'est en effet la vue, employée directement ou par l'intermédiaire d'une loupe ou d'un microscope, qui constitue le principal moyen d'investigation d'une entreprise de connaissance d'abord conçue comme un «art d'observer». A ce propos, il est intéressant de relever que le philosophe genevois ne partage pas le scepticisme issu de Descartes aussi bien que des empiristes et de Condillac relativement à la vue[55]: pour lui, toutes les qualités sensorielles d'un objet sont des conséquences de sa vraie nature.

50 *Recherches*, 5e Mémoire, § LXXXIX.
51 *Recherches*, 2e Mémoire, § XLIV-XLVII.
52 *Contemplation de la Nature*, Préface, en particulier, pp. XII-XIV.
53 idem.
54 *Contemplation de la Nature*, Préface, p. XIV.
55 Ce point a déjà été relevé par Grober (1992, pp. 130-131).

Pour Bonnet, les limites de l'expérimentation ne sont donc pas d'ordre épistémologique. Elles sont à peine davantage d'ordre moral. Dans la *Palingénésie*, il exprime certes une réticence face aux enquêtes frivoles et aux répétitions inutiles des mêmes expériences: «Jamais il [l'anatomiste] ne multipliera les victimes malheureuses de son instruction et ne prolongera leurs souffrances au-delà du but le plus raisonnable de ses recherches. Jamais il n'oubliera un instant que tout ce qui est donné de vie et de sensibilité a droit à la commisération»[56].

Et, après avoir cité l'exemple de Lyonet, dont le *Traité anatomique de la chenille du saule* n'a pas coûté la vie à plus de huit ou neuf individus, il conclut: «L'Homme risquerait de corrompre bientôt ses mœurs s'il se familiarisait trop avec les souffrances et le sang des animaux». Dans son «Troisième mémoire sur la reproduction des membres de la salamandre aquatique», il prend également la peine d'expliquer que les amputations auxquelles il procède ne paraissent pas faire souffrir ces petits vertébrés[57]. Malgré tout, ces réticences envers les expériences animales violentes ou «intrusives» ne l'empêchent pas de faire un usage intensif de couteaux et de sondes dans ses expériences sur les vers et sur l'hydre, puis dans celles sur le limaçon et la salamandre. Elles ne lui interdisent pas non plus de répéter ces opérations aussi souvent que l'exige l'établissement d'une certitude raisonnable.

Les véritables limites de l'expérimentation sont donc d'ordre tout à fait pratique, en lien avec la qualité des épreuves elles-mêmes: c'est le problème de *l'attention*. Elles sont également liées à la difficulté de formuler des principes de plus en plus généraux à partir d'épreuves singulières: c'est le problème de *l'induction*, ou plutôt de la «déduction à partir des faits» pour reprendre ses termes exacts.

Comme en écho à la logique de Cramer, dont plusieurs paragraphes sont consacrés à l'«attention que l'on doit avoir aux circonstances» des observations[58], Bonnet se montre fort conscient de la nécessité d'entourer ses expériences d'un maximum de précautions. Outre l'attention apportée aux sources possibles d'erreur (critique des artefacts), ces précautions passent par la répétition à l'identique des épreuves et par la variation des protocoles, destinées à garantir la stabilité des résultats acquis. Il est évident que plus l'enjeu théorique est important, plus l'ampleur de ce type de précautions croît. C'est ainsi que les expériences sur la non-dégénérescence du blé en ivraie ont été entourées d'un des protocoles les plus fastidieux, en raison de l'importance de cette question pour la science de la génération et plus particulièrement pour la démonstration de la continuité organique. Pour plus de sûreté, ce protocole, qui combine en réalité deux dispositifs de séquestration différents (variation), fut exécuté à plusieurs reprises (répétition)[59]. La multiplication de telles opérations devait donner un caractère plus décisif et plus convaincant aux résultats obtenus: elle témoigne de l'adhésion de Bonnet à une conception probabiliste du savoir[60]. Elle suppose de la part de l'expérimentateur des qualités de patience et de ténacité, que les chroniqueurs littéraires de l'époque célébraient volontiers par opposition à la fatuité des «faiseurs de systèmes»[61].

Quant au problème du lien entre les raisonnements et les opérations concrètes, il est à la fois celui de l'articulation entre les hypothèses et leur mise en opération, et celui de l'interprétation théorique des résultats[62]. C'est en partie pour résoudre cette difficulté méthodologique, accrue par l'élargissement considérable de son horizon théorique, que Bonnet s'est efforcé de développer une ample réflexion sur la «méthode analytique», qui s'appuie notamment sur une étude psychologique des facultés de l'âme[63]. L'application de cette méthode aux questions d'histoire naturelle fait aussi l'objet, dans la préface de sa *Contemplation de la Nature*, de quelques développements sur les principes de l'«art de conjecturer». Mais en dernière analyse, la capacité d'un naturaliste, ou d'un philosophe, à tirer des significations correctes à partir des «faits» ou des expériences demeure essentiellement une affaire de «génie»[64]. D'où la diffi-

56 *Palingénésie*, partie XV, ch. 7, in OC in-8°, t. 16, p. 120.

57 Bonnet (1781b, pp. 175-176).

58 Cette attention doit être apportée par rapport au lieu, au temps et aux autres circonstances dans lesquelles se déroulent les expériences, ainsi qu'à l'état même de l'observateur (Cramer, «Logique», §§ 420 à 424).

59 *Recherches*, 5e Mémoire, § CX (années 1751 et 1752); § CXI; 1er Supplément, § III.

60 Sur la conception probabiliste du savoir chez Bonnet, voir Ratcliff (1997). Cette conception était celle de la plupart des expérimentateurs depuis Boyle.

61 Voir Sigrist (2001). Ratcliff a d'ailleurs relevé la forte présence, dans l'imaginaire des contemporains, d'une représentation de l'observateur comme d'un homme attentif et patient, voire tenace dans la poursuite de ses recherches (Ratcliff 1995).

62 Ce problème n'avait pas échappé à Cramer, qui avait remarqué que «les expériences ne se font que sur les individus et ne peuvent former, à proprement parler, que des propositions singulières», de sorte que «la plupart des disputes en fait d'expériences viennent de ce qu'on confond l'expérience avec les conclusions qu'on en tire» (Logique, § 412 et 414).

63 Voir ci-dessous l'article de Fernando Vidal.

64 A ce propos, Cramer enseignait déjà que: «La spéculation et les règles ne suffisent pas pour rendre un observateur parfait. Il faut naître avec un génie propre. Si la Logique ne le donne pas, elle indique du moins quelques règles pour le développer lorsqu'il est en nous» («Logique», § 439).

culté, voire l'inutilité, de préciser les règles de l'art de conjecturer[65]. Il en va tout différemment pour les règles de «l'art d'observer», qui peuvent être formalisées, facilitant ainsi le travail des naturalistes observateurs. Mais Bonnet laissera cette tâche à ses disciples Jean Senebier et Benjamin Carrard[66].

Remerciements

Je remercie Marino Buscaglia pour ses suggestions et pour ses corrections, ainsi que Jean-Daniel Candaux pour sa lecture attentive du manuscrit.

RENÉ SIGRIST

[65] En réalité, Bonnet s'efforce surtout d'en légitimer l'usage.
[66] Senebier (1775); Carrard (1777).

Bibliographie

- **Bernard C.** 1865. Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Paris.
- **Bonnet C.** 1745. Traité d'insectologie, (2 vol.). Paris.
- **Bonnet C.** 1754. Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes. Gottingue et Leyde.
- **Bonnet C.** 1764. Contemplation de la nature, (2 vol.). Amsterdam.
- **Bonnet C.**, 1783. Palingénésie philosophique. In: Oeuvres complètes. Ed. in-8°, t. 15 et 16, Neuchâtel.
- **Bonnet C.** 1781a. Expériences sur la régénération de la tête du limaçon terrestre; Second Mémoire sur la régénération de la tête du limaçon. *In:* Œuvres complètes. Ed. in-8°, t. 11: 1-34 et 35-61.
- **Bonnet C.** 1781b. Premier Mémoire sur la reproduction des membres de la salamandre aquatique; Second Mémoire...; Troisième Mémoire... *In:* Œuvres complètes. Ed. in-8°, t. 11: 62-109, 110-150 et 151-179.
- **Burian RM.** 1997. Exploratory Experimentation and the Role of Histochemical Techniques in the Work of Jean Brachet, 1938-1952. History and Philosophy of the Life Sciences, 19: 27-45.
- **Buscaglia M.** 1994 Bonnet dans l'histoire de la méthode expérimentale. *In:* M Buscaglia, R Sigrist et al. (éd.), Charles Bonnet, savant et philosophe (1720-1793). Mémoires de la SPHN, Genève, t. 47: 283-313.
- **Candaux JD.** 1993. Un auteur (et même deux) pour Idée, Induction, Probabilité: Monsieur de Lubières encyclopédiste. Recherches sur Diderot et l'Encyclopédie, 15: 71-96.
- **Carrard B.** 1777. Essai qui a remporté le prix de la société hollandaise des sciences de Haarlem en 1770 sur cette question: Qu'est-ce qui est requis dans l'art d'observer? Amsterdam. 1793). Passé-Présent, Genève, (Mémoires de la SPHN, t. 47 pp. 79-90).
- **Galison P.** 1988. Philosophy in the Laboratory. The Journal of Philosophy, 85: 525-527.
- **Grober MC.** 1992. Charles Bonnet of Geneva: From natural history to metaphysical romance. U. M. I. Dissertation Services, Ann Arbor.
- **Hacking I.** 1983. Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural science. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Hacking I.** 1988. On the Stability of the Laboratory Sciences. The Journal of Philosophy, 85: 507-514.
- **Hales S.** 1727. Vegetable Staticks. London.
- **Ratcliff M.** 1997. The probabilities of hypotheses in the works of Charles Bonnet (1720-1793). Archives des Sciences, 50/3:197-205.
- **Ratcliff M.** 1995. Le concept de «suite d'expériences» comme reflet de l'activité naturaliste au XVIIIe siècle. Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie, 2/1: 11-22.
- **Sachs J.** 1892. Histoire de la botanique du XVIe siècle à 1860. [1865], trad. fr., Paris.
- **Saussure N-T de.** 1804. Recherches chimiques sur la végétation. Genève.
- **Savioz R.** (éd.). 1948. Mémoires autobiographiques de Charles Bonnet de Genève. Vrin, Paris.
- **Senebier J.** 1775. L'Art d'observer. Genève.
- **Senebier J.** 1782. Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois règnes de la Nature, et surtout ceux du règne végétal, (3 vol.). Genève.
- **Senebier J.** 1801-an IX. Mémoire historique sur la vie et les écrits de Horace-Bénédict de Saussure. Genève.
- **Shapin S, Schaffer S.** 1993. Leviathan et la pompe à air. Hobbes et Boyle entre science et politique. La Découverte, Paris, [trad. de Leviathan and the air-pump. Hobbes, Boyle, and the experimental life, 1985].
- **Sigrist R.** 2001. L'expérimentation comme rhétorique de la preuve: l'exemple du *Traité d'insectologie* de Charles Bonnet. Revue d'Histoire des Sciences, 54/5: 419-449.
- **Steinle F.** 1997. Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation. Philosophy of Science, 64: Suppl., pp. 65-74.
- **Steinle F.** 2000. Das Explorieren eines neuen Feldes: Forschungspraxis und Begriffsbildung bei Ampère und Faraday, Berlin, Freie Universität, (thèse d'habilitation inédite).
- **Trumpler MJ.** 1997. Verification and Variation: Patterns of Experimentation in Investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. Philosophy of Science, 64: Suppl., pp. 75-84.