

## La mesure de l'envol à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle

Les premiers ballons : affaires d'opinions ou d'exactitude ?

*Measuring Flight: Aerostatic Experiments, Public Opinion and Precision at the end of the 18<sup>th</sup> century*

**Marie Thébaud-Sorger**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1536>

DOI : 10.4000/histoiremesure.1536

ISSN : 1957-7745

### Éditeur

Éditions de l'EHESS

### Édition imprimée

Date de publication : 15 juin 2006

Pagination : 35-78

ISBN : 978-2-7132-2094-4

ISSN : 0982-1783

### Référence électronique

Marie Thébaud-Sorger, « La mesure de l'envol à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle », *Histoire & mesure* [En ligne], XXI - 1 | 2006, mis en ligne le 01 juin 2009, consulté le 14 novembre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1536> ; DOI : 10.4000/histoiremesure.1536

---

**Marie Thébaud-Sorger \***

## **La mesure de l'envol à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Les premiers ballons : affaires d'opinions ou d'exactitude ?**

**Résumé.** Lors des premières expériences aérostatiques, en 1783, se pose le problème singulier, autant physique que mathématique, de la détermination de l'altitude atteinte par les ballons. Au calcul théorique de la force ascensionnelle, il s'agit de faire correspondre les relevés issus des triangulations effectuées depuis le sol et les mesures barométriques opérées en vol. Les techniques instrumentales différentes mises en œuvre lors des expériences tentent de réduire l'inexactitude, dessinant des pratiques distinctes à l'origine de nombreux conflits. L'apport de sources comme les périodiques locaux révèle l'ouverture de ces questions à un public non spécialisé. En effet, tout en mettant en valeur les acteurs du résultat, la mesure, inscrite dans le champ d'une altimétrie balbutiante, reste avant tout une production sociale destinée à être convertie en célébration des villes qui, durant l'année 1784 en France, mènent ces vols.

**Abstract. Measuring Flight: Aerostatic Experiments, Public Opinion and Precision at the end of the 18<sup>th</sup> century.** In 1783, the first aerostatic experiments opened a new physical and mathematical question: How is it possible to measure the balloons' altitude? Three kinds of measures could be used: a calculation based on « upward force », triangulation or a barometer (in the balloon). These different techniques and instruments, all aimed to increase precision in measurement, but articles from the local press suggest that they were also the source of many conflicts within the wider public. Ultimately, it appears that the measures of flight were a social construction — one of the primary aims being a celebration of the cities that organized the flights.

---

\* Centre Maurice Halbwachs, Équipe Enquêtes, Terrains, Théories (ETT), 48 boulevard Jourdan, Paris — 75014. E-mail : thebaud.sorger@free.fr

Jusqu'au dernier tiers du XVIII<sup>e</sup> siècle, la connaissance de l'atmosphère terrestre fait l'objet de conjectures et d'hypothèses variées, que viennent seuls alimenter les relations des premiers voyages en montagne et l'envoi de cerfs-volants météorologiques. Les premiers essais d'aérostats en 1783 ouvrent le ciel à d'autres investigations, puisqu'à l'encontre des lois de la pesanteur, des objets s'élèvent d'eux-mêmes. Emportant des hommes à leur bord dès la fin de 1783, ils font du vol une réalité. Cet événement a laissé une trace majeure dans la société pré-révolutionnaire française :

« Qu'on se souvienne du moment où l'on vit pour la première fois un ballon s'élever au milieu du Champ de Mars, et se perdre dans les nuages aux yeux de tout Paris, étonné de ce prodige de la physique comme d'un miracle qui interrompait les lois de la nature ». <sup>1</sup>

Ce « miracle » ou « prodige », comme le nomme le rédacteur du *Journal de Paris*, est bien un résultat de la « physique ». Il renvoie à la façon dont le champ scientifique se construit depuis la fin de la Renaissance, sur la base de la rationalisation des phénomènes qui semblent hors du sens commun <sup>2</sup>. Or les vols, qui connaissent immédiatement un fort engouement — bien étudié par les historiens de l'aérostation <sup>3</sup> —, constituent de véritables fêtes des Lumières où s'éprouve de façon sensible le basculement du prodige à la raison <sup>4</sup>. La conquête de nouveaux publics repose sur un processus faisant du progrès un espace soustrait aux superstitions. La preuve du vol accompli sous le regard de tous, tangible, irrévocable, vaut parce qu'elle est collectivement ressentie. Il s'agit alors d'assujettir l'enthousiasme au bien-fondé de la preuve scientifique. Mais, dans le sillage d'un débat complexe entre les connaissances nées d'une part de la sensation, d'autre part de la mesure des phénomènes, penser le vol hors du champ de la magie nécessite de pouvoir l'appréhender comme une expérience de physique. Le fait reproductible dépend alors de procédures que l'on peut qualifier et qui produisent un résultat attendu.

Ce rôle accru des procédures de mesure représente un point central où se rejoignent les savoirs techniques, pratiques et scientifiques. L'articulation entre les sciences de l'observation et l'usage du calcul touche la pratique expérimentale et suscite la mise au point d'instruments de plus en plus pré-

---

1. *Journal de Paris*, 28 septembre 1785.

2. DASTON, L., 1991.

3. CLÉMENT, P.-L., 1982 ; HUHN, J. M., 1982 ; GILLISPIE, Ch. C., 1983 ; GILLESPIE, R., 1984 ; ARECCO, D., 2003 ; THÉBAUD-SORGER, M., 2004.

4. CHARTIER, R., 1987, p. 25.

cis, au coeur de l'évolution de la pratique savante <sup>5</sup>. La recherche d'exactitude suscite des tentatives de mathématisation de l'observation des phénomènes. De nouveaux questionnements s'ouvrent autour de l'astronomie et de la géodésie <sup>6</sup> ; de même, pour la chimie, qualifier, ce n'est plus seulement sentir, goûter, nommer, classer, mais aussi peser exactement et mesurer <sup>7</sup>.

Ces changements sont illustrés par un problème que posent les expériences aérostatiques : celui de l'altitude atteinte par le ballon, qui renvoie à des questions de fond sur les pratiques de l'exactitude. Le mouvement d'un corps ascendant offre en effet un nouvel objet d'étude, qui s'inscrit dans les savoirs en plein renouvellement de la mesure de l'atmosphère, et qui à ce titre intéresse non seulement les physiciens, mais aussi en particulier les mathématiciens. Ces derniers cherchent à trouver des lois et des régularités face à la multitude des observations et certains, comme Jean-Baptiste Meusnier, tentent de fonder des lois de la navigation aérienne <sup>8</sup>. Saisir l'envol par le calcul est un moyen essentiel de rendre compte de la réalité de ce mouvement inédit.

Cet article envisage donc les méthodes proposées pour produire une évaluation de cette distance qui sépare la terre du ballon envolé : il s'agit d'une production complexe, vis-à-vis de laquelle les instruments comme les critères mobilisés ne sont pas forcément adéquats. La fragilité du résultat, susceptible de nombreuses approximations, laisse surgir des discordances alors même que la raison du calculateur est censée asseoir l'universalité de l'expérience. La démarche qui consisterait à étudier cette question à travers les débats internes entre savants ne prendrait cependant pas assez en compte l'ensemble des conditions qui président à l'élaboration des mesures. La signification de cette « mesure de l'envol » est indissociable de l'espace dans lequel elle est censée être lue. En faisant appel à des sources imprimés non spécialisées — comptes rendus de vols, essais, périodiques —, que la popularité des vols en ballons multiplie, il est possible de repérer la variété des discussions suscitées par ces mesures. La question porte donc autant sur les modalités de production de ces calculs que sur les usages qui en sont faits, ce qui permet de mettre en perspective le sens donné à « l'estimation » au regard de « l'exactitude ».

---

5. KUHN, T. S., 1977.

6. FRÄNGSMYR, T., HEILBRON, J. L. & RIDER, R. E. (eds.), 1990 ; BOURGUET, M.-N., LICCOPPE, C. & SIBUM H. O. (eds.), 2002 ; LACOMBE, H. & COSTABEL, P., 1988 ; DAUMAS, M., 1963.

7. GOLINSKI, J., 1995 ; ROBERTS, L., 1995 ; LICCOPPE, C., 1996.

8. GILLISPIE, Ch. C., 1983.

Après l'évocation, dans une première partie, des méthodes établies à partir du premier vol à ballon perdu, lancé le 27 août 1783 au Champ de Mars à Paris, les polémiques que la mesure fait naître seront l'objet du deuxième temps de cette étude. Il s'agit de comprendre en quoi la production de la mesure du vol devient un enjeu essentiel, tout autant social et local que scientifique. Et cela d'autant plus qu'elle s'articule à des questions très nouvelles, posées *via* l'aérostation, comme celles de l'altimétrie. Mais le statut ambivalent de ces expériences populaires et spectaculaires<sup>9</sup> en rend le développement incertain.

## **1. De la sensation à la mesure**

### ***Voir le ballon s'élever***

Le fait qu'un objet lourd et volumineux s'élève de lui-même verticalement dans le ciel est un phénomène qui ne connaît pas de précédent. Pour les témoins de cet événement, la compréhension de l'envol est liée à un ensemble de critères qu'ils peuvent saisir par le regard. Ainsi, l'inscription de l'expérience dans une chronologie précise devient un paramètre essentiel : en premier lieu, l'envol proprement dit advient au bout d'un long processus de préparatifs marqués par les dispositifs autour de l'enveloppe du ballon — d'une part les entrepreneurs qui s'affairent et les publics, d'autre part les outils et procédés utilisés pour le remplissage. En second lieu, la machine est remplie et prête à s'échapper. Dans les récits, images et comptes rendus, énoncer ce cadre est un moyen de traduire la réalité du vol. En effet, les nombreuses estampes faites lors des expériences mettent en scène un état de choses qui a changé : elles s'attachent en général à figurer tous ces détails concrets qui enserrant le vol et, juxtaposé dans le ciel, le ballon, forme improbable, surplombant le paysage et la masse des publics présents.

Le changement dans l'ordre de la perspective induit par le mouvement ascendant est un phénomène bouleversant du point de vue des publics. Il est perceptible par la petitesse qu'acquiert rapidement le ballon en s'élevant. Après le premier vol habité de novembre 1783, la présence d'hommes montés dans la nacelle amplifie encore l'émotion. L'élévation est un mouvement qui se traduit par la diminution de la taille du ballon à l'œil nu à mesure qu'il monte. Les témoins des premiers vols, depuis leur position immobile, rendent compte de cet éloignement : « Le globe s'est insensiblement élevé », écrit le

---

9. HUHN, J. M., 1982.

mémorialiste Mettra, lors de la première expérience menée par Jacques Charles et les frères Robert, avec un ballon de petite taille au Champ de Mars le 27 août 1783, « traçant avec magnificence du sud à l'ouest une ligne diagonale, jusqu'au sein des nuages, du milieu desquels on l'a vu paraître, montrant à peu près dans ce lointain, la grosseur d'une lune moyenne »<sup>10</sup>.

La comparaison de la machine avec des objets connus de tous et de diverses tailles permet de proposer une approche qui rende le phénomène explicite. Tous les témoignages usent de ces comparaisons. Ainsi le libraire Prosper Siméon Hardy, afin de rendre compte de l'ascension du globe de Jacques Charles et Nicolas Robert aux Tuileries, le deuxième vol habité, qui a lieu le 1<sup>er</sup> décembre 1783, décrit « la surprenante machine qui ne paraissait plus à l'œil que de la grosseur d'un petit melon »<sup>11</sup>. Le phénomène d'éloignement est radical et s'exprime par la difficulté physique pour le spectateur, à la fin du mouvement, à percevoir la machine. Imposante et parfois gigantesque (dans le cas des montgolfières à air chaud, bien plus grandes que les ballons à gaz hydrogène), elle s'est véritablement miniaturisée. Le graveur Johann Georg Wille dit suivre l'élévation du premier petit globe, le 27 août, jusqu'à ce que ses yeux en « pleurent de fatigue »<sup>12</sup>. Puis, lorsque le globe qui emporte Charles et Robert s'élève, il le considère depuis les terrasses des Tuileries « jusqu'au moment où il devint obscur à l'horizon »<sup>13</sup> ; Prosper Siméon Hardy, lui, en est empêché par l'alignement de bâtiments qui lui retirent une partie de la visibilité.

Une véritable nomenclature parcourt ces récits d'envols et décline, selon les lois de la perspective et de manière analogique, la réalité optique de la distance : le ballon est semblable à la Lune, puis à un melon, de la taille d'un œuf, et pour finir de celle d'une étoile. Les procès-verbaux et les récits dressent au final le constat d'une absence, signe d'un envol accompli. Répondant au coup de canon qui signale le moment où les cordes sont coupées, l'instant où le ballon disparaît est souvent rapporté dans les comptes rendus, et parfois souligné par une autre détonation. Énoncer cette minute précise permet de transformer en un temps universel ce moment partagé par tous les acteurs présents lors du vol. Mais il s'agit également de renvoyer la fête publique de l'envol au champ de l'expérience savante, où la convertibilité des observa-

---

10. *Correspondance littéraire*..., xv, 1783, p. 89.

11. HARDY, P. S., 1783.

12. WILLE, J. G., 1857, p. 77.

13. *Ibid.*

tions devient possible. Le mouvement de l'ascension s'opère donc entre ces deux moments, celui du lâchage des cordes et celui de la disparition à l'œil de la machine. La forme du mouvement qu'adopte le ballon en se frayant un chemin dans le fluide aérien est généralement précisée : parabolique, perpendiculaire, oblique ou diagonale. Lors d'un envol réussi, la machine semble monter irrépressiblement en ligne droite, comme si elle remontait à la surface du ciel jusqu'à se mettre en station à une certaine hauteur, car la légèreté du fluide contenu se met en équilibre avec l'atmosphère raréfiée à grande altitude : le ballon cesse alors de monter et s'arrête à un point donné. Ainsi s'établit le mouvement vertical de l'envol, qui se traduit par une distance de la terre à l'objet flottant dans l'air.

### ***Évaluer la hauteur du ballon***

Deux moyens différents ont été simultanément envisagés pour calculer cette distance, et ce dès le premier envol parisien du 27 août 1783. On peut comparer la machine dans le ciel avec les objets que l'homme sait y observer depuis toujours, à savoir les astres, et vis-à-vis desquels il a adopté des techniques de mesure efficaces. Ces savoirs, liés également au développement de la circumnavigation, s'appuient sur des instruments toujours plus précis. Les géomètres, chargés d'opérer des triangulations pour les besoins de la cartographie, utilisent de même un ensemble d'instruments qui leur permettent d'obtenir des mesures d'angles. Toutefois, une autre approche semble possible, car la machine s'élève depuis la terre par l'effet d'une « rupture d'équilibre » produite par un rapport entre l'air enfermé « plus léger » et l'air environnant, qui permet d'opérer une trouée dans le ciel. L'élévation procède du principe de la poussée d'Archimède et semble être le résultat d'une équation définissant la force d'ascension, précisément calculable et nommée « excès de légèreté ».

#### *La force ascensionnelle d'après Antoine Deparcieux, neveu*

Un premier type d'approche est proposé par un mathématicien, Antoine Deparcieux (1753-1799). Neveu du célèbre académicien du même nom, il enseigne la physique expérimentale et possède un cours public assez réputé. Au lendemain de l'ascension du 27 août, il présente de manière volontairement simplifiée dans le *Journal de Paris*<sup>14</sup>, périodique général, un premier cadre théorique pour calculer l'élévation. Il part de la notion de « rupture d'équilibre » en proposant le calcul suivant : en soustrayant le poids du gaz enfermé au poids total de la machine, il tente d'estimer le point où la machi-

---

14. *Journal de Paris*, 252, 1783.

ne cesse de monter et qui correspondrait en théorie à l'altitude maximale atteinte. C'est un essai de calcul de la force ascensionnelle. Afin de simplifier l'exposition d'opérations un peu trop longues et pénibles à soumettre au journal, il produit un tableau qui, d'après lui, pourrait se lire sans explication. Partant des principes de la « statique de l'air », d'une part de la « pesanteur spécifique de l'air ordinaire qui est à l'eau distillée comme 1 à 833 », d'autre part du « gaz inflammable » qui « est à ce même air comme de 13 à 107 », il établit des « rapports » pour produire des prévisions. Il présente donc ce résultat en colonnes : le diamètre de la machine, indiquant sa capacité, permet de définir en pieds cube le « poids de l'air déplacé ». Il met ensuite en rapport cette capacité avec « la densité de l'air dans les régions où les globes devront demeurer en suspension ». Enfin, dans la dernière colonne, il tente une hypothèse, présentée au conditionnel : celle « des hauteurs auxquelles les globes devraient s'élever ». Évaluer l'altitude atteinte, ici donnée en toises <sup>15</sup>, semble donc possible grâce à cette équation ; elle incite Antoine Deparcieux à adapter ensuite les résultats pour des diamètres différents de ballons.

L'usage du tableau permet de donner une vision globale de problèmes en exposant leur mise en relation <sup>16</sup>. Il procède de plusieurs héritages. Prenant la forme d'une arborescence au XVII<sup>e</sup> siècle, il devient au cours du XVIII<sup>e</sup>, avec l'exposition en colonnes, un outil conceptuel important pour l'élaboration de plusieurs domaines intellectuels <sup>17</sup>. Expression d'une pensée de la gestion financière et technique dès la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, avec les calculs de Vauban <sup>18</sup>, il joue un rôle important dans le développement de l'arithmétique politique au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle <sup>19</sup>. À ce modèle s'ajoutent des outils issus des traditionnelles tables d'artillerie, qui permettent d'évaluer des mouvements. Enfin, la forme tabulaire se généralise dans les sciences de la nature, par l'exposition des relevés de mesures, météorologiques notamment <sup>20</sup>, ou dans la construction de listes de comparaison spécifiques (poids...) des différentes substances chimiques.

Dans le cas de l'aérostation, l'utilisation par Deparcieux d'un tableau (Cf. Figure 1) lui permet de mettre en évidence l'interdépendance des élé-

---

15. Une toise de l'académie = 1,949 m.

16. VIROL, M., 2005.

17. BRIAN, É., 1994, pp. 55-61, 73-93.

18. VIROL, M., 1999, 2005.

19. BRIAN, É., 1994, pp. 29-30 ; GALLAIS-HAMONNO, G. & RIETSCH, C., 2003 ; MARTIN, T., 2003.

20. FELDMAN, T. S., 1990.

ments et induit le rapport proportionnel. Ainsi, il est possible non seulement d'appréhender des changements d'échelle possibles du ballon, mais également d'introduire une notion de prévision de l'effet attendu. Cette forme d'expression du calcul de l'élévation possible rencontre un grand succès. Elle est fréquemment utilisée, dans l'exposé des projets d'expériences comme dans les comptes rendus de vols <sup>21</sup>.

Figure 1. Table d'Antoine Deparcieux

| Diamètre des globes | Capacité des globes | Poids de l'air déplacé par ces globes | Poids du gaz enfermé dans les globes supposés parfaitement pleins | Poids global des globes y compris les fils, rubans et le robinet | Légèreté respective des globes | Densité de l'air dans les régions où les globes devront demeurer en suspension, celle de l'air à la surface de la terre exprimée par 100 | Hauteurs auxquelles les globes devraient s'élever |
|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---|--|--------------------------------|--|---|
| pieds               | pieds cube          | livres                                | livres  | livres   | livres                         | livres   | toises  |
| 10                  | 534                 | 45                                    | 5   | 29   | 16                             | 64   | 2 000   |
| 11                  | 711                 | 60                                    | 7   | 35   | 25                             | 58   | 2 450   |
| 12                  | 923                 | 78                                    | 9   | 43   | 35                             | 55   | 2 710   |
| 13                  | 1 173               | 99                                    | 12  | 51   | 48                             | 52   | 3 070   |
| 14                  | 1 465,5             | 123                                   | 15  | 61   | 62                             | 50   | 3 190   |
| 15                  | 1 808 2/3           | 151                                   | 18  | 70 1/2   | 80 1/2                         | 47   | 3 470   |
| 16                  | 2 188               | 184                                   | 22  | 81   | 103                            | 49   | 3 735   |
| 17                  | 2 624               | 221                                   | 27  | 94   | 127                            | 43   | 3 850   |
| 18                  | 3 115               | 262                                   | 32  | 107  | 155                            | 41   | 4 080   |
| 19                  | 3 677               | 309                                   | 38  | 122  | 187                            | 40   | 4 230   |
| 20                  | 4 273               | 359                                   | 44  | 137  | 222                            | 38   | 4 350   |
| 21                  | 4 946               | 416                                   | 51  | 154  | 262                            | 37   | 4 520   |
| 22                  | 5 687               | 478                                   | 58  | 171  | 307                            | 36   | 4 620   |
| 23                  | 6 498               | 546                                   | 66  | 189 1/2  | 356 1/2                        | 35   | 4 820   |
| 24                  | 7 383               | 610                                   | 75  | 207  | 413                            | 33   | 5 000   |

Source. DEPARCIEUX, A., *Journal de Paris*, n° 252, 1783.

Ces éléments servent de base à des estimations qui permettent d'une part d'entraîner la conviction sur le projet de vol, d'autre part de mieux construire la machine, de calculer le poids du lest et des combustibles embarqués.

Deparcieux reprend par la suite son tableau dans un ouvrage plus complet qu'il fait paraître en décembre 1783, et qui connaît une très large diffusion : *Dissertation sur les globes aérostatiques*. Il y multiplie les niveaux de lecture destinés à des publics différents : aux côtés d'une dissertation historique sur l'invention, il propose des moyens simples de fabriquer l'enveloppe et d'autres plus complexes, assortis de calculs raffinés, d'analogies probantes et de jeux mathématiques, car, et c'est un point capital à ses yeux, la découverte de Montgolfier rappelle « que la physique expérimentale a besoin d'être éclaircie par le calcul » <sup>22</sup>. Son approche, que l'on pourrait schématiquement qualifier de « physicienne », prône l'usage de la géomé-

21. CAVENDISH, H., 1784, p. 23.

trie et allie les mathématiques à la question de la densité des fluides.

Ce modèle théorique, qui constitue la première approche intellectuelle du phénomène de l'envol, ne prend pas en compte la réalité complexe de l'air et de ses variations. Ce paramètre influence pourtant le comportement du gaz, particulièrement à grande hauteur. Lors de l'expérience du Champ de Mars, le petit ballon, qui avait été très empli, semble avoir explosé à grande altitude. Ce phénomène serait-il dû à une trop grande dilatation ? En tout cas, une certaine attention est désormais portée à l'expansibilité du gaz, lorsque l'hydrogène est utilisé. Les calculs prévisionnels visent également à mieux contrôler ce point critique atteint. Mais ce type de calcul ne repose pas expressément sur l'observation de l'air et du mouvement du ballon dans l'atmosphère. Déparcieux part d'un postulat théorique, une mesure du baromètre à 28 pouces à la surface de la terre qu'il fait ensuite diminuer de façon systématique. Il s'interdit d'ailleurs dans ce cadre d'aborder « la vitesse ascensionnelle », question qui lui semble trop compliquée. C'est pourquoi la fin de son ouvrage renvoie à un autre travail :

« Ceux qui seront curieux d'approfondir le problème des globes aérostatiques, ne pourront mieux faire que de consulter l'Ouvrage que M. Faujas de Saint-Fond vient de publier sur cette matière ; ils y trouveront une lettre aussi instructive que savante de M. Meusnier, officier au corps royal du Génie. »<sup>23</sup>

#### *La triangulation coordonnée de Meusnier*

En effet, les questions des courants aériens, de la température et de la raréfaction de l'air et de leurs effets sur la pression et sur la marche du ballon restent largement inexplorées. Avant même que les premiers vols habités (le 21 novembre et le 1<sup>er</sup> décembre 1783) ne permettent l'utilisation d'instruments de mesure depuis la nacelle, elles sont pourtant envisagées théoriquement par Jean-Baptiste Meusnier<sup>24</sup>. Jeune ingénieur militaire, ce mathématicien, formé par Gaspard Monge au Génie et correspondant de l'Académie des sciences depuis 1777, s'intéresse de près aux recherches aérostatiques dès le vol du Champ de Mars. Son projet de mesure depuis le sol, bien décrit par Charles Gillispie dans son ouvrage sur les frères Montgolfier, consiste à traduire en lois mathématiques des problèmes épars posés par l'observation et à « chercher par la voie de la théorie quelles pouvaient être les lois du mouvement du globe aérostatique pour en faire la comparaison avec les résultats de

---

22. DEPARCIEUX, A., 1783, p. 31.

23. DEPARCIEUX, A., 1783, p. 36. Cette note en italique figure en dessous du corps de texte, ce qui ne permet pas de savoir si elle est l'oeuvre de l'auteur ou de l'éditeur.

24. Jean-Baptiste Marie Charles Meusnier de la Place (1754-1793).

l'observation »<sup>25</sup>. Il lie le problème de l'observation aérostatique à ceux qui se posent dans le même temps à propos de la traduction mathématique des observations instrumentales astronomiques et géodésiques. C'est d'ailleurs avec l'aide des astronomes de l'Académie des sciences Le Gentil et Jeurat et avec l'appui de l'École militaire, notamment de son professeur de mathématiques d'Agelet<sup>26</sup> et de Prévost, qu'il entreprend son projet.

Sa « Lettre à Monsieur Faujas de Saint-Fond » est insérée fin novembre dans le premier volume du recueil extrêmement diffusé que Barthélemy Faujas de Saint-Fond fait paraître, *Description des expériences de la machine aérostatique de Monsieur de Montgolfier et de celles auxquelles elle a donné lieu*. Courant sur soixante pages de calculs pointus, ce mémoire constitue une sorte de complément « savant » de l'ouvrage de Deparcieux. Contrairement à ce dernier, il essaie de poser les questions liées au changement de la résistance de l'air avec l'accroissement de l'altitude et au rôle du vent, notamment dans l'établissement de ses résultats. Il s'agit non seulement de déterminer une hauteur, mais aussi un ensemble de moments qui permettraient de reconstituer le cheminement du ballon dans l'atmosphère, pour enfin rendre compte des oscillations de l'air.

Afin d'atteindre cet objectif, Jean-Baptiste Meusnier propose un système de triangulation. Il s'agit d'une opération géométrique classique dans laquelle on détermine une distance par le calcul d'un des côtés d'un triangle, en mesurant deux angles du même triangle<sup>27</sup>. La hauteur est l'angle que fait la direction d'un astre avec le plan horizontal. Ici, l'astre serait le ballon. Mais, si ce moyen de connaître l'élévation par le calcul de mesure d'angle s'avère très efficace lorsqu'il s'agit de déterminer la position d'un point statique, il se complexifie nettement lorsque le point observé est mobile, d'autant plus qu'un très léger écart dans la mesure de l'angle produit des différences considérables pour les distances obtenues. Meusnier met en place un système complexe avec quatre observateurs placés à des points hauts de la ville — une des tours de Notre-Dame, le toit du garde-meuble (actuelle place de la Concorde), l'École militaire et le toit de l'Observatoire. Chacun, muni d'un quart de cercle et d'une pendule à secondes, doit mesurer la hauteur

---

25. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 102.

26. Guillaume Joseph Hyacinthe Jean-Baptiste Le Gentil de Lagalaisière (1725-1792) et Edme Sébastien Jeurat (1725-1803), tous deux astronomes de l'Académie royale des sciences. Jeurat est alors rédacteur de *La connaissance des temps*. Joseph Le Paute d'Agelet (1751-1785) périt dans l'expédition de Lapérouse.

27. GILLISPIE, Ch. C., 1983, pp. 69-70.

apparente du ballon : « Il fallait pour cela déterminer avec précision, et pour des instants connus, plusieurs lieux du ballon dans la route qu'il a décrite ». Les observations doivent être chronométrées et surtout simultanées :

« Un signal instantané, visible à la fois des trois observateurs, et donné quelques moments avant l'expérience, devait servir à connaître avec la plus grande rigueur la marche respective des pendules, entre lesquelles une légère différence, si elle eût été inconnue, aurait produit des erreurs d'autant plus considérables que le globe s'est élevé avec plus de rapidité ». <sup>28</sup>

Les trois suites réunies, puis corrigées, auraient fourni l'itinéraire complet du globe ascendant.

Mais la simultanéité est difficile à réaliser. Meusnier avance plusieurs raisons de l'échec de son entreprise, du fait des obstacles empiriques qu'il rencontre dans sa mise en œuvre : la concertation a été faite oralement et aucune instruction écrite n'a établi un protocole identique pour les observateurs ; le temps très pluvieux et nuageux ne permet pas de suivre le ballon des yeux jusqu'au bout ; enfin, l'étonnement devant l'expérience inédite ne favorise pas la concentration des observateurs :

« Le pavillon dont l'apparition devait précéder l'élévation du globe, pour rapporter toutes les pendules à une même époque, ne fut montré qu'après le départ du ballon, c'est-à-dire dans le moment où les observateurs se portaient nécessairement sur l'objet le plus intéressant ; aussi ce diminutif de pavillon qu'un assistant de M. d'Agelet portait dans sa poche l'instant d'avant, fut-il à peine remarqué par un seul et trop tard pour qu'il en pût rien conclure : le bruit du canon parvint aussi trop tard à quelqu'un des points d'observation, puisque M. Prévost ne l'entendit qu'au moment de la disparition du globe ». <sup>29</sup>

Exposer la fragilité de l'expérience permet en fait à Meusnier de mettre en valeur sa maîtrise du calcul, qui lui permet de compenser *a posteriori* ces résultats hétérogènes. Ainsi, en dépit de ce relatif échec, Meusnier parvient à faire correspondre deux relevés. Pour les mettre en adéquation, il opère une rectification à partir du son du canon, le seul élément identique présent dans deux des listes et chronométré :

« M. Jeaurat ayant été à portée d'entendre distinctement le canon, et ayant heureusement pris note de cet instant, il ne faut que calculer le temps employé par le son pour parcourir la distance de l'École militaire au garde-meuble pour avoir entre ses observations et celle de M. d'Agelet la correspondance nécessaire ». <sup>30</sup>

Déterminant la vitesse du son à 176 toises/seconde, il divise

---

28. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 49.

29. *Ibid.*, p. 52.

30. *Ibid.*, p. 55.

1 095 toises, c'est-à-dire la distance qui sépare ses deux observateurs, par 176 et trouve une différence d'une seconde un quart à peu près. Cet ajustement lui permet de fusionner les deux listes de résultats afin d'obtenir un tableau de correspondance de leurs relevés. Il produit également un graphique du déplacement du ballon et de sa course, ainsi que plusieurs tableaux de mise en équivalence, exprimés en degrés puis en hauteur absolue. Par sa méthode rigoureuse, Meusnier obtient la trajectoire du ballon et nécessairement son plus haut point d'ascension :

« sur une base du triangle rectangle de 315,67 toises et un angle de hauteur égale à 53°37' on trouvera que la hauteur cherchée du ballon est un peu plus que 428 toises et demie et le point de terrain auquel le ballon répondait verticalement à l'instant de sa disparition [...] coupe la route du ballon sur Saint-Dominique au Gros Caillou ». <sup>31</sup>

*L'exactitude du mathématicien et l'opinion publique*

Or ce résultat ne coïncide pas avec l'élévation que les observateurs Jeaurat et Legentil proposent de façon indépendante dans le *Journal de Paris* le 24 septembre (avant même la publication du mémoire de Meusnier) <sup>32</sup>. En effet, un seul relevé, effectué avec un quart de cercle, permet d'obtenir approximativement une hauteur. Pour opérer une simple mesure d'angle, il n'est pas besoin d'avoir plusieurs points d'observation, et « si l'on connaissait en même temps la distance à laquelle le ballon se trouvait de l'un des deux points, il n'y aurait qu'un triangle à résoudre pour en conclure l'élévation » <sup>33</sup>. Pourtant Meusnier veut démontrer que cette hauteur ne peut être exacte si que l'on croise l'observation avec celle d'un deuxième, voire d'un troisième observateur, qui coordonnent ensuite leurs mesures. Dans le cas suscitée, les distances horizontales entre le ballon et le point d'où les hauteurs apparentes ont été mesurées sont des « suppositions gratuites et incertaines » <sup>34</sup>. Ce calcul, permettant de fournir une estimation, pourrait donc être versé au dossier public de l'envol sans nécessiter de recours au protocole complexe d'observations simultanées. Mais ce résultat est erroné. L'écart des résultats encourage donc Jean-Baptiste Meusnier à bien distinguer les pratiques de mesure fondées sur une observation unique et sa propre démarche :

« D'après la méthode que j'ai suivie pour ces différentes déterminations, vous jugerez Monsieur fort peu utile sans doute d'en comparer les résultats avec ceux qui ont été publiés : le calcul de ceux-ci n'ayant été fondé que sur des estimations

---

31. *Ibid.*, p. 87.

32. *Journal de Paris*, 267, 1783.

33. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 89.

34. *Ibid.*, p. 93.

arbitraires des distances horizontales, tandis qu'elles ont été ici déterminées d'une manière scrupuleuse ». <sup>35</sup>

Il devient, par sa méthode, détenteur de la vérité de l'ascension, et des distances sur lesquelles il a, dit-il, « des idées infiniment plus exactes. » Sa méthode est fondée sur le calcul mathématique des observations et non sur sa propre observation.

Le projet d'exactitude de Jean-Baptiste Meusnier est une tentative d'interpréter par les mathématiques les résultats produits par l'observation en intégrant précisément les approximations qui résultent inévitablement de l'utilisation d'instruments <sup>36</sup>. C'est une question qui préoccupe les acteurs de la mesure du ciel comme de la mesure de la terre. Elle se situe dans le sillage d'interrogations fécondes, mais encore embryonnaires, sur les moyens de compenser les erreurs : en effet, « la précision accrue de la mesure ne suffit pas à réduire les erreurs » <sup>37</sup>. Or, à l'articulation des savoirs instrumentaux et des hypothèses probabilistes, la pratique instrumentale de la mesure est retravaillée par les mathématiciens, ce dont témoignent les premiers travaux esquissés par Laplace précisément à partir de problèmes liés à la géodésie <sup>38</sup>. Comment choisir entre différentes observations ? Comment les ajuster ? Ce que propose Jean-Baptiste Meusnier n'est pas la mesure exacte observée, mais plutôt l'exactitude comme produit de la rectification mathématique des mesures observées, ce qui n'est rendu possible qu'en multipliant les données empiriques récoltées et en produisant des moyennes <sup>39</sup>.

Pendant, ces mesures faites avec de traditionnels « quarts de cercle » se placent avant les progrès introduits par le « cercle répétiteur » conçu par le chevalier de Borda, qui change le degré de précision des mesures du méridien. Ce n'est qu'en 1786 que l'instrument est présenté à l'Académie royale des sciences et l'année suivante qu'une grande expérience tente de mettre en concordance les positions relatives aux observatoires de Paris et de Greenwich, démontrant la supériorité du cercle répétiteur utilisé par Méchain sur les mesures d'angles effectuées avec le quart de cercle par Cassini et Legendre. Legendre initie d'ailleurs, avec le cercle répétiteur, des recherches pour obtenir une mesure d'angle en faisant la moyenne arithmé-

---

35. *Ibid.*

36. BRIAN, É., 1994, pp. 118-124.

37. ARMATTE, M., 1991, p. 64.

38. BRU, B., 1988, 1991 ; BRIAN, É., 1994, pp. 239-240.

39. MEUSNIER, J.-B., 1784, p. 31.

tique entre plusieurs mesures observées de cet angle <sup>40</sup>. Les questions que pose Meusnier sont donc loin d'être résolues.

Il remet en cause l'utilisation de démarches approximatives, même s'il s'agit de satisfaire les attentes du public, vis-à-vis duquel il se montre très critique. Son comportement serait en effet préjudiciable à l'expérience, car son impatience initiale lors du remplissage du ballon a été à l'origine de l'explosion : « La précipitation enfin assez naturelle et encore augmentée par l'impatience du public, [a] beaucoup trop hâté le moment où la machine fut abandonnée » <sup>41</sup>. Faisant passer le divertissement et la surprise esthétique avant le projet expérimental, son attente favorise de plus la publication de méthodes et de résultats inexacts : la divergence avec les exigences du travail savant est patente. En retour, il semble que le mémoire de l'ingénieur-mathématicien ait rencontré peu d'écho : sa « Lettre... » est supprimée des rééditions et des contrefaçons de l'ouvrage de B. Faujas de Saint-Fond. Dans le même temps, les estimations restent bienvenues dans les périodiques. Ainsi, lors du vol, le 19 septembre 1783, du ballon à air chaud d'Étienne de Montgolfier à Versailles, devant le Roi, le *Journal de Paris* transmet à nouveau les observations faites par Jeurat et Le Gentil depuis le toit de l'Observatoire, donnant l'angle, la hauteur en toises et le diamètre apparent : « une explication plus rigoureuse paraît superflue dans une semblable circonstance » <sup>42</sup>. Les rédacteurs passent sous silence, de leur propre aveu, le détail des observations de Le Gentil pour ne retenir que le résultat.

La lecture des résultats produits par les astronomes a donc des enjeux bien différents entre la demande publique et les attentes du milieu savant. L'ingénieur géomètre qui investit ce territoire neuf de la mesure du vol, non pas comme un lieu d'estimations mais bien d'exactitude fondée sur une méthode sûre, fait du calcul l'expression maîtrisée de sa légitimité. Le savant souhaite ici reprendre l'avantage sur l'enthousiasme et l'ensemble des sensations produites par l'envol.

La description du mouvement ascendant dans l'atmosphère s'opère sans modèle préalable. Diverses approches peuvent donc être tentées pour appréhender le phénomène radical et paradoxal de l'ascension verticale. La force

---

40. Ces recherches de théorisation de la compensation des erreurs produisent la méthode dite « des moindres carrés », poursuivant des problèmes de statistiques mathématiques, et aboutissent notamment en 1821 à la théorie de la combinaison des observations de Gauss. JOZEAU, M.-F., 1994.

41. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 52.

42. *Journal de Paris*, 265, 1783, p. 1104.

ascensionnelle calculée sur la base du rapport entre les fluides peut constituer une grille de lecture prévisionnelle de l'élévation, mais chaque expérience propose ensuite un cas de figure singulier, qui ne met pas l'observation directe à l'arrière-plan. De plus, l'expérience, qui a lieu sur la place publique, est soumise à la pluralité des points de vue. Les observateurs tentent de se détacher du lot commun des spectateurs en produisant, par leur travail précis de relevé, *via* des instruments de mesure, une approche objective, détachée des multiples émotions et de l'enthousiasme qui marquent le moment du vol. La mesure produite nous renvoie donc autant aux acteurs qu'aux pratiques qu'ils mobilisent et singularise leur position. Passer d'une mesure « à l'estime » à une mesure « exacte » pose de nombreuses questions, d'autant que l'exactitude n'est qu'un objectif proclamé, qui renvoie à une réalisation assez problématique. Dans quelle mesure est-elle nécessaire, puisque déterminer la hauteur de l'ascension de façon approximative semble suffire à combler une grande partie des attentes des protagonistes et du public ?

## 2. Conflits locaux autour de la mesure

### *Les vols provinciaux en 1784*

Tous les vols font l'objet d'une estimation de la hauteur atteinte, information donnée conjointement à la durée totale de l'expérience et au lieu d'atterrissage. Elle permet en effet de classer les expériences en termes de réussite. En 1784, on compte plus d'une vingtaine de tentatives de vol en France, trois vols en Angleterre et un en Italie. Ces expériences contribuent à la gloire des villes qui les soutiennent. La méthode de mesure du vol n'est pas forcément rapportée, le résultat étant souvent livré tel quel dans le compte rendu, la brochure ou dans les périodiques locaux. La mesure de l'élévation constitue pourtant un résultat signifiant, pour les protagonistes comme pour les promoteurs du vol. Il s'agit non seulement de la preuve de la réussite, mais encore du moyen de comparer les résultats des différents vols entre eux.

Interrompant la loi de la pesanteur, l'élévation constitue un acte transgressif par définition. La mesure de l'ascension n'est donc pas étrangère à la puissance sociale et symbolique qu'elle serait censée procurer. Le ballon, en s'élevant, devient le point de convergence des regards. Avec les vols habités, le phénomène s'amplifie et s'enrichit du point de vue supplémentaire des hommes dans la nacelle, qui notent que s'ils ont été vus de toutes les rues, rien n'échappait en retour à leur regard. Les aéronautes dominent l'ensemble des cercles assemblés assistant à cet événement. Et ce mouvement vertical laisse s'instaurer une singulière égalité à deux niveaux : d'une part entre des

hommes restés à terre, d'autre part entre les hommes dans la nacelle, partageant les mêmes risques. La production de la mesure a également pour objet de consolider le consensus des publics assistant à l'expérience. Elle constitue un paramètre essentiel de l'adaptation locale du phénomène universel du vol. D'où l'importance d'en faire non pas une affaire d'opinion, mais bien d'exactitude, surtout s'il y a discordance sur le résultat de l'ascension.

En fait, les observations sont rarement organisées au préalable par les entrepreneurs. On fait parfois appel à des géomètres ou à des membres de l'académie locale, tenus de faire des relevés : c'est par exemple le cas à Nantes lors du vol du *Suffren* en juin et septembre 1784. Mais de nombreuses initiatives individuelles d'estimation ont également lieu. Tous ceux qui possèdent des connaissances mathématiques — amateurs avertis, produisant leurs observations depuis leur hôtel particulier, mais aussi mathématiciens, astronomes, arpenteurs — opèrent ces calculs pour satisfaire leur propre curiosité. Ils communiquent parfois leurs observations dans les périodiques locaux.

Deux techniques sont classiquement utilisées : soit l'observation du ballon repose sur le diamètre apparent, converti ensuite en distance ; soit on procède à une mesure d'angle, réalisée avec deux types d'instruments<sup>43</sup>. D'une part, on peut utiliser des graphomètres, qui ne comportent pas de lunettes et permettent des mesures d'angles sur le plan horizontal. Outil essentiel des géographes et des arpenteurs, ils sont utilisés pour les nivellements<sup>44</sup>. D'autre part, on a recours aux quarts de cercle. Tous les observatoires sont dotés de cet outil qui est, par excellence, celui de l'astronome : ce grand instrument polyvalent est central dans toutes les entreprises de mesures astronomiques. L'application du quart de cercle, associé à des instruments d'optique<sup>45</sup>, a permis de faire progresser les mesures, notamment depuis le voyage de Bouguer et La Contamine. Il permet de relever des distances zénithales associées aux mesures des arcs méridiens. Au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle, cet instrument lourd et encombrant gagne en maniabilité (certains ne font plus que deux pieds) et surtout en précision : un micromètre est intégré à la lunette et les limbes, divisés de 10' en 10', permettent de noter des mesures d'angles à la fraction de seconde près<sup>46</sup>.

L'expérience à ciel ouvert permet donc à tous ceux qui le souhaitent d'effectuer une observation, puis de la verser au dossier de l'histoire col-

---

43. DAUMAS, M., 1953, pp. 230-237.

44. FRÉMONTIER-MURPHY, C., 2002.

45. DAUMAS, M., 1953, pp. 70-71.

46. FAUQUE, D., 1988.

lective du vol auquel ils assistent. Il s'agit par là autant de contribuer à la célébration locale que de se mettre en valeur. Pourtant, la publication du résultat, hors du champ savant restreint, ne va pas sans problème : les discussions qui s'ouvrent devant la divergence des chiffres portent autant sur les procédés que sur la compétence des acteurs qui les produisent.

### ***Production de la mesure et périodiques locaux***

Deux exemples de débats prenant place dans les affiches locales permettront de comprendre la construction des argumentaires.

À Toulouse, un certain Duvernay, auteur d'une petite expérience « à ballon perdu » le 25 février 1784, publie dans les *Affiches de Toulouse* un compte rendu qui inclut un tableau coordonnant lieu, heure et hauteur atteinte par son ballon. Son exposé suscite la contestation d'un lecteur anonyme, qui contredit ses résultats parus dans la feuille du 14 avril 1784. Après avoir remercié Duvernay d'avoir joint « les détails des calculs de la marche », il souligne avec ironie que la hauteur atteinte par le ballon était « si supérieure à toutes celles des ballons lancés jusqu'à présent en France, que je n'ai pu résister au désir de vérifier, d'après les éléments donnés par les observateurs, ce qu'il en était »<sup>47</sup>. Il entreprend donc une relecture des données de Duvernay, tout en explicitant parallèlement ses propres procédures de calcul, revenant pour l'occasion sur les principes de base de la mesure d'angle pour mesurer la hauteur perpendiculaire d'un corps qui s'éloigne de l'horizon. Il introduit une nuance due au calcul d'un déplacement oblique, et non vertical, du ballon : en effet, le fait que le trajet du ballon ne constitue que rarement une parfaite verticale crée la principale difficulté pour ajuster l'instrument et produire une mesure d'angle précise. Selon ce lecteur, deux données fondamentales manquent au tableau de Duvernay : « la distance du ballon à la station des observateurs et la valeur de son diamètre apparent en parties du micromètre lorsqu'il a été rempli et prêt à partir. Sans ces deux éléments déterminés, les deux premiers nombres, et conséquemment tous les autres, n'ont pu être légitimement conclus ».

Invalidant scientifiquement la logique interne qui construit les évaluations chiffrées, le contradicteur assigne au tableau une fonction purement rhétorique. Duvernay n'appartient ni au monde académique, ni même à celui des amateurs reconnus, qui ont déjà été à l'initiative d'autres expériences aérostatiques. Il semble de plus se disqualifier en insérant un outil dont il ne maîtrise

---

47. *Affiches de Toulouse*, 15, 1784.

se pas les résultats, et rétorque « qu'on a paru traiter ces observations avec une rigueur qu'elles n'exigent pas »<sup>48</sup>. Pourtant, l'anonyme, dans sa contre-proposition, use d'un principe optique qui donne un résultat approximatif, n'envisageant jamais, par exemple, la nécessité de mesures simultanées. La comparaison de sa démarche avec celle de Jean-Baptiste Meusnier met en évidence la limite de ses calculs et de ses procédures. L'argument de la rigueur, qu'il met en avant, relève donc du travail de construction sociale qu'il entreprend, en faisant de ce critère le moyen de distinguer l'imposteur du savant.

La lecture et la discussion de ces relevés chiffrés mettent en évidence deux aspects : premièrement, la vérité de la mesure renvoie aux espaces sociaux qui produisent le résultat et, de ce point de vue, il est intéressant de constater la juxtaposition des arguments et des pratiques mobilisés par les acteurs. Deuxièmement, la réception de ces débats montre qu'ils ne se déploient pas dans un espace spécialisé ou académique, mais bien sur des supports de large diffusion, non restreints au registre des joutes savantes, quand bien même l'un des objectifs de ces discussions serait précisément de définir les acteurs légitimes pour produire ce discours mathématique sur l'envol.

Ainsi, la discussion implique souvent des professionnels du calcul, des « praticiens », géomètres, arpenteurs, astronomes, navigateurs, dont les pratiques ne sont qu'en partie dissemblables car, si leurs objets diffèrent, ils utilisent les mêmes instruments et produisent des mesures d'angles pour déterminer la position d'un point. L'expérience aérostatique représente une occasion d'exercer leur savoir-faire au sein de l'espace savant local. Ces discussions intègrent dans le même temps des participations élargies et anonymes, preuve que la mesure d'angle est largement diffusée et comprise, en tous cas suffisamment pour faire l'objet de relectures attentives — comme en témoigne encore le débat qui s'ouvre dans le *Journal de Provence* autour de la mesure de l'envol du *Marseillais*, grande montgolfière habitée construite par l'ingénieur Bonin et le libraire Mazet en mai 1784.

Joseph-Blaise Garnier et un nommé Harmitte déterminent en effet la hauteur atteinte par le ballon : 341 toises 4 pieds 2 lignes. Toujours par l'entremise du *Journal de Provence*, un homonyme (que je désignerai comme le second Garnier) intervient pour préciser qu'il ne doit pas être confondu avec l'auteur de la mesure — ce qui en fait sans doute un mathématicien, s'il craint d'être mal identifié —, d'autant plus qu'il est en désaccord, d'une

---

48. *Affiches de Toulouse*, 17, 28 avril 1784.

part avec son calcul, car il détermine une élévation à 213 toises au-dessus du niveau de la mer, d'autre part avec sa méthode : « Les observations n'ont pu donner qu'une distance oblique à l'horizon et non une hauteur perpendiculaire »<sup>49</sup>. L'écart entre les deux mesures, de plus de 100 toises, est important. Comme il s'agit de minorer l'élévation atteinte, le second Garnier s'empresse de préciser que ce résultat ne doit diminuer ni la gloire de l'expérience locale, ni le mérite des voyageurs : ce dernier ne se mesure pas uniquement à l'altitude atteinte, mais bien à la tentative du vol. De plus, pour étayer son résultat, il fait appel à une autorité savante locale, celle de l'astronome réputé de l'académie de Marseille Guillaume de Saint-Jacques de Silvabelle (1722-1801, directeur de l'observatoire de Marseille depuis 1763), « un observateur qu'il suffit de nommer pour que la question soit décidée sans appel ». Ce dernier a établi la hauteur de l'ascension à « 183 toises au-dessus de la terrasse de l'observatoire » et, si l'on prend en compte la différence de 27 toises de l'observatoire avec la mer, « la différence de leurs déterminations qui sont absolument indépendantes l'une de l'autre n'est que de trois toises »<sup>50</sup>. Dans ce cas, des résultats similaires produits sans concertation jouent dans le sens d'une vérité.

Ainsi, le débat ne peut passer outre le poids croissant de l'Académie. Or l'expertise publique, rendue possible par l'explication des modes de calcul et des résultats dans les papiers locaux, s'opère en tension face aux affirmations d'autorité d'un espace savant qui veut contrôler la légitimité du résultat. Joseph-Blaise Garnier, ne se laissant pas écraser par l'argument d'autorité, décide de porter le différend devant le « public éclairé », afin de l'amener à juger sur la base de l'exposé de ses procédures. Il soutient que sa position vis-à-vis du ballon est équivalente à celle de Saint-Jacques de Silvabelle, mettant en valeur son savoir-faire professionnel dans le calcul pratique :

« mon nom n'est point inscrit il est vrai, parmi les noms célèbres ; mais je crois avoir prouvé en mettant au jour un ouvrage intitulé la Gnomonique pratique, auquel le public a bien voulu faire un accueil assez flatteur, qu'en fait d'opérations mathématiques, on pouvait s'en rapporter à moi jusqu'à un certain point ; et que j'avais quelques connaissances de la théorie ».<sup>51</sup>

Certes, il montre qu'il a conscience de la différence de crédit social et scientifique qui pèse sur la légitimité du résultat. Mais l'égalité produite par le ballon propose un principe d'équidistance des observateurs, principe qui

---

49. *Journal de Provence*, xxviii, 1784, p. 58.

50. *Ibid.*

51. *Journal de Provence*, xxxiv, 1784, p. 67 ; GARNIER, J.-B., 1773.

semble autant social que topographique. Joseph-Blaise Garnier souligne de plus que le résultat obtenu avec Harmitte, conjuguant deux observations, est plus fiable, même si sa méthode ne définit qu'un relatif « degré de certitude dans les opérations », tout en restant faite « à l'estime ». En effet, leurs relevés ne sont pas synchronisés, et ils ne prennent pas en compte la distance qui les sépare dans la production de leur résultat.

En juillet 1784, la discussion reprend de plus belle entre deux abonnés anonymes du journal, qui essaient de résoudre le problème posé par l'écart des résultats. Marseille dispose alors de six mesures énoncées publiquement, dont cinq ont été prises de manière non concertée et qu'il faut concilier. Le premier abonné propose de se ranger à la mesure d'Harmitte et Joseph-Blaise Garnier, « pour mettre tout le monde d'accord », car le consensus reste le premier bénéficiaire du vol : à l'hétérogénéité des observations, il convient de substituer l'unité du résultat. Selon lui, la différence entre ces mesures résulterait d'un mauvais calcul sur les triangles, car, selon que le triangle envisagé est oblique ou horizontal, le résultat concernant l'hypoténuse change : « Les sieurs Harmitte et Garnier ayant trouvé côté sud de leur triangle horizontal, 2 432 toises 2 pieds, ils l'ont, avec raison jugée être la distance de l'observateur au point où doit tomber la verticale du ballon sur l'horizontale »<sup>52</sup>. Pour sa part, il détermine une tangente à l'angle d'élévation égale à 55° 50', qui lui permet de souscrire à leur résultat. Mais le second abonné n'accepte pas cet argument, tout en se refusant à entrer dans les détails :

« Les causes sans nombre d'erreurs soit dans les instruments, soit dans la nature des moyens employés fourniraient la matière d'un long mémoire très peu propre à procurer l'agrément à votre journal. J'en épargnerai donc l'ennui au public ».<sup>53</sup>

À l'inverse de Joseph-Blaise Garnier, qui revendique l'appel au public afin qu'il soit capable de juger de la méthode et de sa judicieuse utilisation — et qui, dans son ouvrage, se positionne en faveur de la diffusion large des savoirs, comme ceux nécessaires aux cadrans solaires, « mis à la portée de tout le monde » —, ce dernier intervenant souhaite soustraire la discussion à l'espace public. Il refuse le débat pour deux raisons : le lectorat serait incapable de se saisir de ces questions techniques, donc serait illégitime pour formuler un jugement, et il en éprouverait de l'ennui. Si l'on note ici que la question de l'adéquation des supports périodiques généraux pour la diffusion d'informations spécialisées est posée — preuve des mutations qui touchent alors les périodiques<sup>54</sup> —, on repère également l'expression classique d'une méfiance

---

52. *Journal de Provence*, XLIX, 1784, p. 96.

53. *Ibid.*, p. 97.

face à la curiosité nouvelle d'un public élargi. Cette remarque souligne en outre la difficulté qu'il y a à trancher, si ce n'est par un argument d'autorité, entre des résultats obtenus par des protocoles et des instruments prétendus strictement identiques. La seule explication valable, aux yeux de cet intervenant, provient de la maladresse de lecture et de calcul de son contradicteur. Ce dernier est alors renvoyé à une incompétence supposée, sans autre forme de procès. On relève des formes semblables de tensions entre praticiens dans le cas de l'établissement de la carte du Languedoc, étudié par Christian Liccoppe<sup>55</sup> : construire une autorité légitime appuyée sur l'utilisation des instruments pour produire des triangulations est une opération complexe. Même si ce cas semble marquer un tournant de la relation entre géographie et astronomie au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, la distinction des compétences des mathématiciens sur d'autres productions de mesures locales est loin d'être figée.

Il est cependant difficile de comprendre les distinctions entre ces praticiens de la mesure à l'intérieur des espaces savants locaux : naissent-elles de la pratique d'une activité utilisant le calcul, mais considérée comme moins noble et socialement reconnue que le travail astronomique — bien que les astronomes soient également des « praticiens » ? Encore sont-ils rejoints dans cette élite mathématique par les professeurs des écoles royales, d'artillerie, d'hydrographie et les formateurs des cartographes et ingénieurs<sup>56</sup>. Les distinctions relèvent-elles des savoir-faire pratiques, des auditoires, des formations propres à chacun, des appartenances institutionnelles ? Ces conflits en tous cas mettent en lumière des clivages qui recouvrent une situation très hétérogène. Cette disparité des savoirs en mathématiques appliquées est encore révélée par la sélection des géomètres arpenteurs dans les différents départements pour le bureau du cadastre au début de la Révolution<sup>57</sup>. Il semble néanmoins que ces clivages renvoient à un regroupement de ceux qui survivent grâce à la demande sociale de mathématiques appliquées, nécessaires à la gestion locale du temps et de l'espace (arpentage, fabrication de cadrans solaires, etc.) et de ceux qui enseignent pour leur propre compte les mathématiques. Or la distinction qui s'opère renvoie en partie à la césure que produit l'espace académique dans le milieu des professionnels du calcul. Ainsi, dans les cas étudiés, les différends avec les astronomes s'expriment lorsque la position de ces derniers se double d'une appartenance académique.

---

54. HILAIRE-PÉREZ, L. & THÉBAUD-SORGER, M., 2006.

55. LICOPPE, C., 2002.

56. TATON, R., 1986.

57. BRET, P., 2006.

### ***Lyon et le « ballomètre »***

Cette tension entre praticiens est encore mise en valeur dans le cas exemplaire de Lyon, qui oppose un arpenteur, Jean Villard, aux mathématiciens de l'académie locale, notamment le père Lefebvre, oratorien et astronome.

Au début de 1784, après les premiers vols habités parisiens, celui de Jean-François Pilâtre de Rozier et du marquis d'Arlandes, puis celui de Jacques Charles et Nicolas Robert aux Tuileries, différentes entreprises se mettent donc en place. Tout le royaume a les yeux rivés sur le premier vol provincial, mené par Joseph de Montgolfier à Lyon, le 19 janvier 1784. Le projet de cette immense montgolfière de 100 pieds de diamètre, dont l'histoire a été plusieurs fois retracée<sup>58</sup>, suscite des attentes démesurées qui sont loin d'être comblées. La machine, fatiguée par les intempéries et le froid extrême, réussit pourtant à soulever sept passagers, ce qui constitue un véritable tour de force, et à atteindre une hauteur qualifiée « d'importante ». Mais l'aventure ne dure que quelques minutes et le ballon atterrit précipitamment un quart de lieue plus loin. Demi-réussite ou demi-échec ? Les bons mots courent et l'on chuchote que « le ballon est allé ventre à terre ». La mesure exacte du vol devient un véritable enjeu aux yeux de toute l'élite lyonnaise impliquée et des altesses venues sur place, comme le Prince de Ligne, dont le fils devient mécène et passager, sans compter les autorités et notamment l'intendant Flesselles, dont le ballon porte le nom.

La discussion s'ouvre donc autour de la hauteur atteinte. Le rapport des commissaires de l'académie de Lyon nommés pour suivre l'expérience paraît en mars 1784 et affirme :

« L'aérostat ayant été vu sous un angle de 31° 3' nous avons mesuré, aidés de M. Dargoud, ingénieur-géographe, la distance de l'observatoire au lieu de la chute ; et nous l'avons trouvée de 670 toises, ce qui en donne 403, auxquelles en ajoutant 10 pour la hauteur du lieu de l'observation, porte à 413 toises le plus haut point d'ascension ».<sup>59</sup>

De son côté, Pilâtre l'estime à 522 toises, en se fondant sur « la lecture du baromètre », d'après le même rapport. En réponse, Jean Villard, proche de Joseph de Montgolfier, publie son résultat et trouve quant à lui, au plus haut point d'élévation, un angle de 60° 8' et une hauteur de 1 438 toises. L'écart est donc maximal. Pourtant, les académiciens affirment : « dans une expérience telle que celle du 19, qu'importe le plus haut point d'ascension de cet aérostat ?<sup>60</sup> ». Tel n'est pas l'avis de Jean Villard, qui rétorque :

---

58. *Histoire du ballon de Lyon, 1784 ; Précis historique, 1784 ; CAZENOVE, R. DE, 1887. GILLISPIE, Ch. C., 1983, pp. 130-144.*

59. *Rapport...*, 1784, p. 7.

« Si Messieurs les commissaires étaient si sûrs de leurs observations, ils n'auraient pas cherché moralement à diminuer aux yeux des voyageurs l'importance de leur point d'ascension. Non, cette ascension n'est ni indifférente aux voyageurs, ni aux amateurs des arts et de la vérité ; c'est un hommage que nous lui devons et nous revendiquons notre travail parce que nous sommes sûrs que nous en fournissons des témoignages authentiques et que les observations des gens qui jusqu'à présent nous étaient inconnus viennent à l'appui des nôtres ». <sup>61</sup>

Un haut point d'altitude atteint constitue bien la preuve d'une ascension brillante. La mesure s'interprète « moralement » : elle est indissociable d'une lecture sociale et urbaine de l'envol qui prendrait en compte l'ensemble des conditions qui ont permis son exécution.

Face à des « opinions [...] si différentes et tellement partagées », Villard rappelle le rôle des commissaires qui « devaient fixer la croyance publique à cet égard » <sup>62</sup>. En décrédibilisant leurs résultats, c'est l'ensemble de la légitimité de l'académie locale qu'il entend remettre en cause. En effet, son opuscule est une contestation point par point du travail de la commission. Avec un mélange de pugnacité et de mauvaise foi, Jean Villard critique avant tout la démarche scientifique et les calculs produits par le père Lefebvre depuis l'observatoire : ainsi, calculer la distance de l'observatoire au point de descente est selon lui une mauvaise méthode de mesure d'angle. De plus, Lefebvre aurait dû « infailliblement » voir le résultat que Villard a trouvé. La distraction lui semble la seule explication : « sans doute la commande et tout l'appareil qui a précédé les expériences ont causé des distractions singulières ; et trop occupés de l'allégresse publique, ils ont oublié ce à quoi les engageait leur commission » <sup>63</sup>. Enfin, pour estimer la hauteur de l'ascension, ils utilisent une technique qui consiste à traduire la grosseur du diamètre en distance par le secours de l'optique, puis, ne s'appuyant pas uniquement sur l'instrumentation, ils font appel aux impressions visuelles : « en prétendant que la corde suspendue à la partie inférieure du ballon n'a jamais disparu à leurs yeux, il faut avouer que ces messieurs de l'Académie ont la vue bien perçante ».

Manque de sérieux, inattentions et mauvais calculs : tous les arguments habituellement utilisés par les académiciens à l'encontre des amateurs leur sont retournés. Jean Villard, avec son propre dispositif, produit une contre-mesure avec un autre observateur. Sa triangulation semble plus précise que

---

60. *Ibid.*

61. VILLARD, J., *Observation sur le rapport*, 1784a, p. 4.

62. *Ibid.*

63. *Ibid.*, p. 3.

l'observation du père Lefebvre, ne serait-ce que parce qu'il utilise plusieurs points d'observation. Il publie un « plan géométral d'observation » accompagné en légende d'un commentaire de son travail par des témoins qui certifient l'avoir vu, avec un autre observateur, prendre des mesures d'angles avec son quart de cercle (Cf. Figure 2). Mais la précipitation semble être également partie intégrante de la mise en œuvre de sa mesure coordonnée, car à l'instant où le ballon change de direction, « le sieur Villard a été obligé de changer de station et a couru à l'ouest du point A au point E », rapportent ces témoins.

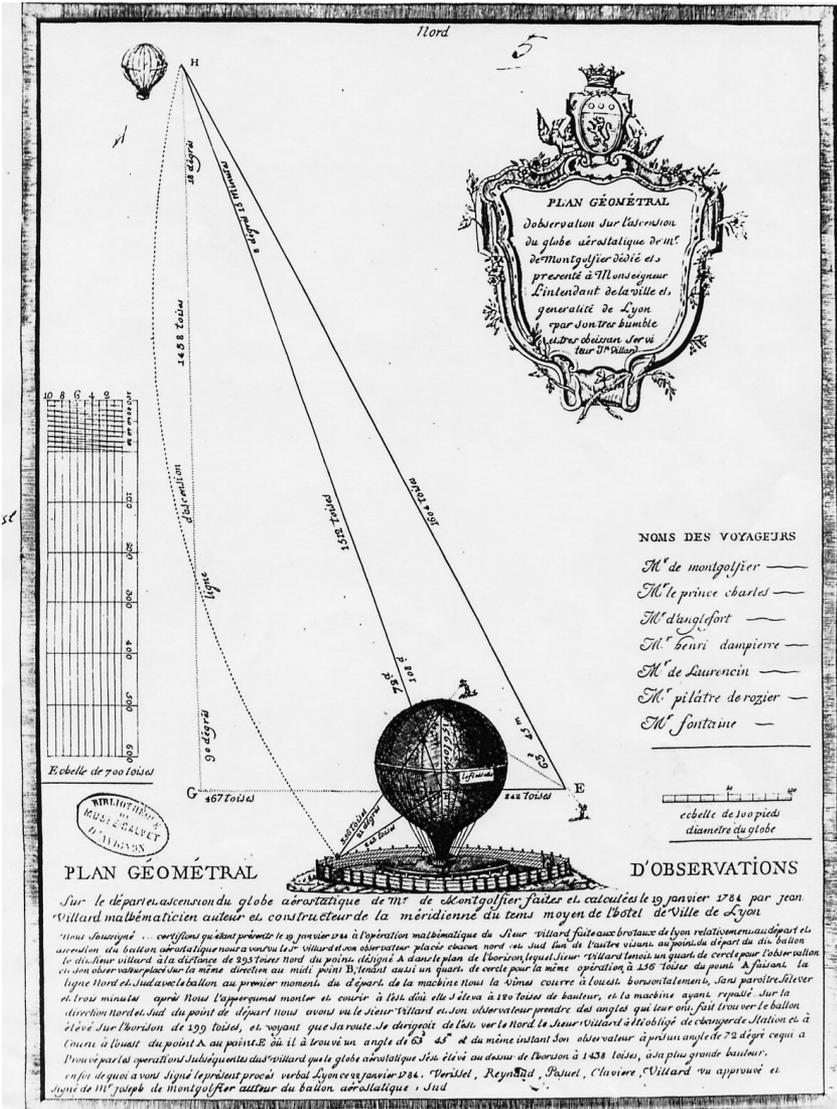
Jean Villard endosse ici la figure assez classique de l'anti-académisme par frustration. Son travail semble en effet assorti d'un projet personnel de reconnaissance savante et institutionnelle qu'il mène sans succès au sein de l'académie locale. Son propos est essentiellement tourné contre son homologue géomètre lyonnais, le père Pierre Lefebvre (1726-1806). Oratorien et professeur au collège de la Trinité de Lyon, il a repris la direction de l'observatoire et enrichi le cabinet de physique de nombreux instruments, dont certains de sa fabrication. Le différend entre les deux hommes date d'un calcul commun sur la méridienne du temps moyen de l'hôtel de ville, pour lequel Jean Villard ne parvient pas à se faire payer et qui a déjà fait l'objet de publications et de réclamations<sup>64</sup>. Si ses positions savantes, notamment en matière de chimie, sont plutôt réactionnaires, Villard, qui se prétend « ancien navigateur », dispose d'une connaissance pratique dont il a déjà pu faire preuve au sein de la ville. Il ne manque donc aucune occasion d'attaquer l'oratorien, puis par extension les académiciens, lyonnais en particulier.

S'il ne parvient pas à inscrire son travail dans l'espace savant, Villard tâche en revanche de l'enraciner dans l'espace social local, recueillant des témoignages visuels qui consolident sa version. Il « arpente » ensuite au sens littéral, pas à pas, les distances, tissant le lien entre chaque témoignage, puis entre ceux-ci et les verticales de l'envol et du point d'atterrissage. Depuis les maisons, l'hôpital, les jardins des hôtels particuliers, il saisit la palpitation des regards derrière les fenêtres. Ainsi en est-il de l'observation faite derrière une croisée de la maison de l'avocat Béraud, plus exactement dans le quart nord-ouest de celle-ci, où le ballon a été aperçu avec une taille correspondant à la pleine lune. Ce témoignage lui sert de repère, et Villard vérifie qu'à cet endroit précis, lorsque la lune est à son apogée, elle sous-tend un angle de  $33^{\circ} 30'$  ; il

---

64. *Journal des savants*, Archives de l'Académie des sciences et belles lettres de Lyon, Ms 232, janvier 1785, p. 52.

Figure 2. Plan géométral d'observations de Jean Villard



Source. Observation sur le rapport fait à l'Académie des sciences..., Lyon, 1784.

rapporte ce calcul à la hauteur de 1 438 toises et obtient un angle visuel très proche de celui du ballon. L'ascension redistribuée en de multiples points de vue se réinscrit dans la topographie urbaine. Les témoignages convergent conformément à sa propre observation confortent sa production trigonomé-

trique *a posteriori*. Il convertit en vérité de l'expérience la trace des sensations individuelles de témoins dignes de foi, négociants éclairés, hommes de professions libérales — qui constituent sa possible clientèle et n'appartiennent ni à l'Académie ni à la noblesse qui a, selon lui, capturé le projet. Valorisant ces témoignages en les inscrivant dans son récit du vol lyonnais, il s'érige en spécialiste de la mesure de l'envol, et à ce titre change encore de définition sociale. Lorsqu'il réitère l'opération de mesure avec deux observateurs, lors du vol de *La Gustave*, en juin 1784, une entreprise menée par le comte de Laurencin et le peintre Fleurant, emportant ce dernier et la première femme aéronaute, Mme Thible, Villard ne se désigne plus comme « ancien navigateur », arpenteur, géomètre, mais s'affuble de la qualité de « ballo-mètre »<sup>65</sup>.

Mesurer cette distance constitue bien un enjeu social. Jean Villard tente de s'en servir pour accéder aux autorités, à l'intendant, puis, pourquoi pas, au Roi. Il envoie donc son second mémoire au contrôleur général et à l'intendant Flesselles, à qui il est dédié, ainsi qu'une requête à Sa Majesté. De même, il sollicite Étienne de Montgolfier, dans une lettre où il se dépeint entouré « d'ennemis puissants », afin qu'il parle au monarque — imaginant que l'inventeur aurait prise sur le monde social comme il a prise sur la matière : « Sa Majesté dès qu'elle le saura, ordonnera que l'on me paye mon cœur me le dit, parce que si j'étais roi, je l'ordonnerais tout de suite »<sup>66</sup>. Acquérir du crédit social en montant dans la nacelle lui semble dans un premier temps être le moyen de réparer un préjudice (l'impayé de son calcul de la méridienne). Mais son projet de vol de janvier 1784 est contrarié par la « ballomanie » de la noblesse. L'intérêt que l'élite porte à cette expérience lui laisse espérer cependant que, par substitution, la mesure de l'élévation du ballon, à défaut de l'acte de voler, lui apportera une attention identique<sup>67</sup>. Il obtiendrait alors gain de cause par sa production de la mesure géométrique du vol, effectuée parallèlement à l'académie lyonnaise, tout en remettant en question son concurrent Lefebvre.

Se servir de la mesure pour se positionner dans l'espace savant n'est pas une démarche qui lui est propre. À l'opposé de la configuration anti-académique, Meusnier en fait le même usage pour conforter sa position dans l'espace savant parisien à l'automne 1783, alors qu'il commence à travailler avec Lavoisier et qu'il souhaite intégrer l'Académie comme adjoint. C'est chose faite en janvier 1784 — nul doute que son omniprésence dans le champ du calcul aérostatique y ait joué un rôle<sup>68</sup>.

---

65. *Lettre à M. Villard...*, 1784b.

66. Musée de l'Air. VILLARD, J., Lettre 17, 1784.

67. *Ibid.*

Les conditions présidant au projet de l'expérience dans chacune des villes se répercutent ainsi sur la lecture qui est faite de l'élévation ; elle fonde en partie la dextérité de celui qui l'établit. Or les conflits locaux concernant la mesure relèvent de la pluralité des savoirs disponibles, capables de produire une estimation, précisément parce que cette question reste exploratoire.

### **3. De la mesure d'angle au baromètre : l'altimétrie problématique**

#### *Atmosphère et pratiques d'observations en altitude*

Les deux grandes techniques de calcul de l'altitude atteinte par le ballon reposent en fin de compte sur des pratiques assez dissemblables, renvoyant à des savoir-faire et à des approches instrumentales différentes. La mesure d'angle, effectuée avec des quarts de cercle, n'est en rien nouvelle et s'applique à de nombreux objets. En revanche, l'approche de l'altitude par la mesure barométrique renvoie à des pratiques moins rodées et aux savoirs liés à la chimie et à la météorologie, alors en plein développement <sup>69</sup>.

Les aéronautes eux-mêmes, depuis la nacelle, peuvent tenter d'évaluer leur altitude en observant la taille des objets du paysage, par exemple, et notamment l'ombre portée que projette leur machine sur le sol, qui leur permet d'estimer la distance. S'ils jettent par-dessus bord des mots et des objets, ce n'est pas uniquement pour se délester, mais aussi pour mesurer l'élévation par le temps de la chute : chaque trajet vers la terre est scrupuleusement chronométré <sup>70</sup>. Les nombreuses observations des voyageurs lors des premières ascensions en ballon ont été également l'occasion de récolter des éléments empiriques sur le comportement de la machine selon l'altitude, les vents, le temps, la chaleur du soleil. Pour se diriger, il est possible d'agir par le jeu du lest et des pressions (une soupape pour laisser échapper le gaz) ou l'alimentation du foyer, afin d'éviter les obstacles, les explosions et les déchirures. Les récits des ascensions de Louis Bernard Guyton de Morveau à Dijon ou du premier voyage de Jacques Charles, le 1<sup>er</sup> décembre 1783, par exemple, sont riches d'informations, sans toutefois que leurs observations soient unifiées. Elles constituent plutôt une sorte de recueil de la pratique.

---

68. LAVOISIER, A.-L. 1986, p. 743.

69. KNOWLES MIDDLETON, W. E., 1964b ; HOLMES, F. L., 1984 ; BENSAUDE-VINCENT, B. & STENGERS, I., 1993 ; FELDMAN, T. S., 1990 ; PARROCHIA, D., 1997 ; HOLMES, F. L. & LEVERE, T. H., 2000 ; GOLINSKI, J., 2003.

70. GUYTON DE MORVEAU, L.-B., 1784 ; « Relation de deux voyages aériens... », 1787.

Enfin, les observations font entrer en scène la manipulation des instruments emportés dans la nacelle, thermomètre, baromètre et parfois hygromètre (mais il n'est pas fait mention d'eudiomètre). Ces instruments viennent à l'appui de la perception des aéronautes, voire tendent à s'y substituer<sup>71</sup>. Le corps devient également instrument de mesure : ils constatent l'effet de l'air sur la respiration, la vivacité, l'appétit, etc. Les aéronautes, comme Pilâtre de Rozier à Lyon, remarquent surtout la non-coïncidence entre la lecture du baromètre et l'altitude évaluée par ailleurs. L'un des aéronautes bordelais, Antoine Darbelet, fait le même constat lors de leur vol de juin 1784, sans pouvoir apporter d'explication<sup>72</sup>.

L'atmosphère, comprise dans un faisceau de savoirs hétérogènes touchant aux phénomènes vaporeux et gazeux, est alors peu connue et fait l'objet de nombreuses hypothèses que le ballon popularise. La question de la nature de l'air noue les connaissances liées au comportement des fluides et à la chimie des airs, en plein renouvellement. En effet, tenir compte des variations de l'air grâce à sa composition permet de déterminer ses effets sur la pression et le comportement de la machine.

Les « pneumaticiens » ont de longue date analysé les caractéristiques de l'air atmosphérique : pression, élasticité, densité. D'autres savoirs se développent, autour de la connaissance du comportement des fluides, notamment avec l'hydrostatique et l'hydrodynamique<sup>73</sup>. La pesanteur spécifique des différents fluides et leur identification se trouvent au cœur du travail des chimistes et physiciens, qui pensent les rapports de densité, les transformations des états du vaporeux au liquide. Si cette approche étaye une connaissance des fluides élastiques d'un point de vue « physique », chimie et physique ne sont en fait pas traitées séparément. Des analyses favorisent la dissection de la nature de l'air et permettent de reconnaître quels sont les différents fluides élastiques contenus dans l'atmosphère<sup>74</sup>. À partir des années 1770, les recherches des chimistes permettent de distinguer les airs inflammables (hydrogène, méthane), l'air fixe (dioxyde de carbone) et l'air vital (oxygène). Les nombreux ouvrages sur les « différentes espèces d'airs » s'attachent à qualifier ces différences en termes de composition. Ces travaux rencontrent un large écho, en particulier grâce aux cours de physique expérimentale qui accompagnent la diffusion d'expériences<sup>75</sup>.

---

71. BOURGUET, M.-N. & LICOPPE, C., 1997.

72. « Relation de deux voyages aériens... », 1787, pp. 23-24.

73. D'ALEMBERT, J., CONDORCET, M. & BOSSUT, C., 1777 ; HAHN, R., 1965.

74. CROSLAND, M., 2000.

Ces méthodes d'analyse de l'air s'attachent conjointement à caractériser des différences, notamment en termes de pureté <sup>76</sup>, et à qualifier les différents états de l'air atmosphérique. Elles évoluent tout au long du XVIII<sup>e</sup> siècle grâce au développement d'instruments de mesure adéquats. Le principe du baromètre est connu depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, mais on ne commence réellement à le fabriquer qu'au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, de même que le thermomètre, réalisé avec diverses échelles de graduation liées à des techniques différentes (alcool et mercure, thermomètre de Réaumur, de Celsius, de Deluc) <sup>77</sup>. Les voyages en montagne, notamment ceux des physiciens, Jean-André Deluc (1727-1817), qui réalise l'ascension du glacier du Buet en 1770, et son compatriote suisse Horace Bénédicte de Saussure (1740-1799), ont joué un rôle essentiel dans le perfectionnement de ces instruments de mesure. Les voyageurs réfléchissent à la corrélation entre différents savoirs que permet l'instrument : le rapport entre pression et température est mis en évidence <sup>78</sup>. Ils introduisent un paramètre nouveau : l'humidité de l'air, appréhendée grâce à un nouvel instrument, l'hygromètre, notamment celui dit « à cheveu » mis au point par Horace Bénédicte de Saussure <sup>79</sup>. Ces outils changent les données de l'exploration et l'édition de traités et récits sur ce thème connaît un réel succès <sup>80</sup>. L'utilisation des instruments de mesure dans les expéditions scientifiques a été la source de mutations dans l'appréhension des espaces parcourus. La fin du XVIII<sup>e</sup> siècle voit la mise en place systématique de relevés coordonnant les différents instruments <sup>81</sup>.

Ces deux types d'investigations, le premier portant sur la chimie des airs, le second déterminant les caractéristiques physiques de l'atmosphère, sont en fait traités de concert. En effet, l'atmosphère en altitude fait l'objet de nombreuses conjectures, notamment sur sa composition, car, comme le dit Jean-Baptiste Meusnier, « La connaissance des changements qu'éprouve la nature chimique de l'air à différentes élévations » est essentielle pour comprendre l'influence « des différents états de l'air sur la densité locale » <sup>82</sup>. Cette connaissance « chimique » de l'air est donc un paramètre essen-

---

75. On peut citer une synthèse comme celle de T. CAVALLO, 1781. Voir également l'exemple important de Priestley développé chez J. GOLINSKI, 1992.

76. LEVERE, T. H., 2000.

77. DAUMAS, M., 1953, pp. 272-283 ; KNOWLES MIDDLETON, W. E., 1996 ; GOLINSKI, J., 1999, 2000.

78. BROC, N., 1991.

79. SAUSSURE, H. B. DE, 1783.

80. DELUC, J.-A., 1778 ; SIGRIST, R., 2001 ; MARCIL, Y., 2000, p. 566.

81. BOURGUET, M.-N. & LICCOPE, C., 1997, pp. 1134-1137.

82. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 107 ; 1784, p. 27.

tiel à prendre en compte. Or, précisément, on sait peu de choses du fonctionnement de la pression atmosphérique. La plongée d'un ballon rempli d'hydrogène, ou d'air raréfié par la chaleur, au sein de la haute atmosphère ravive l'espoir de préciser ces connaissances. Si l'étude des hautes régions de l'air n'était jusque-là permise que par les ascensions en montagne, pas encore systématisées en 1783-1784, les tentatives faites lors des premiers vols sont novatrices<sup>83</sup>. Elles représentent donc un moment particulier de réflexion sur l'utilisation des pratiques instrumentales pour la conquête de l'espace aérien. Mais se situer à un point haut au milieu de l'air ou au sommet du Mont Blanc, est-ce la même chose ?

### ***La rectification de la règle de Deluc : approche théorique...***

L'influence des variations atmosphériques sur les observations barométriques a déjà été remarquée, sans que l'on sache y trouver une réponse efficace. On ignore en fait quels sont les effets de l'air environnant sur la mesure, d'autant que la progression de la pression atmosphérique, envisagée de façon théorique, n'a jamais été vérifiée. Le changement de la pression avec l'éloignement de la terre est-il régulier ? Avant que Laplace ne propose une loi qui permet le calcul de la pression atmosphérique en altitude<sup>84</sup>, cette problématique est exposée par Jean-Baptiste Meusnier à l'occasion de son travail sur le vol du 27 août 1783.

Jean-André Deluc, constatant l'influence des variations atmosphériques sur les observations barométriques, a déjà proposé des tables de rectification de la mesure du baromètre à différentes altitudes<sup>85</sup>. Se fondant sur les changements de température à différentes hauteurs, il a donné une règle qui permet d'établir l'altitude par une lecture du baromètre rectifiée ensuite en fonction de la température. Elle consiste à prendre la différence de niveau entre deux stations  $h$ , puis à calculer la différence des logarithmes de ces deux hauteurs du baromètre  $b$  ; enfin, le résultat est rectifié selon la température du thermomètre de Deluc  $c$ <sup>86</sup>.

Cette grille d'analyse est-elle pour autant fiable au milieu du ciel ? Jean-Baptiste Meusnier, qui souhaite comprendre le système de diminution des densités des différentes couches de l'atmosphère, en doute :

---

83. THÉBAUD-SORGER, M., 1999.

84. À partir de la pression réduite au niveau de la mer, on peut déterminer les différentes pressions atmosphériques et définir des surfaces isobares (où la pression est la même) en tenant compte de la diminution de la chaleur d'environ 2° tous les 300 m.

85. DELUC, J.-A., 1778, tome III, p. 352.

« Cependant, la chaleur de l'air diminuant aussi à mesure qu'on envisage de grandes élévations, le refroidissement tendant à en augmenter la densité, cette cause doit contribuer à rendre moins prompte la diminution de celle-ci, ce que confirme l'observation du baromètre faite à toute hauteur ». <sup>87</sup>

Rendre compte de la progression irrégulière du changement de la pression atmosphérique semble de toute façon difficile avec des mesures qui, jusqu'alors, n'ont été prises qu'en montagne. La relation des densités de l'air avec les différentes élévations provoque des irrégularités qui, pour Jean-Baptiste Meusnier, dépendent de « causes locales ». Or l'influence du sol des montagnes sur la température de l'air qui les avoisine pourrait en être une <sup>88</sup>. L'aérostation proposerait dès lors une nouvelle possibilité exploratoire et, dans un premier temps, permettrait de vérifier si les méthodes de correspondance utilisées entre la pression barométrique et la détermination de l'altitude sont pertinentes. De fait, l'approche isothermique n'est alors pas fondée. Le rapprochement entre altitude et température, notamment perceptible en montagne par ses effets sur la végétation, et qui permet de définir des lignes isothermiques, est plus tardif, dû à Humboldt <sup>89</sup>. La recherche s'oriente donc dans deux directions : mieux connaître l'air et ses effets en haute altitude ; en conséquence, mieux pouvoir contrôler la machine en vol.

Pour Meusnier, les corrections que Deluc a imaginées pour éliminer l'effet de l'influence des montagnes ne semblent pas applicables au ballon, car il s'agit « d'un corps s'élevant dans l'air libre et dégagé par conséquent de cette source d'inégalité, l'étude des montagnes n'ayant d'ailleurs présenté à cet égard aucune progression suivie » <sup>90</sup>. Il cherche donc une hypothèse théorique sur la variation des densités qui soit « plus conforme à la

---

86. « La règle de M. de Luc, pour déterminer les hauteurs, d'après les observations du baromètre & du thermomètre, est :

$$h = b + \frac{b \times 2 \times c}{1000}$$

*h* exprimant la différence du niveau des deux stations ; *b*, la différence des logarithmes des hauteurs du baromètre à ces deux stations, considérée comme des millièmes de toises, ces logarithmes étant pris avec sept figures décimales ; *c*, le degré du thermomètre de M. de Luc, dont le zéro marque la température à laquelle les différences des logarithmes donnent immédiatement les hauteurs, & répond à 16 ° du thermomètre ordinaire de Réaumur ; le 147 ° répondant à la température de l'eau bouillante. Pour rendre l'application de cette formule plus facile pour les personnes peu versées dans ces matières, nous croyons convenable de la rapporter au thermomètre ordinaire. Représentant donc par *r* le degré marqué par le thermomètre ordinaire de Réaumur au moment de l'observation, la formule *b* deviendra :

$$h = b + \frac{b}{1000} \left( \frac{78(4r-67)}{67} \right) \text{ », } \textit{Description...}, 1784, \text{ p. } 17.$$

87. MEUSNIER, J.-B., 1783, pp. 102-103.

88. MEUSNIER, J.-B., 1783, p. 104.

89. BOURGUET, M.-N. & LICOPPE, C., 1997, p. 1128.

90. MEUSNIER, J.-B., 1783.

Figure 3. Table de nautique aérienne de J.-B. Meusnier

TABLEAU des hauteurs, ou doivent se trouver les limites d'équilibre, suivant les différens poids dont l'aérostat sera chargé ;

Calculé dans les suppositions que le baromètre marque 28 pouces à la surface de la terre, que l'air inflammable soit six fois plus léger que l'air commun, & que la température soit constamment à dix degrés du thermomètre.

| Hauteurs au-dessus de la machine non compris que le ballon | Hauteurs au-dessus de la machine, en comptant celui des airs renfermés. | Valeurs correspondantes de la machine, de la hauteur de l'air déplacé, & de la hauteur de l'équilibre. | Valeurs correspondantes de la machine, de la hauteur de l'air déplacé, & de la hauteur de l'équilibre. | Hauteurs du baromètre aux différens positions de la hauteur d'équilibre. | Hauteurs de la limite d'équilibre au-dessus du niveau retenu. | Hauteurs correspondantes de la limite d'équilibre au-dessus du même niveau. |
|--|---|--|--|--|---|---|
|  |   | livres.  | livres.  | pouces, lignes, dixies.  | toises, pieds.  | toises, pieds.  |
| 3048   | 2417  | 28   | 0  | 0  | 0   | 0   |
| 2008   | 2409  | 27   | 1  | 4  | 82  | 2   |
| 1568   | 2361  | 26   | 10   | 9  | 166   | 1   |
| 1208   | 2313  | 26   | 4  | 4  | 211   | 5   |
| 1088   | 2265  | 25   | 9  | 8  | 339   | 2   |
| 1848   | 2217  | 25   | 3  | 2  | 428   | 4   |
| 1808   | 2169  | 24   | 8  | 6  | 520   | 0   |
| 1788   | 2145  | 24   | 5  | 3  | 566   | 3   |
| 1768   | 2121  | 24   | 2  | 1  | 613   | 3   |
| 1728   | 2073  | 23   | 7  | 5  | 709   | 0   |
| 1888   | 2025  | 23   | 0  | 9  | 806   | 4   |
| 1638   | 1977  | 22   | 6  | 3  | 906   | 4   |
| 1608   | 1929  | 21   | 11   | 8  | 1009  | 2   |
| 1508   | 1881  | 21   | 5  | 2  | 1114  | 2   |
| 1528   | 1833  | 20   | 10   | 6  | 1222  | 1   |
| 1488   | 1785  | 20   | 4  | 1  | 1333  | 0   |
| 1448   | 1737  | 19   | 9  | 5  | 1446  | 4   |
| 1408   | 1689  | 19   | 2  | 9  | 1563  | 3   |
| 1368   | 1641  | 18   | 8  | 4  | 1683  | 5   |
| 1328   | 1593  | 18   | 1  | 8  | 1807  | 4   |
| 1288   | 1545  | 17   | 7  | 2  | 1935  | 2   |
| 1248   | 1497  | 17   | 0  | 7  | 2067  | 0   |
| 1208   | 1449  | 16   | 6  | 1  | 2203  | 0   |
| 1168   | 1401  | 15   | 11   | 5  | 2343  | 3   |
| 1128   | 1353  | 15   | 5  | 0  | 2489  | 0   |
| 1088   | 1305  | 14   | 10   | 4  | 2639  | 4   |
| 1048   | 1257  | 14   | 3  | 8  | 2796  | 0   |
| 1008   | 1209  | 13   | 9  | 3  | 2958  | 2   |
| 968  | 1161  | 13   | 2  | 7  | 3127  | 3   |
| 928  | 1113  | 12   | 8  | 2  | 3303  | 3   |
| 888  | 1065  | 12   | 1  | 6  | 3487  | 3   |
| 848  | 1017  | 11   | 7  | 0  | 3679  | 5   |

Source. *Mémoire sur l'équilibre des machines aérostatiques...*, 1784, p. 24.

nature » que la rectification par les températures proposée par Deluc et qui soit applicable partout. Désirant fonder un « module barométrique » qui permettrait de penser l'expansibilité selon l'éloignement de la terre, il cherche à établir des repères pour une future navigation aérienne, d'après des observations répétées et des mesures issues de différents instruments. Dans un travail de mathématiques appliquées, il s'oriente vers l'esquisse d'une « table de nautique aérienne » qui reprendrait le calcul prévisionnel de la force ascensionnelle, en en faisant à terme un outil de référence pratique. Il intègre donc les différences de pressions auxquelles la machine est soumise, en définissant une limite inférieure et une limite supérieure d'équilibre dans le ballon, qui ne correspondent pas exactement (Cf. Figure 3)<sup>91</sup>. S'il se

91. MEUSNIER, J.-B., 1784, p. 13 et suiv. ; GILLISPIE, Ch. C., 1983, pp. 193-198.

contente, dit-il, d'une évaluation abstraite, c'est en attendant d'avoir les moyens d'affiner la théorie par le recours aux expériences <sup>92</sup>.

*....et pratique : l'expérience nantaise*

Ainsi, pour rectifier la règle de Deluc, il faudrait faire coïncider dans une expérience les mesures trigonométriques prises du sol et des relevés opérés depuis la machine avec les instruments, afin de les comparer et d'ajuster l'estimation de la hauteur par ce moyen. Faire correspondre le regard des observateurs et celui de l'aéronaute permettrait en somme d'établir la vérité de la mesure.

Pourtant, l'Académie royale des sciences ne conduit pas d'expérience propre avant celle de Jean-Baptiste Biot et de Gay-Lussac en 1804 ; elle ne finance pas non plus la construction de ballons. Ainsi Meusnier se voit-il obligé d'appliquer ses projets, développés au sein de la commission pour le perfectionnement des aérostats, créée en décembre 1783, lors d'autres expériences en cours. En juillet 1784, celle que les frères Robert mènent à Saint-Cloud lui permet de mettre en œuvre un procédé d'amélioration de la machine (un « ballonnet »). De même, l'entreprise d'un ballon à hydrogène qu'un correspondant de l'Académie, Pierre Lévêque, dirige à Nantes, devient l'occasion de reprendre la question des mesures <sup>93</sup>.

Pierre Lévêque, professeur d'hydrographie à Nantes et correspondant de Bory, possède de véritables compétences mathématiques. Son emprise sur l'expérience reste pourtant minime. Avec le soutien des autorités et grâce à une souscription prestigieuse, le premier voyage a lieu en juin 1784, sous les yeux de toute la ville <sup>94</sup>. L'objectif annoncé est bien un projet de mesure ; mais, à la pression du public immense dont l'attente a duré la journée entière, s'ajoutent de mauvaises manipulations au moment du départ, qui provoquent un accident dans lequel des instruments sont endommagés. Les voyageurs ne renoncent pourtant pas au vol, mais font passer le projet de mesure au second plan. Un deuxième voyage est entrepris après l'été. Il a lieu après la résolution de conflits internes à l'entreprise, qui aboutissent à la scission des oratoriens, parties prenantes du premier vol, et après de nombreuses négociations, car les permissions de vol sont difficilement accordées.

---

92. MEUSNIER, J.-B., 1784.

93. DHOMBRES, J., 1991, pp. 267-272.

94. « Procès-verbal... », 1784, pp. 227-228 ; CHAPELAIN-NOUGARET, C., 1984 ; DÉRÉ, A.-C., 1990, pp. 98-110.

La brochure parue après le second vol fait état des relevés trigonométriques opérés par les ingénieurs des ponts et chaussées, un nommé Reconnencé, posté au moulin de la Marière, et son collègue Demolon, au moulin de Genétré. Ils déterminent une hauteur maximum de 770,6 toises ; sur la page opposée prend place le tableau des mesures effectuées par les aéronautes. Les relevés des ingénieurs et des voyageurs ne peuvent être comparés, car il n'y a aucune coïncidence de temps : « toutes les observations, exceptée la première, n'étant pas simultanées avec celles des voyageurs, on n'en peut rien tirer »<sup>95</sup>. Aux yeux de Pierre Lévêque, qui commente le tableau, le résultat est donc décevant, d'autant plus que les chiffres partiels du tableau ne comportent ni fractions de lignes, ni degrés. Il envisage alors de garder une « certaine confiance » dans la règle de Deluc. Ce tableau peu précis représente en tout cas un supplément apprécié des amateurs (*Cf.* Figure 4). Cependant, la question de la compétence des aéronautes, Coustard de Massy, chevalier de Saint-Louis, et de Luynes, un grand négociant nantais, est posée, car la manipulation des instruments dans la nacelle requiert une dextérité et une connaissance réelles, qui seules peuvent compenser l'instabilité de la machine. La lecture a été ici effectuée par des yeux non experts, qui ne se sont pas arrêtés à la précision des résultats, ce qui invalide ensuite la synthèse globale qui en était espérée.

À la déception de l'hydrographe répond pourtant l'enthousiasme de la ville, de l'ensemble des collaborateurs et témoins du vol, qui célèbrent dans des estampes le ballon et les premiers aéronautes nantais (*Cf.* Figure 5). Les retombées symboliques pour les protagonistes sont importantes. Bien que Lévêque prétende que si l'aérostation se bornait à rectifier la règle de Deluc, elle resterait « infiniment précieuse », aucun financement n'est envisagé pour poursuivre des investigations scientifiques, la majeure partie des attentes ayant été comblée.

Si, comme le remarque Numa Broc, le XVIII<sup>e</sup> siècle a marqué une étape décisive dans l'histoire de la connaissance de l'altitude, notamment par la coordination des instruments et des méthodes, « l'altimétrie souffre d'un autre mal : elle est désintéressée et n'a pas d'utilité immédiate »<sup>96</sup>. Les mesures correspondent à des attentes trop opposées. En effet, la mesure à l'estime de l'altitude atteinte par le ballon se convertit immédiatement dans l'espace social qui produit le vol. Son objectif n'est pas le développement d'un programme expérimental qui, à l'intérieur de ces entreprises telles

---

95. *Description...*, 1784, p. 16.

96. BROC, N., 1991, p. 95.

qu'elles sont menées, peut difficilement se pérenniser. De manière séparée, l'aérostation-spectacle se maintient ensuite, alors que d'autres travaux sont repris pendant la Révolution et au début de l'Empire. Quant au travail météorologique en ballon, il reste largement délaissé jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, avant que le développement de la météorologie et les voyages de Tissandier, Glaisher et Flammarion n'ouvrent de nouvelles perspectives <sup>97</sup>.

Figure 4. Tableau des mesures effectuées à Nantes

# JOURNAL

*Des Observations météorologiques faites dans l'Atrostat LE SUFFREN.*

Départ le 6 Septembre à 0<sup>h</sup> 35' à la pendule astronomique; les vents à l'E. S. E., très-foibles & très-variables; le Barometre à 28 pouces 5 lignes; le Thermometre de Reaumur à 25<sup>d</sup>; l'Hygrometre à paille marquant 2<sup>d</sup> S. Force d'ascension 20 livres; quantité de lest dans le char 170 livres.

| HEURES. MINUTES. | BAROMETRE.   | THERMOMETRE.    | HYGROMETRE. | LEST<br>JETTE. | ÉLEVATIONS<br>suivant la règle<br>de M. DE LUC. | OBSERVATIONS.   |
|------------------|--|-----------------|-------------|----------------|---|---|
| 0 46             | 27 <sup>88</sup> 6 <sup>10</sup>   | 25 <sup>d</sup> | 14. S       | ...            | 147,9 toises.                                   |   |
| 0 49             | 26 9   | 26              | 14. S       | ...            | 273,8   | L'esprit de nître fumant s'évaporant comme à terre.                                     |
| 0 56             | 26 9   | 23              | 11. S       | ...            | 270,2   | Chaleur excessive.  |
| 1 5              | 24 6   | 19              | 9. S        | ...            | 610,8   | L'atmosphère se sent à terre, voir demi-minute au son l'inflection & grands décolorés.  |
| 1 12             | 23 7   | ...             | ...         | ...            | 809,7   | L'atmosphère dans toute la forme; l'atmosphère obliquement plus; ouvert le foyou.       |
| 1 15             | 23 3   | ...             | ...         | ...            | 871,5 (*)                                       | L'atmosphère de plus en plus s'évaporant comme à terre, selon avec un peu d'atmosphère. |
| 1 21             | 24 3   | 15              | 11. S       | ...            | 681,0   |   |
| 1 31             | 28 0   | 23              | ...         | 66             | 66,1  | Tombé & relevé.   |
| 1 41             | 25 6   | 23              | 11. S       | ...            | 484,0   | Stationnaire.   |
| 1 46             | 26 0   | 23              | ...         | 2              | 397,3   | Déviation considérable; très-peu d'air.   |
| 2 11             | 25 7   | 20              | ...         | 22             | 463,1   | Stationnaire.   |
| 2 21             | 25 0   | 18              | 11. S       | ...            | 577,8   | Stationnaire.   |
| 2 31             | 26 3   | 18              | 9. S        | ...            | 343,4   | Stationnaire.   |
| 2 36             | 27 3   | 18              | ...         | 17             | 181,6   |   |
| 2 38             | 27 4   | 18              | 9. S        | 13             | 169,3   |   |
| 2 50             | 27 9   | 24              | 7. S        | ...            | 106,6   | Légère ascension; un peu d'air.   |
| 2 55             | 26 7   | 24              | 5, 5. S     | ...            | 299,4   |   |
| 2 59             | 26 3   | 22              | 5, 5. S     | ...            | 352,8   |   |
| 3 7              | Descendu à Mérimont, paroisse de Fay, à une petite lieue du Temple, & à six lieues de Nantes; après avoir fait beaucoup plus de chemin par les fréquentes déviations que nous avons éprouvées. |                 |             |                |   |   |

(\*) Ces deux hauteurs n'ont pas toute l'exactitude que comporte la règle de M. de Luc; attendu que dans le Journal des Voyageurs, on ne trouve point le degré du thermometre qui y correspond; elles sont seulement conçues d'après l'élevation du barometre. On auroit désiré trouver, dans ce Journal, les fractions de lignes & de degrés.

Source. Description faite de la seconde expérience aérostatique..., 1784.

Au cœur de l'utilisation instrumentale *via* ces expériences se pose la question de la coïncidence entre deux pratiques : celle du regard géodésique, héritée des savoirs mathématiques, et celle de la mesure barométrique, issue de la physique expérimentale. L'universalité de la mesure, question centrale qui fut traitée sous la Révolution, impose dans ce cas d'accorder les deux techniques afin qu'elles parviennent au même résultat. L'enjeu savant serait de compenser l'empirisme du regard par une loi exacte du phénomène de l'éloignement d'un corps dans l'espace. La mesure pourrait échapper au système complexe des triangulations coordonnées, grâce à une utilisation adéquate des instruments barométriques et thermométriques confirmés dans leur fiabilité. Autour de ces pratiques, deux directions de recherche très diffé-

97. LOCHER, F., 2004, pp. 330-364 ; 2006.



\*

Le vol n'est pas seulement observation, enthousiasme, sensation, mais aussi calcul et prévision. Le projet de faire la mesure de l'envol dépend des conditions de production de l'expérience et s'interprète dans le cadre des villes, car le vol est investi des attentes et des stratégies des acteurs. Ils transforment leur position locale à l'aune du principe de l'universalité des sciences. L'aéronaute, plus encore que l'entrepreneur, retire les fruits de l'ascension. Des égards divers émaillent son retour sur terre ; voler ouvre les portes des académies, des salons et des cours. Pour l'ensemble du monde savant — académiciens, arpenteurs, amateurs, entrepreneurs —, produire la mesure exacte de cette distance devient également un véritable enjeu social et local, individuel et collectif.

L'estimation de la hauteur atteinte s'inscrit donc plus dans la chronique de la conquête du ciel, listant les moments, les faits, les exploits, que dans l'espace des savoirs scientifiques. Détaché des phénomènes extraordinaires, chaque vol devient ainsi comparable aux autres. Pourtant, étudier la réception de la question de la mesure permet de repérer des acteurs variés qui s'y sont intéressés. Comment comprendre la présence des calculs et des argumentations, même simplifiés, dans les périodiques généraux ? La mesure fait partie des objectifs de certification du vol et la construction de tableaux, dont les résultats sont parfois fantaisistes, permet de fonder une compréhension du phénomène du vol, l'altitude étant le résultat de l'excès de légèreté. Les polémiques permettent de constater que les résultats étaient lus attentivement, compris et souvent contestés, attestant que leur effet n'était pas purement rhétorique. La compréhension des mesures d'angles comme des calculs optiques par un large public s'explique en partie par la diffusion des méthodes mathématiques, notamment par le biais des récréations, qui connaissent alors de grands renouveaux et succès éditoriaux<sup>100</sup>. La diffusion des méthodes de calcul permet de faire de la question de la mesure un projet dont s'emparent des acteurs divers afin de le soumettre au jugement de l'espace public. Le vol devient une production collective touchant l'ensemble des promoteurs, mécènes, entrepreneurs et publics, au-delà de l'espace savant.

---

98. BRET, P., 1990-1991 ; BELHOSTE, B., 1992.

99. Cliché de M. Simon, musée départemental Dobrée, Conseil général de Loire-Atlantique, Nantes.

100. CHABAUD, G., 1994.

Elle renvoie cependant pour partie aux clivages qui définissent des pratiques différentes des professionnels du calcul : arpenteur, professeur de mathématiques, astronome, géomètre. Les enjeux locaux propres à chaque vol et à chaque ville expliquent la densité des oppositions, dépendant de la plus ou moins grande hégémonie de l'académie locale sur les praticiens et autres prétendants au marché des enseignements et productions mathématiques. Or il ne peut être simplement question d'opinion, car ce qui se joue est bien cette production d'une norme universelle et la désignation de ceux qui maîtrisent la production. La discussion des erreurs, dues aux procédures ou à une mauvaise lecture des instruments, pointe la difficulté de parvenir à une mesure exacte de l'envol. Cette étude montre que l'usage interne de « l'éthique de la précision et de l'exactitude »<sup>101</sup>, qui revient dans l'espace savant à construire grâce aux calculs une exactitude de l'approximation<sup>102</sup> — et souligne le recours bien installé à des pratiques de la moyenne entre observations —, constitue dans le même temps un argument d'autorité incontournable pour opérer des distinctions, d'une part entre les praticiens des mathématiques, d'autre part vis-à-vis de l'espace profane.

Passant de la sensation à la mesure, le calcul de la verticale du vol propose une traduction rationnelle possible de la réalité de ce vol. L'apport des instruments conforte l'appréhension du monde par le biais d'un rapport calculé entre des données physiques<sup>103</sup>. Le tableau doit être une projection rassurante proposant des altitudes possibles. En retour, il recueille les traces effectives des vols ; les relevés expriment les corrélations qui dessinent le terrain de nouvelles évidences et transforment la trame du tableau en un cadre raisonné sur lequel fonder le voyage aérien, non plus comme pratique aléatoire, mais bien comme un art de naviguer<sup>104</sup>.

Ces questions se posent à un moment charnière de l'évolution des disciplines, mathématiques, physique, chimie, météorologie, avant la refonte révolutionnaire qui fut encore l'occasion d'exposer la complexité de l'édification d'une mesure de référence exacte<sup>105</sup>. Sans « altimètre », les instruments de mesure sont à la base de nouvelles approches perceptives. La triangulation

---

101. BOURGUET, M.-N. & LICCOPPE, C., 1997, p. 1143.

102. BLONDEL, C., 1994, montre également comment, avec les expérimentations de la balance à torsion, Coulomb renonce à « l'idéal de la mesure parfaite » (p. 112).

103. Voir de même la lecture des tableaux de la nomenclature de chimie de Lavoisier comme une représentation de la réalité par DAGOGNET, F., 1969.

104. DARBOUX, G., 1910.

105. ALDER, K., 2005.

suppose installation stable, formation, coordination et rigueur, mais l'exactitude se dérobe toujours devant l'imprévu et les relevés sont rarement synchronisés. La solution par la mesure de l'air met en lumière les conditions difficiles dans lesquelles sont effectués les relevés : instabilité, froid extrême. Si l'aérostation valorise une culture des instruments, leur nécessité relève parfois plus de la mise en scène du savoir que des résultats effectifs. Leur usage dénote en fait l'implacable fragilité des conditions expérimentales, dessinant le ciel non comme un espace maîtrisé, mais bien comme un espace de prospections. Il a changé de nature et s'est mué durablement en une enveloppe gazeuse, faite de couches de densités différentes, d'humidité variable, de lits de vent, de molécules d'eau et d'air, qui se métamorphose en un champ exploratoire, soumettant les brouillards, nuages et orages à la recherche et favorisant l'ouverture d'un domaine d'analyse mathématique.

### Sources manuscrites

HARDY, Prosper Siméon, *Mes Loisirs*, BNF, 1783, Ms 6684.

Musée de l'air et de l'espace, Le Bourget. Charrier Canson Montgolfier. Carton xxii. Lettre n° 16, *Lettre de Jean Villard à Joseph de Montgolfier*, sd. Lettre n° 17, *Lettre de Jean Villard à Étienne de Montgolfier*, 1<sup>er</sup> février 1784.

Archives de l'Académie des sciences et belles lettres de Lyon, Ms 232. *Des aérostats*, 7 pièces (lettres et mémoires).

### Sources imprimées

*Affiches, annonces et avis divers de Toulouse*, 1775-1789, hebdomadaire.

*Correspondance littéraire secrète (dite de Mettra)*, 1775-1793, hebdomadaire, slnd, (sans doute imprimée à Cologne 1780-1784). Rédacteurs Mettra, Imbert, Grimod de la Reynière.

*Description faite de la seconde expérience aérostatique faite à Nantes, le 6 septembre 1784, sous la direction de M. Levêque, correspondant de l'Académie des sciences*, Nantes, 1784, 19 p.

*Histoire du ballon de Lyon, suivie d'une autre pièce non moins piquante*, sl, 1784, 61 p.

*Journal de Paris*, quotidien fondé en 1777. Rédacteurs : de Corancez, Cadet de Vaux, Xrhouet.

*Journal de Provence*, 1776-1788, trihebdomadaire, rédacteur L. F. Beaugeard.

*Lettre de M. Villard, ancien navigateur, mathématicien, et ballo-mètre, à Mgr Flesselles, Intendant de la ville de Lyon*, Lyon, 1784.

*Précis historique de la grande expérience faite à Lyon le 19 janvier 1784*, Genève, 1784, 23 p.

« Procès-verbal de l'expérience aérostatique faite à Nantes, le 14 juin 1784 », *Supplément aux affiches de Bretagne*, 25, 1784, pp. 227-228.

*Rapport fait à l'Académie des sciences, belles lettres et arts de Lyon, sur l'expérience de l'aérostat faite le 19 janvier 1784 auquel on a joint une dissertation de quelques aca-*

- démiciens sur le fluide principe de l'ascension des machines aérostatiques, développé par l'action du feu, par Lecamus, Lefebvre, Devillers. Une planche, Lyon, 1784, in-8°, 28 p.
- « Relation de deux voyages aériens faits à Bordeaux, les 16 juin et 26 juillet 1784, par MM. Darbelet, Des Granges et Chalifour de Bordeaux », in *Recueil du Musée de Bordeaux dédié à la Reine*, 1787.
- ALEMBERT, Jean LE ROND D', CONDORCET, Marie J. A. N. DE CARITAT & BOSSUT, Charles, *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides*, 1777.
- CAVALLO, Tibérius, *A Treatise on the Nature and Properties of Air, and other Permanently Elastic Fluids to with prefixed an Introduction to Chemistry*, Londres, 1781.
- CAVENDISH, Henry, « Observations made by Mr. Cavendish respecting the altitude and velocity of Mr's Blanchard's Balloon », in *Account of and Observation on Mr. Blanchard's fourth aerial Travel*, Londres, 1784.
- DEPARCIEUX, Antoine, *Dissertation sur les globes aérostatiques*, Paris, 1783.
- DELUC, Jean-André, *Lettres physiques et morales sur les montagnes, et sur l'histoire de la terre et de l'homme*, Suisse, 1778.
- GARNIER, Joseph-Blaise, *Gnomonique pratique mise à la portée de tout le monde, ou méthode simple et aisée pour tracer des cadrans solaires dans laquelle on trouvera des tables calculées depuis un degré d'inclinaison tant orientale qu'occidentale jusqu'au 90° degré pour les différents angles horaires, ... avec une table alphabétique des principales ville, figure et explication des instruments nécessaires pour l'opération...*, Marseille, 1773, 460 p., 2 pl.
- GUYTON DE MORVEAU, Louis-Bernard, *Description de l'aérostat « l'Académie de Dijon » contenant le détail des procédés. Suivi d'un essai pour une application de la découverte de Montgolfier à l'extraction des eaux des mines*, Dijon, 1784.
- LAVOISIER, Antoine-Laurent, *Correspondance, 1784-1786*, publ. sous les auspices du Comité Lavoisier de l'Académie des sciences, vol. IV, Paris, 1986, 351 p.
- MEUSNIER DE LA PLACE, Jean-Baptiste, « Lettre de M. de Meusnier à M. Faujas de Saint-Fond sur la force d'ascension du ballon parti du Champs de Mars, sur la marche qu'il a tenue [...] suivie de recherches sur les degrés de pesanteur des différentes couches de l'atmosphère », in Barthélémy FAUJAS DE SAINT-FOND, *Description des expériences de la machine aérostatique de MM. de Montgolfier et de celles auxquelles cette découverte a donné lieu*, Paris, 1783, 366 p., pp. 49-162.
- , *Mémoire sur l'équilibre des machines aérostatiques, sur les différents moyens de les faire monter et descendre, lu à l'Académie des Sciences le 3 décembre 1783, avec une addition contenant l'application de cette théorie au ballon que MM. Robert frères construisent actuellement*, Paris, 1784, 31 p.
- SAUSSURE, Horace-Bénédict DE, *Essai sur l'hygrométrie*, Neufchâtel, 1783.
- VILLARD, Jean, *Observation sur le rapport fait à l'Académie des sciences, belles lettres et arts de Lyon, le 19 mars, à l'occasion de l'expérience aérostatique de M. Joseph de Montgolfier, faite aux Brotteaux, le 19 janvier 1784*, Lyon, 1784a, in-4°, 10 p., fig.
- WILLE, Johann Georg, *Mémoires et journal de J. G. Wille, graveur du roi. Tome premier*, Paris, Vve J. Renouard, 1857.

## Bibliographie

- ALDER, Ken, *Mesurer le monde, 1792-1799 : l'incroyable histoire de l'invention du mètre*, Paris, Flammarion, 2005 [éd. orig. 2002].
- ARECCO, Davide, *Mongolfiere, scienze e lumi nel tardo Settecento*, Bari, Cacucci, 2003.
- ARMATTE, Michel, « Théorie des erreurs, moyenne et loi 'normale' », in Jacqueline FELDMANN, Gérard LAGNEAU & Bernard MATELON (éd.), *Moyenne, milieu, centre. Histoires et usages*, Paris, EHESS, 1991, pp. 63-84.
- BELHOSTE, Bruno, « L'utilisation des aérostats pour le lever des cartes et le nivellement », in Jean DHOMBRES (éd.), *L'École normale de l'an III, Leçons de mathématiques*, Paris, Dunod, 1992, pp. 569-573.
- BENSAUDE-VINCENT, Bernadette & STENGERS, Isabelle, *Histoire de la chimie*, Paris, La découverte, 1993.
- BLONDEL, Christine, « La 'mécanisation de l'électricité' : idéal de mesure exacte et savoir-faire qualitatifs », in Christine BLONDEL & Mathias DÖRRIES (eds.), *Restaging Coulomb : usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion*, Florence, L. S. Olschki, 1994, pp. 99-121.
- BOURGUET, Marie-Noëlle & LICCOPPE, Christian, « Voyages, mesures et instruments. Une nouvelle expérience du monde au siècle des lumières », *Annales Hss*, 5, 1997, pp. 1115-1151.
- BOURGUET, Marie-Noëlle, LICCOPPE, Christian & SIBUM, H. Otto (eds.), *Instrument, Travel and Science. Itineraries of Precision from the seventeenth to the twentieth century*, Londres, New York, Routledge, 2002, x-303 p.
- BRET, Patrice, « Les épreuves aérostatiques de l'École polytechnique de l'an IV, de la géométrie descriptive à l'origine de l'École de géographie », *Sciences et techniques en perspective*, 19, 1990-1991, pp. 119-142.
- « Du concours de l'an II à la suppression de l'École des Géographes : la quête identitaire des ingénieurs géographes du cadastre de Prony, 1794-1802 », in Ana Maria CARDOSO DE MATOS, Maria Paula DIOGO, Irina GOUZÉVITCH & André GRELON (dir.), *Les enjeux identitaires des ingénieurs entre la formation et l'action*, (Evora, 8-11 octobre 2003), 2006, sous presse.
- BRIAN, Éric, *La mesure de l'État. Administrateurs et géomètres au XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Albin Michel, 1994.
- BROC, Numa, *La montagne au siècle des Lumières, perception et représentation*, Paris, CTHS, 1991, 300 p.
- BRU, Bernard, « L'à peu près et l'à fort peu-près au temps de Laplace », in Centre d'analyse et de mathématique sociales, *L'à peu près : aspects anciens et modernes de l'approximation*, Paris, EHESS, 1988, pp. 87-103.
- « Laplace, la critique probabiliste des mesures géodésiques », in Jacqueline FELDMANN, Gérard LAGNEAU & Bernard MATELON (éd.), *Moyenne, milieu, centre. Histoires et usages*, Paris, EHESS, 1991, pp. 223-230.
- CAZENOVE, Raoul DE, *Les Premiers voyages aériens à Lyon en 1784*, Lyon, 1887.
- CHABAUD, Gilles, *Sciences en jeux. Les récréations mathématiques et physiques en France du XVII<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle*, thèse de doctorat, EHESS, 1994.
- CHAPELAIN-NOUGARET, Christine, « Les débuts de l'aérostation à Nantes, 1783-1784 », *Mémoires de la société d'histoire et d'archéologie de Bretagne*, LXI, 1984, pp. 165-191.
- CHARTIER, Roger, « Discipline et invention : la fête », in Roger CHARTIER, *Lectures et*

- lecteurs dans la France d'Ancien Régime, Paris, Le Seuil, 1987, pp. 23-44.
- CLÉMENT, Pierre-Louis, *Les montgolfières. Leur invention, leur évolution du XVIII<sup>e</sup> siècle à nos jours*, Paris, Tardy, 1982, 193 p.
- CROSLAND, Maurice, « 'Slippery substances'. Some Practical and Conceptual Problems in the Understanding of Gases in the pre-Lavoisier era », in Frederic L. HOLMES & Trevor H. LEVERE (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press, 2000, 415 p., chapitre 4.
- DAGOGNET, François, *Tableaux et langage de la chimie. Essai sur la représentation*, Paris, Le Seuil, 1969.
- DARBOUX, Gaston, « Notice historique sur le général Meusnier », *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, série 2, 51, 1910, pp. 1-XXXVIII, 3-128.
- DASTON, Lorraine, « Marvelous Facts and Miraculous Evidence in Early Modern Europe », *Critical Inquiry*, vol. 18, 1, 1991, pp. 93-124.
- DAUMAS, Maurice, *Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles*, Paris, PUF, 1953, [reprint fac-similé 2003, éd. Jacques Gabay], 421 p.
- « Precision of Measurement and Physical and Chemical Research in the Eighteenth Century », in Alistair Cameron CROMBIE (éd.), *Scientific Change: Historical Studies*, Londres, Heinemann, 1963, pp. 418-430.
- DÉRÉ, Anne-Claire, « Les aérostats, une industrie de progrès ? » in Jean DHOMBRES (éd.), *Un musée dans sa ville. Science, industrie et société dans la région nantaise, XVIII<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècle*, Nantes, Ouest-édition, 1990, pp. 98-110.
- DHOMBRES, Jean, « La navigation aérienne en Bretagne : le rôle de Pierre Lévêque, 1746-1819 » in Jean DHOMBRES (dir.), *La Bretagne des savants et des ingénieurs, 1750-1825*, Rennes, Éditions Ouest France, 1991, pp. 267-272.
- FAUQUE, Danièle, « Les instruments essentiels de l'expédition pour la mesure de la terre : le quart de cercle mobile », in Henri LACOMBE & Pierre COSTABEL (éd.), *La figure de la terre du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'ère spatiale*, Paris, Gauthier-Villars, 1988, pp. 209-221.
- FELDMAN, Theodore S., « Late Enlightenment Meteorology », in Töre FRÅNGSMYR, John L. HEILBRON, Robin E. RIDER (eds.), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*, Berkeley, Oxford, University of California Press, 1990, pp. 144-178.
- FRÅNGSMYR, Töre, HEILBRON, John L. & RIDER, Robin E. (eds.), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*, Berkeley, Oxford, University of California Press, 1990, VIII-411 p.
- FRÉMONTIER-MURPHY, Camille, *Les instruments de mathématiques, XVI<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles : cadrans solaires, astrolabes, globes, nécessaires de mathématiques, instruments d'arpentage, microscopes*, Paris, Réunion des musées nationaux, 2002, 367 p.
- GALLAIS-HAMONNO, Georges & RIETSCH, Christian, « La table de mortalité de Deparcieux et ses suites », in Cem BEHAR (éd.), *Antoine Deparcieux, Essai sur les probabilités de la durée de la vie humaine (1746), Addition à l'Essai (1760)*, Paris, INED, 2003, pp. 123-155.
- GILLESPIE, Richard, « Ballooning in France and Britain, 1783-1786: Aerostation and Adventurism », *Isis*, n° 75, 1984, pp. 249-268.
- GILLISPIE, Charles Coulston, *Les frères Montgolfier et l'invention de l'aéronautique*, Arles, Actes Sud, 1989, 329 p. [trad. de *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation, 1783-1784*, Princeton, Princeton University Press, 1983, XI-210 p.]
- GOLINSKI, Jan, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

- « ‘The nicety of experiment’: Precision of measurement and precision of reasoning in late eighteenth-century chemistry », in Norton WISE (ed.), *The Value of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 1995, chapitre II, pp. 72-91.
  - « Barometer of changes », in William CLARK, Jan GOLINSKI & Simon SCHAFER (eds.), *The sciences in enlightened Europe*, Chicago, University of Chicago Press, 1999, pp. 69-93.
  - « ‘Fit Instruments’: Thermometer in eighteenth-century Chemistry », in Frederic L. HOLMES & Trevor H. LEVERE (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press, 2000, pp. 185-210.
  - « Chemistry », in Roy PORTER (ed.), *Science in the Eighteenth Century*, vol. 4 of *The Cambridge History of Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, pp. 375-396.
- HAHN, Roger, *L’hydrodynamique au XVIII<sup>e</sup> siècle, aspects scientifique et sociologique*, Paris, Palais de la découverte, 1965.
- HILAIRE-PÉREZ, Liliane & THÉBAUD-SORGER, Marie, « Les techniques dans la presse d’annonces au XVIII<sup>e</sup> siècle en France et en Angleterre : réseaux d’information et logiques participatives », in Patrice BRET, Konstantinos CHATZIS, Liliane HILAIRE-PÉREZ (éd.), *Des techniques dans la presse à la presse technique en Europe, 1759-1950*, Paris, L’Harmattan, 2006 (édition en cours).
- HOLMES, Frederic L., *Eighteenth-century Chemistry as an Investigative Enterprise*, Berkeley, University of California Press, 1984.
- HOLMES, Frederic L. & LEVERE, Trevor H., *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press, 2000.
- HUHN, James Martin, *The Balloon Craze in France, 1783-1799: A Study in Popular Science*, Nashville, thèse dactyl., Vanderbilt University, 1982.
- JOZEAU, Marie-Françoise, « La mesure de la terre au XIX<sup>e</sup> siècle. Nouveaux instruments, nouvelles méthodes », in Jean-Claude BEAUNE (éd.), *La mesure. Instruments et philosophie*, Seyssel, Champ-Vallon, 1994, pp. 95-106.
- KUHN, Thomas S., « Tradition mathématique et tradition expérimentale dans l’évaluation des sciences physiques », in Thomas S. KUHN, *La tension essentielle*, Paris, Gallimard, 1990, pp. 69-110 [éd. orig. 1977].
- KNOWLES MIDDLETON, William Edgar, *The History of the Barometer*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1964a, xx-489 p.
- « Chemistry and Meteorology, 1700-1825 », *Annals of Sciences*, 20(2), 1964b, pp. 125-142.
  - *Invention of the Meteorological Instruments*, Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1996, xiv-362 p.
- LACOMBE, Henri & COSTABEL, Pierre (éd.), *La figure de la terre du XVIII<sup>e</sup> siècle à l’ère spatiale, colloque des 29-31 janvier 1986, organisé par l’Académie des sciences*, Paris, Gauthiers-Villars, 1988, 472 p.
- LEVERE, Trevor H., « Measuring Gazes and Measuring Goodness », in Frederic L. HOLMES & Trevor H. LEVERE (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press, 2000, chapitre 5.
- LICCOPPE, Christian, *La formation de la pratique scientifique, le discours de l’expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, La Découverte, 1996, 346 p.
- « The project for a map of Languedoc in eighteenth-century France at the contested intersection between astronomy and geography. The problem of co-ordination between philosophers, instruments and observations as a keystone of modernity », in

- Marie-Noëlle BOURGUET, Christian LICCOPPE & H. Otto SIBUM (eds.), *Instrument, Travel and Science. Itineraries of Precision from the seventeenth to the twentieth century*, Londres, New York, Routledge, 2002, pp. 51-74.
- LOCHER, Fabien, *Le nombre et le temps. La météorologie en France (1830-1880)*, thèse de doctorat, EHESS, 2004.
- , « De nouveaux territoires pour la Science : les voyages aériens de Camille Flammarion », *Sociétés et représentations*, 2006 (en cours d'édition).
- MARCIL, Yasmine, *Récits de voyage et presse périodique au XVIII<sup>e</sup> siècle. De l'extrait à la critique*, thèse de doctorat, EHESS, 2000.
- MARTIN, Thierry (dir.), *L'arithmétique politique dans la France du XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, INED, 2003, XII-574 p.
- PARROCHIA, Daniel, *Météores, essai sur le ciel et la cité*, Seyssel, Champ-Vallon, 1997.
- ROBERTS, Lissa, « The new chemistry and the transformation of sensual technology », *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, 1995, pp. 503-529.
- SIGRIST, René (éd. avec le concours de Jean-Daniel CANDAU), *H.-B. Saussure (1740-1799), un regard sur la terre*, Genève-Paris, Georg, 2001, 540 p.
- TATON, René (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Hermann, 1986.
- THÉBAUD-SORGER, Marie, « La conquête de l'air, les dimensions d'une découverte », *Dix-huitième siècle*, 31, 1999, pp. 159-177.
- « *L'air du temps* ». *L'aérostation, savoirs et pratiques à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (1783-1785)*, thèse de doctorat, EHESS, 2004, XV-646 p.
- VIROL, Michèle, « Nombres et calculs au XVII<sup>e</sup> siècle, de l'usage des tables et des tableaux », Centre d'analyse et de mathématiques sociales, EHESS-CNRS-Paris-IV, Série « Histoire du calcul des probabilités et de la statistique », n° 40, mai 1999.
- , *Louis XIV, le bien public et l'État, écritures et pratiques à l'aube des Lumières (1685-1715)*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Paris-VIII, 2005.