

Le cyanomètre d'Horace-Benedict de Saussure

La mesure du bleu du ciel Samuel Cordier	70
Le cyanomètre Anne Fauche	79
3 août 1787, mont blanc, ciel bleu, ciel noir Anne Fauche	88

La mesure du bleu du ciel

En ce début d'été 1787, la saison bat son plein à Chamonix. Si les visiteurs sont particulièrement nombreux cette année, c'est pour lever les yeux vers le mont Blanc. En effet, le 7 août 1786, nombreux avaient été les témoins qui avaient suivi de la vallée la première ascension, par Jacques Balmat et le docteur Paccard, de ce sommet qu'on appelait encore le « mont maudit ». Depuis ce jour, le mont Blanc n'est donc plus un territoire inconnu. Pour autant, il ne cesse de fasciner.

L'arrivée de la famille Saussure à l'auberge de Mme Couteran, le lundi 9 juillet 1787, ne passe pas inaperçue. Les étrangers connaissent Horace-Benedict de Saussure, célèbre pour ses travaux en géologie, en météorologie, en physique ou encore en botanique ; les habitants de Chamonix reconnaissent l'homme qui, depuis l'âge de vingt ans – il en a quarante-sept en 1787 –, vient régulièrement dans leurs montagnes. La renommée du savant professeur de l'Académie de Genève attire des visiteurs le soir à l'auberge tandis que les jeunes gens se retrouvent sur la place de l'église avec les villageois.

Horace-Benedict de Saussure est loin de leur vie insouciant car il ne pense qu'à une chose : atteindre à son tour le sommet du mont Blanc. Certains, à Chamonix, disent qu'il ne rêve d'aller à la cime du mont Blanc que pour y planter son baromètre. Ils n'ont pas tort – c'est là le désir légitime du savant –, mais ils oublient qu'il a bien d'autres mesures à réaliser sur les hauteurs. Avec le plus grand soin, il a dressé une longue liste d'expériences dont il a préparé tous les détails de l'exécution dans son laboratoire de Genève.

Un laboratoire à l'échelle des Alpes

En 1760, quand il arrive pour la première fois à Chamonix, Saussure vient d'achever ses études de philosophie à l'Académie de Genève. Ce jeune homme à la physionomie rêveuse est venu à pied afin de récolter des plantes pour Albrecht von Haller (1708-1777), célèbre naturaliste suisse. La vue du mont Blanc depuis le Brevent a fait naître en lui l'ambition de gravir cette cime que personne n'avait encore foulée. Avant de repartir pour Genève, Saussure fait annoncer dans les trois paroisses de la vallée – Les Houches, Le Prieuré et Argentières – qu'il récompensera ceux qui tenteront la périlleuse ascension.

Le jeune philosophe pense que le sommet des montagnes peut offrir une vue d'ensemble idéale pour contempler et comprendre le monde. Dans le deuxième volume de ses *Voyages*, il écrit : « Le physicien, comme le géologue, trouve sur les hautes montagnes de grands objets d'admiration et d'étude. [...] Tous les phénomènes de la Physique générale s'y présentent avec une grandeur et une majesté dont les habitants n'ont aucune idée¹ » Observatoire sans équivalent sur les structures terrestres, le massif du Mont-Blanc constitue aussi un incomparable laboratoire en grandeur nature pour l'étude des phénomènes physiques et atmosphériques².

Cristalliers ou chasseurs de chamois, les habitants de la vallée ne s'aventurent pas en haute montagne ; c'est pour eux un monde dangereux, rempli de mauvais esprits et d'êtres surnaturels. Dans son approche de la montagne et des phénomènes atmosphériques – les orages par exemple –, Saussure ne fait pas référence aux adages météorologiques ou aux traditions populaires. Il sait que les montagnards prédisent les changements de temps à l'aide de petits indices familiaux, mais il a remarqué que cette capacité cesse dès qu'ils s'éloignent des lieux qu'ils connaissent. Lui veut, en physicien, se fonder sur un travail de laboratoire et sur des mesures de terrain.

Un échantillon du ciel du mont Blanc

Le 3 août 1787, lorsqu'il atteint, au prix de longs et pénibles efforts, le sommet du mont Blanc, Saussure tient à effectuer ses mesures à l'aide des instruments que les dix-huit guides qui l'accompagnent et son fidèle valet ont portés jusque-là. Il détermine la pression atmosphérique et calcule une

hauteur de 2 450 toises – soit 4 775 m – pour le mont Blanc (trente-deux mètres de moins que la hauteur exacte). Il compare aussi son pouls à celui d'un guide – cent pulsations à la minute contre quatre-vingt-dix-huit –, mesure la température d'ébullition de l'eau (80 °C) et observe la forme des montagnes. Il prélève de la neige dans des flacons et de l'air dans de grands ballons de verre : le voilà muni d'un échantillon du ciel. Fatigué par quatre heures et demie d'observations, il conclut dans son journal : « Malgré l'admiration que me causoit ce superbe spectacle j'éprouvois le sentiment pénible de ne pas en tirer tout le parti possible, de savoir encore ma faculté contemplative affoiblie par la difficulté de la respiration³. »

Parmi les vingt-cinq « observations et expériences⁴ » réalisées au sommet du mont Blanc – auxquelles s'ajoutent les différents points de géologie –, Saussure s'intéresse à la « couleur du ciel à la cime entre 1 [heure] et 2 [heures] ⁵ ». Pourquoi le savant genevois s'intéresse-t-il au bleu du ciel ? Il apporte lui-même une partie de la réponse : « C'est un fait connu de tous ceux qui ont atteint les cimes des montagnes élevées, que le ciel y paroît d'un bleu plus foncé que dans la plaine. [...] Depuis lors, considérant cette intensité de la couleur du ciel comme un élément intéressant pour la météorologie, j'ai fait un travail suivi sur ces variations⁶ »

Un astucieux procédé : le cyanomètre

Le 27 juillet 1787, à ChamoniX, Saussure a rencontré M. Hughes, le dessinateur de l'explorateur anglais James Cook. Contrairement à l'artiste, il ne veut pas se fier à ses impressions pour évaluer l'intensité du bleu du ciel : en physicien de l'atmosphère, les approximations lui sont inutiles. Sa mesure mobilise donc le cyanomètre – du grec *kuanos*, bleu, et *metron*, mesure –, un instrument astucieux destiné à des mesures grandeur nature.

Pour le réaliser, il a découpé des petits trous carrés dans un morceau de carton et peint à côté de chacun d'eux des surfaces bleues avec de l'aquarelle et de l'encre plus ou moins diluée. En 1787, il en fabrique trois identiques avec seize tons de bleu qu'il numérote du presque noir au presque blanc. Il écrit : « Je laissai l'une de ces suites entre les mains de M. Senebier à Genève, l'autre à mon fils, à Chamouni & j'emportai la troisième. À midi du jour où j'étois sur la cime, le ciel, au Zénith à Genève, paroissoit de la septième

nuance : à Chamouni, entre la cinquième & la sixième, & sur le Mont-Blanc, entre la première & la seconde, c'est-à-dire, tout près du bleu de roi le plus foncé⁷ »

Cette mesure du bleu du ciel s'inscrit dans son investigation physique des phénomènes liés à l'humidité atmosphérique. Saussure souhaite en effet mesurer quelle quantité de vapeur diminue la transparence de l'air et donne sa couleur bleue au ciel. Comme il l'explique lui-même, « la couleur du ciel peut être considérée comme la mesure de la quantité des vapeurs opaques, ou des exhalaisons qui sont suspendues dans l'air. Car il est bien prouvé que le ciel paraitroit absolument noir, si l'air étoit parfaitement transparent, sans couleurs⁸ ». Ainsi, les étoiles devraient être visibles en plein jour au travers d'une atmosphère suffisamment raréfiée : Saussure n'observe pas ce phénomène, mais s'appuie sur le témoignage de ses guides⁹.



Le cyanomètre imaginé par Horace-Benedict de Saussure pour mesurer le bleu du ciel, avec 16 tons de bleus, numérotés du presque noir au presque blanc. Des chiffres ont été raturés, ce qui incite à penser que l'instrument était encore un prototype. Cet objet a donc beaucoup de valeur car les instruments d'essai sont rarement conservés.

Au sommet du Mont-Blanc, le savant relève un bleu très foncé situé entre 1 et 2. Son fils Nicolas à ChamoniX note un bleu beaucoup plus clair entre 5 et 6, tandis qu'à Genève, un ami scientifique relève que le ciel est à 7.

© Musée d'histoire des sciences de Genève.

Le phénomène optique à l'origine du bleu du ciel est aujourd'hui connu. En traversant l'atmosphère, la lumière du soleil subit un phénomène de diffraction. Les composantes vertes, jaunes et rouges sont absorbées, alors que le bleu est diffusé. Sans les vapeurs d'eau, le ciel apparaîtrait noir. Il est beaucoup plus clair au niveau de la mer car la lumière qui nous parvient à basse altitude a traversé une grande épaisseur d'air ; la diffusion du bleu est alors importante. Sur les hauteurs, en revanche, la lumière n'a traversé qu'une faible couche d'air, la diffusion de la lumière est donc limitée et le ciel apparaît plus sombre. L'intuition de Saussure, qui pense que l'intensité du bleu du ciel varie avec la quantité de « vapeurs opaques », est donc fondée.

L'année suivante, en juillet 1788, il séjourne trois semaines dans un campement établi au col du Géant avec son fils Nicolas Théodore. À 3 400 m d'altitude, il poursuit ses observations ; comme l'année précédente, les mêmes mesures sont faites simultanément à Chamoni et Genève par deux personnes initiées aux relevés de précision. À cette occasion, Saussure a fabriqué un nouveau cyanomètre qui, du blanc à l'outremer foncé, compte quarante-quatre tons. Sur cette échelle plus précise, le bleu du mont Blanc correspond au degré 39, celui du col du Géant au 37, celui de Chamoni au 27 et celui de Genève au 26.5. D'utilisation plus facile que le précédent, ce cyanomètre est constitué par un anneau circulaire de 18 cm de diamètre, sur le bord duquel sont collés les morceaux de papier bleu.

Au cours de ce long séjour sur les hauteurs, le savant genevois utilise également son cyanomètre pour étudier la naissance et l'évolution des nuages ; il espère ainsi saisir le mécanisme des orages¹⁰. Comme il l'a fait au sommet du mont Blanc, Saussure détermine la quantité d'eau dans l'air à l'aide de son hygromètre à cheveux, la teneur en électricité de l'air en utilisant son électromètre, ou encore sa transparence avec son diaphanomètre. En outre, il mesure la vitesse du vent avec son anémomètre. Son ambition est de collecter un maximum de données afin d'établir ensuite des lois physiques.

La quête de la mesure précise

La démarche du savant genevois repose, nous l'avons déjà dit, sur la mesure de phénomènes naturels liés à l'humidité atmosphérique. Pour le vent, la pluie, les aurores boréales et les tremblements de terre, qui ne semblent soumis à aucune loi physique régulière, Aristote avait défini la « science des météores », mais, faute d'instruments, cette science n'avait guère progressé jusqu'au XVIII^e siècle, hormis l'étude de certains phénomènes optiques comme les arcs-en-ciel. D'utilisation facile et transportable en montagne, le cyanomètre prouve que Saussure possède également un savoir-faire remarquable pour fabriquer des instruments. Il participe ainsi à la fondation d'une véritable science, qui s'appellera la « météorologie »¹¹.

Genève, comme Paris, Londres, Amsterdam ou d'autres villes allemandes et italiennes, contribue au XVIII^e siècle à l'élaboration de la science moderne, en particulier dans les domaines de la physique et des sciences naturelles. Les scientifiques genevois, membres des grandes académies de l'Europe savante, échangent des idées avec leurs collègues. Les Genevois entretiennent surtout des relations privilégiées avec les communautés scientifiques protestantes des Pays-Bas ou d'Angleterre – ce qui leur a permis d'accepter les idées de Newton avant leurs voisins français¹². En effet, les savants français, fidèles aux idées de Descartes, pensent encore dans la première moitié du XVIII^e siècle que la Terre est allongée comme un citron, alors que les défenseurs des idées de Newton soutiennent qu'elle est aplatie au niveau des pôles comme une mandarine. L'Académie française organisera deux expéditions – sous les tropiques et au niveau du cercle polaire – pour mesurer un arc de méridien et donner finalement raison aux partisans de Newton.

Saussure n'est pas un cas isolé à Genève dans la seconde moitié du XVIII^e siècle : il existe sur les bords du lac Léman un véritable art de la mesure, propre à la physique des Lumières. Comme la plupart de ses collègues genevois, Saussure se range plutôt du côté des observateurs de la nature et des expérimentateurs que de celui des théoriciens aventureux. L'influence de son oncle, l'entomologiste et botaniste Charles Bonnet (1720-1793), est déterminante. Ce célèbre savant, proche du minutieux observateur qu'est René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), incarne à lui seul la tradition de l'« expérimentalisme naturaliste » genevois¹³. L'un des grands

118

Première Expérience, §. 113; 114. Alphonse des vapeurs.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Poids des N ^o . 1. 1,8145 1,1718 2,0156	Deux N ^o . 2. 7,651 1,691	Variation de l'Hygrom. 9,41	Effet d'un grand p ^o de vapeur. 40,95	Hauteur du p ^o . 7,31	Hauteur du p ^o . 14,70	Hauteur du p ^o . 28,40	Variation du 1,6910	Effet d'un p ^o . 0,187
19,89	7,81	1,607	4,189	1,607	3,214	6,428	0,6871	0,187
<i>Seconde Expérience, §. 117, 123. Génération des vapeurs.</i>								
N ^o . 1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1,1118	9,17	10,14	14,17	14,72	26,10	26,11	1,1161	0,189
1,9111	19,71	19,00	9,71	14,77	26,11	26,11	1,1061	0,614
1,8470	17,17	11,44	6,19	11,47	27,01	27,01	1,0687	0,178
1,1976	68,12	9,11	1,91	11,97	26,10	27,01	0,7917	0,497
1,4700	81,82	10,01	1,47	14,90	26,10	26,10	0,9875	0,619
0,6108	94,16	1,45	1,49	11,01	26,10	26,10	0,2000	0,195
9,6281	84,00	8,90	11,16	26,10	10,59	1,1417	0,155	
<i>Troisième Expérience, §. 128.</i>								
N ^o . 9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
1,1,8712	11,44	11,84	19,11	4,10	26,11	11,11	1,00000	0,113
1,1,1060	09,28	18,66	14,29	1,00	27,01	0,1		
1,1,1812	14,10	16,70	4,77					

Tableau tiré des Essais sur l'hygrométrie qu'Horace-Benedict de Saussure fit paraître en 1783, soit quatre ans avant son ascension au mont Blanc. Il y donne les résultats d'expériences méticuleuses faites en laboratoire sur les conditions de passage de l'eau vapeur (invisible dans l'air) à l'état liquide (sous forme de fines gouttelettes), et inversement. Pour faire de la météorologie, il est important de comprendre les conditions de ce passage. Saussure réalise donc des expériences « d'absorption et de génération de vapeurs », en faisant varier différents paramètres (comme la pression ou la vitesse du vent) dont il consigne les résultats dans des tableaux. Le bleu du ciel est étroitement dépendant du taux d'humidité dans l'air : il est donc important de le mesurer quand on travaille sur les « vapeurs ».

problèmes qui se posent à Saussure pour décrire la nature est celui de l'objectivité. Sur le terrain, ou quand il réalise des expériences de physique, il répète les gestes du naturaliste. Ces pratiques apporteront une réponse à une partie de ses problèmes.

Ses voyages terminés, Saussure ne reste pas dans les hauteurs et les nuages : il s'implique dans la vie genevoise. Ainsi propose-t-il une réforme de l'enseignement au collège de Genève, introduisant notamment l'histoire naturelle dans les programmes, dans un souci d'éducation populaire. Scientifique reconnu jusqu'aux États-Unis, mais ruiné et épuisé, il restera actif jusqu'à sa mort, le 22 janvier 1799.

Que devient son cyanomètre ? Bien qu'éclipsé par d'autres instruments, des disciplines encore plus mathématisées et de nouveaux champs d'investigation, il ne tombe pourtant pas dans l'oubli. Pour preuve, en juin 1802, le savant allemand Alexander von Humboldt (1769-1859), qui connaît les œuvres de Saussure, emporte un cyanomètre en Équateur, sur les pentes du Chimborazo : cette montagne de 6 267 m est alors considérée comme la plus haute du monde.

Dans une vitrine du Musée d'histoire des sciences de Genève, les petits carrés bleus du cyanomètre emporté au mont Blanc par Saussure n'ont rien perdu de leur éclat. Comme les autres instruments mis au point par le savant suisse, il témoigne d'une étape fondamentale vers la constitution de la météorologie et, plus largement, de la physique moderne.

Notes

1. Horace-Benedict de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, précédés d'un Essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève, Neuchâtel et Genève, chez Fauche, Barde-Manget puis Fauche-Borel, 1779-1796, 4 vol., t. II, § 919, Rédigés dans un style clair et précis, ces *Voyages* ne sont pas chronologiques mais restituent l'itinéraire intellectuel du personnage.
2. René Sigrist, « La géographie de Saussure à l'horizon des savoirs du XVIII^e », in H.-B. de Saussure (1740-1799), un regard sur la terre, Chêne-Bourg, Georg, 2001, p. 223.
3. Horace-Benedict de Saussure, *Journal d'un voyage à Chamouni & à la cime du Mont-Blanc, en juillet et août 1787*, Lyon, M. Audin et Cie, Aux Deux-Colines, 1926, p. 26.
4. *Ibid.*, p. 26.
5. *Ibid.*, p. 21.
6. Horace-Benedict de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, précédés d'un Essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève, op. cit., § 2009.
7. *Ibid.*, § 2009.

L'Europe des découvertes

8. Ibid., S 2083.
9. Ibid., S 2009.
10. Ibid., S 2010.
11. René Sigrüst, « Les Essais sur l'hygrométrie (1783) ou l'art de la mesure précise », in H.-B. de Saussure (1740-1799), un regard sur la terre, op. cit., p. 110.
12. Jean Roger, « L'Europe savante », in Jacques Trembley (éd.), Les Savants genevois dans l'Europe intellectuelle du XVII^e au milieu du XIX^e siècle, Genève, Éditions du Journal de Genève, 1988, p. 51.
13. René Sigrüst, « Les Essais sur l'hygrométrie (1783) ou l'art de la mesure précise », in H.-B. de Saussure (1740-1799), un regard sur la terre, op. cit., p. 111.