

La physique au sommet du Mont-Blanc

par Jacques NAIRE
Lycée polyvalent, 73600 Moûtiers

Cet article rappelle les expériences réalisées par H. B. de Saussure il y a 200 ans, au sommet du Mont-Blanc. Expériences reprises en parties, par des élèves de terminale, à Pâques 1989.

LES A.S.S.

Il existe au Lycée de Moûtiers (Savoie), entre autres enseignements, une option «sport», ou Activités Sportives Spécialisées (ASS) ; option que les élèves choisissent en classe de seconde et qu'ils présentent au Baccalauréat, en soutenant un mémoire, au même titre que la musique ou une langue.

L'emploi du temps comporte deux heures de sport hebdomadaires et deux stages annuels, au cours desquels les élèves pratiquent le canoë-kayak, la planche à voile, la spéléologie et la plongée sous-marine ; activités de pleine nature permettant le travail interdisciplinaire ou l'application «in situ» des connaissances scolaires. En plus de ces activités sont prévus deux raids à ski en première et en terminale.

C'est dans le cadre de cette option qu'a été conçu le projet «Mont-Blanc 89 » : raid qui a conduit, en six jours à ski de randonnée, seize élèves de terminale (B, C et D) et cinq enseignants (philosophie, économie, biologie, éducation physique et sciences physiques) accompagnés de professionnels de la montagne, de leur lycée au sommet du Mont-Blanc.

Cette opération a fait l'objet d'un travail pluridisciplinaire en relation avec le Mont-Blanc (développement économique de la vallée de Chamonix, influence de l'altitude sur l'organisme...)

En sciences physiques nous avons envisagé de refaire au sommet quelques une des expériences effectuées, il y a deux cents ans, par H. B.

de Saussure. Ce qui nous a plongé dans la physique du XVIII^e siècle et fait découvrir un savant quelque peu oublié.

HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE

Horace-Bénédict de Saussure est né à Genève, le 17 février 1740. Bien que professeur de philosophie à l'académie de Genève de 1762 à 1786, c'est en sciences qu'il s'est rendu célèbre, s'intéressant aussi bien à la botanique qu'à la chimie ou la météorologie [1].

En physique, notamment, il a été un observateur et un expérimentateur méticuleux, inventant ou améliorant des instruments [2], participant activement à la recherche barométrique [3] et, même de façon polémique, à la recherche hygrométrique [4].

Il a été de ce fait reconnu comme un grand savant, de son vivant et au XIX^e siècle [5]. Il semble un peu oublié, en tant que tel, de nos jours ; dans les livres d'histoire son nom est plus souvent cité à la rubrique « alpinisme » qu'à la rubrique « sciences », d'ailleurs l'Histoire Générale des Sciences ne le cite qu'à la rubrique « géologie » [6]. Cependant, la Confédération Helvétique lui a consacré un billet de vingt francs, pour commémorer l'ensemble de son œuvre.

Très tôt passionné par la montagne, il effectue son premier voyage à « Chamouni » à l'âge de vingt ans. Il y attrape la passion du Mont-Blanc et n'aura de cesse de fouler son sommet. Il promet d'ailleurs une récompense au premier qui y parviendra.

Par la suite, il effectue de nombreux voyages consacrés à l'étude des montagnes dans toute l'Europe et atteint enfin le sommet du Mont-Blanc, le 3 août 1787 à 11 h du matin, après deux jours et demi de montée (certains phénomènes sportifs font de nos jours l'aller-retour Chamonix-Mont-Blanc en six heures !!!), avec une certaine fatigue et même une certaine irritation : « Au moment où j'eus atteint le point le plus élevé de la neige qui couronne cette cime, je la foulai aux pieds avec une sorte de colère plutôt qu'avec un sentiment de plaisir » [7,p 205].

Cette ascension est la troisième dans l'histoire du Mont-Blanc. La première a été effectuée le 8 août 1786 par Jacques Balmat et Michel-Gabriel Paccard. La seconde, le 5 juillet 1787, par le même Balmat (dit

«Mont-Blanc» depuis sa première ascension), Alexis Tournier et Jean-Michel Cachat dit «Le Géant». Elle est effectuée par Saussure, son domestique Tétu et dix-huit guides «qui portaient mes instruments de physique et tout l'attirail dont j'avais besoin» [7, p.189].

Elle est incontestablement la première ascension scientifique : «D'ailleurs, mon but n'était pas seulement d'atteindre le point le plus élevé, il fallait surtout y faire les observations et les expériences qui seules donnaient quelque prix à ce voyage, et je craignais infiniment de ne pouvoir faire qu'une partie de ce que j'avais projeté» [7, p.205].

Et Saussure passe au sommet près de quatre heures trente à faire des expériences : «Je restais cependant sur la cime jusqu'à trois heures et demie après-midi, et quoique je ne perdisse pas un seul moment, je ne pus faire dans ces quatre heures et demie toutes les expériences que j'avais fréquemment achevées en moins de trois heures au bord de la mer» [7, p.214].

Saussure n'effectue pas d'autre ascension du Mont-Blanc. Il consacre la dernière partie de sa vie à la poursuite de diverses expérimentations et recherches, ainsi qu'à la rédaction de son principal ouvrage «Voyages dans les Alpes ».

Il meurt le 22 janvier 1799.

LES EXPÉRIENCES DE SAUSSURE

Pendant tout le temps passé au sommet, Saussure effectue diverses observations et mesures touchant à différents domaines des sciences. On en trouve la description détaillée dans les «Voyages» [8], mais une version plus «lisible » dans le récit de son ascension [9].

La pression

La mesure de la pression est effectuée à l'aide d'un baromètre à mercure (il en a emmené deux au sommet !). A 12 h il trouve, après correction de température, une hauteur de mercure de 16 pouces et 144/160 de ligne, soit 435 mm (cf. appendice).

La mesure est effectuée en même temps à Genève par son ami Jean Senebier (27 pouces 2 lignes et 108,5/160 lignes soit 737 mm) et à Chamonix par son fils Théodore (25 pouces 3 lignes 58/160 lignes, soit

684 mm). Ce qui lui permet de déterminer la hauteur du Mont-Blanc par rapport à Chamonix et à Genève, et son altitude par rapport à la mer.

Pour déterminer la différence d'altitude, entre deux stations, à partir de la hauteur barométrique relevée à ces deux points, il utilise la formule donnée par Halley en 1685 [3] :

$$H = Z - Z_0 = K \log \frac{h}{h_0},$$

dans laquelle h et h_0 sont les hauteurs barométriques (après correction de température) et $K = 10\,000$ toises.

La hauteur H est ensuite corrigée en fonction des températures des deux stations pour tenir compte de la dilatation de l'air.

Soit :

$$\Delta H = \frac{h \cdot \Delta t}{k},$$

où Δt représente l'écart entre la moyenne des températures et une température de référence, et k un coefficient.

A l'époque différentes formules existent. Ainsi De Luc prend comme référence 16,75 degrés Réaumur et $k = 215$ [2], tandis que Trembley adopte 11,5 d° et $k = 192$ [10].

Saussure, pour déterminer la hauteur du Mont-Blanc, utilise toutes les formules à sa disposition et adopte une valeur moyenne en fonction des estimations existantes :

« Prenons une moyenne entre ces cinq mesures

Par mes observations calculées, suivant Mr Trembley	
Par les mêmes, suivant Mr de Luc	2480
Par les mêmes, suivant Mr Schuckburgh	2418
Par les mesures trigonométriques du même physicien	2475
Par la mesure mixte de Mr Pictet	2450
Moyenne	2449,8
	2462

ou 2450, qui est la hauteur que j'ai attribué au Mont-Blanc, et qui paraît mériter la plus grande confiance, soit parce qu'elle est la moyenne des

moyennes, soit parce qu'elle est d'accord avec la mesure trigonométrique» [9, p.128].

Ce qui donne pour altitude 4 775 m (officiellement 4 808 m).

La température

Pour repérer les températures, Saussure utilise l'échelle «de Réaumur» (0° à la glace fondante, 80° à l'ébullition de l'eau).

Il relève, à midi à l'ombre : $-2,3 \text{ d}^{\circ}$ ($-2,87^{\circ}\text{C}$),

au soleil : $-1,3 \text{ d}^{\circ}$ ($-1,62^{\circ}\text{C}$).

«Un troisième thermomètre semblable et dans la même position, mais dont j'avois noirci la boule avec du noir de fumée, délayé dans de l'eau de gomme, se tenoit au soleil constamment à $+1,9$ », (soit $+2,37^{\circ}\text{C}$), [9, p.134].

L'humidité de l'air

Saussure se sert de l'hygromètre à cheveux, dont il est l'inventeur [3], gradué de 0 (point de «sécheresse absolue») à 100 (point d'«humidité extrême»).

Les résultats des mesures sont, à midi au soleil 44 et à l'ombre 51, alors qu'à la même heure on note, à Chamonix 73,4 et à Genève 76,7.

Ce qui, après correction, donne, à l'ombre au Mont-Blanc, 1,7 grains d'eau par pied cube ($2,63 \text{ g/m}^3$) et 10 grains par pied cube à Genève ($15,46 \text{ g/m}^3$).

«Il suit de là qu'à midi, l'air sur la cime du Mont-Blanc contenoit six fois moins d'humidité qu'à Genève ; ... Cette grande sécheresse de l'air étoit sans doute la cause de la soif ardente que nous éprouvâmes pendant tout le temps que nous passâmes sur la cime» [9, p.138].

Électricité

La mesure de l'électricité statique est faite à l'aide d'un électromètre à boules, amélioré par ses soins [2].

«Les boules de mon électromètre ne divergeoient que de 3 lignes, et

l'électricité étoit positive. je fus étonné que sur le bord d'un escarpement aussi considérable que l'est le tranchant de la cime, l'électricité ne fût pas plus forte ; ... Ce fait doit s'expliquer par la sécheresse de l'air qui, diminuant sa force conductrice, ne permettoit pas l'infiltration du fluide électrique contenu dans les régions supérieures» [9, p.139].

Coloration du ciel

Pour comparer le bleu du ciel vu du Mont-Blanc à celui vu de la plaine, il invente un procédé particulier :

«Pour cet effet, j'avois teint, avec du bleu d'azur ou du bleu de Prusse, des bandes de papier de seize nuances différentes, depuis la plus foncée, que j'avois marquée n°1 jusqu'à la plus pâle, marquée n°16... A midi, au jour où j'étois sur la cime, le ciel, au zénith à Genève, paraissoit de la septième nuance ; à Chamouni, entre la cinquième et la sixième, et sur le Mont-Blanc entre la première et la seconde ; c'est-à-dire près du bleu de roi le plus foncé» [9, p.140].

Par la suite il améliore ce système, qu'il appelle «cyanomètre» en trouvant cinquante et une nuances entre le blanc et le noir.

Teneur de l'air en gaz carbonique

Pour vérifier la présence de gaz carbonique en haute altitude, il utilise deux méthodes :

- la première consiste à abandonner à l'air libre un récipient contenant de l'eau de chaux : celle-ci se couvre, au bout d'une heure trois quarts d'une pellicule, moins épaisse cependant que celle qu'il a observé au bord de la mer ;
- dans la seconde il observe l'action d'un acide sur du papier trempé dans une solution d'«alkali végétal» (potasse caustique) et laissé séché à l'air : il ne se passe rien lorsque le papier sort du flacon, par contre il y a effervescence lorsque le papier a séché une heure trente à l'air.

Ces deux expériences mettent en évidence la présence de gaz carbonique au sommet du Mont-Blanc.

Ébullition de l'eau

Le thermomètre utilisé par Saussure est muni d'un micromètre lui permettant d'apprécier le millième de degré.

La température d'ébullition de l'eau relevée par Saussure est de 68,993 d° (86, 241°C) alors qu'elle avait été de 80 d° (100°C) lors d'une expérience précédente effectuée à Genève, et de 81,299 d° (101,623°C) au bord de la mer.

De plus Saussure note que pour porter cette eau à ébullition il faut 30 minutes au Mont-Blanc alors que 15 minutes suffisent à Genève, et 12 minutes au bord de la mer.

Déclinaison magnétique

Saussure mesure, depuis le Mont-Blanc, l'angle que fait une droite - Mont-Blanc, église de Chamonix - avec l'aiguille aimantée ; il mesure le même angle depuis Chamonix. Il trouve la même valeur.

Mesure du son

Saussure constate à propos du son : «un coup de pistolet n'y fit pas plus de bruit qu'un petit pétard de la Chine n'en fait dans une chambre» [9, p.164].

MONT-BLANC 89

Les projets

Il n'était pas dans nos intentions de refaire toutes ces expériences, mais nous avons choisi, par suite de contraintes matérielles aisément compréhensibles, les plus faciles à mettre en œuvre et, dans un souci pédagogique, les plus faciles à observer et à interpréter, à savoir :

- repérage des températures de l'air, à l'ombre et au soleil, et température d'ébullition de l'eau ;
- mesure de l'humidité de l'air à l'aide d'un hygromètre à cheveux ;
- le baromètre de Fortin étant par trop encombrant, la pression atmosphérique serait mesurée à l'aide d'un tube de Torricelli baromètre à mercure simplifié.

L'exploitation de ces mesures a été faite au retour.

D'une part, nous avons refait les calculs de Saussure (avec des formules un peu plus récentes), relatifs à la hauteur du Mont-Blanc.

D'autre part, elles nous ont permis d'introduire quelques notions

(qui ne sont pas au programme des lycées) sur le degré hygrométrique et la relation entre la température d'ébullition et la pression.

Les résultats

Les expériences réalisées au sommet, le 27 mars 1989 à onze heures trente, ont donné les résultats suivants :

- humidité relative : 72% ;
- température de l'air : à l'abri du vent : au soleil -10°C , à l'ombre -13°C , au vent (des rafales à 70 km/h) -17°C ;
- hauteur de la colonne de mercure : 42,3 cm.

Nous n'avons malheureusement pu réaliser l'expérience d'ébullition de l'eau.

Par comparaison la station météorologique de Payerne (Suisse), située à 110 km au nord du Mont-Blanc a relevé ce même jour à midi les valeurs suivantes :

- 500 mbar (375 mm) à 5 700 m, température -19°C , humidité 78% ;
- 700 mbar (525 mm) à 3 105m, température 0°C , humidité 78%.

Humidité

L'hygromètre nous donne l'humidité relative (ou degré hygrométrique) U soit le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau (e) à la pression de vapeur saturante (e_w). Soit :

$$U = 100 \frac{e}{e_w} \text{ (en \%)}$$

L'humidité absolue (d_w) est égale au rapport de la masse de vapeur d'eau au volume d'air humide. Sa valeur est donnée par la relation :

$$d_w = \frac{217 \cdot e}{T} \text{ soit } d_w = \frac{217 \cdot U \cdot e_w}{100 \cdot T}$$

(e en mbar, d_w en g/m^3) [11].

A $t = -13^{\circ}\text{C}$ (260 K) la pression de vapeur saturante est de 2 mbar. Ce qui donne :

$$d_w = 1,20 \text{ g/m}^3 \text{ (soit } 0,77 \text{ grain d'eau par pied cube).}$$

Pression

La détermination de l'altitude à partir de la mesure de la pression se fait à l'aide de la formule barométrique établie par le physicien français Laplace (1749-1827). Formule qui résulte de l'intégration de la relation entre la variation de pression dP en fonction de la variation d'altitude dZ :

$$dP = - K P dZ.$$

Le facteur K contenant des grandeurs dépendant de la température et de l'altitude, la formule prend des formes plus ou moins compliquées selon que l'on tient compte ou non de ces grandeurs.

Quelque soit la formule utilisée, il est nécessaire de se rapporter à une valeur de référence prise le plus près possible du lieu de l'expérience. Saussure avait utilisé les mesures faites par son fils à Chamonix et par Senebier à Genève.

La station de Chamonix n'effectuent pas de mesures de pression, nous avons utilisé les relevés de la station de Payerne (cf. ci-dessus).

Pour les calculs, nous avons utilisé deux formules avec pour valeurs : température -13°C , hauteur de la colonne de mercure 423 mm, au Mont-Blanc, et comme référence les relevés à 3 105 m.

La première est une forme simplifiée de la formule établie par Laplace :

$$Z - Z_0 = 18\,393 \left(1 + \frac{2(t_0 + t)}{1\,000}\right) \log \frac{h_0}{h + \frac{t_0 + t}{5\,412}}$$

dans laquelle Z est l'altitude (en m), t la température (en $^{\circ}\text{C}$) et h la hauteur de la colonne de mercure [3].

Ce qui donne : $Z - Z_0 = 1\,700$ m soit $H = 4\,805$ m.

La seconde est la forme simplifiée moderne que l'on trouve dans tous les ouvrages de météorologie :

$$Z - Z_0 = \frac{R_a T}{g} \ln \frac{h_0}{h},$$

où Z est l'altitude (en m), T la température moyenne entre les deux stations (en K), h la hauteur de la colonne de mercure, g l'accélération de la pesanteur ($g = 9,80$ S.I.) et R_a une constante ($R_a = 287$ S.I.) [12].

Ce qui donne $Z - Z_0 = 1\,686$ m soit $H = 4\,791$ m.

Nous avons donc «adopté», pour l'altitude du Mont-Blanc, une valeur moyenne soit :

$H = 4\,798$ m (soit 2 462 toises).

Remarquons qu'en effectuant les calculs avec la formule de Halley, on obtient :

- avec les corrections de Mr Trembley 2 505 toises (4 884 m),
- avec les corrections de Mr De Luc 2 480 toises (4 836 m).

Le son

L'étude de la propagation du son n'était pas au programme des expériences. Cependant, de même que Saussure avait constaté qu'un coup de pistolet ne faisait pas plus de bruit qu'un pétard de Chine dans une chambre, chacun a pu observer que l'ouverture d'une bouteille de champagne ne faisait pas plus de bruit que celle d'une bouteille de vin ordinaire !

CONCLUSION

Pour la réalisation de ce raid, les élèves et les enseignants avaient suivi un entraînement régulier pendant l'hiver. Deux élèves n'ont pas atteint le sommet, un à cause d'une blessure est resté à Chamonix, l'autre, atteint du mal aigu des montagnes, est resté au refuge Vallot (4 350 m).

Tous ceux qui ont atteint le sommet ont constaté combien restaient valables les conseils que le Comte de Tilly (le premier français à atteindre le Mont-Blanc, le 9 octobre 1834) donne à la fin de son ouvrage : «... Il faut de plus, pour monter au Mont-Blanc, quatre choses indispensables à mon avis : bon pied, bon œil, bonne tête et surtout forte volonté » [13].

Pourquoi ce raid ? Pour faire connaître - les médias ont assez bien relaté l'événement - une option dans laquelle des enseignants et des

élèves essaient de vivre la scolarité «autrement» et de montrer que l'enseignement et les activités sportives ne sont pas incompatibles (un seul des seize élèves n'a pas réussi le Baccalauréat).

Tous les élèves, quelque soit leur section, ont participé à la recherche de «sponsors» pour le financement de l'expédition, aux relations avec les média (articles, interviews...), ainsi qu'aux activités scolaires en relation avec le raid.

Alors, le Mont-Blanc, un moyen de motiver des élèves de B pour les sciences physiques, ou des élèves de C pour l'économie ? Pourquoi-pas ?

Ou est-ce plutôt l'inverse comme le pensait Saussure ? «La nature n'a point fait l'homme pour ces hautes régions ; le froid et la rareté de l'air l'en écartent ; et comme il n'y trouve ni animaux, ni plantes, ni même des métaux, rien ne l'y attire ; la curiosité et un désir ardent de s'instruire, peuvent seuls lui faire surmonter pour quelques instants les obstacles de tout genre qui en défendent l'accès» [7, p.214].

APPENDICE

Saussure utilisait la lieue de Berne (5 km), pour les distances et les unités françaises pour les mesures.

Nous avons utilisé les valeurs suivantes [14] :

1 toise = 6 pieds = 1,95 m,

1 pied = 12 pouces = 0,324 m,

1 pouce (p) = 12 lignes = 2,70 cm,

1 ligne (l) = 0,225 cm,

1 grain = 0,035 g.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] H.-B. de SAUSSURE, «Voyages dans les Alpes, précédés d'un mémoire historique sur la vie et les écrits de H.-B. de Saussure par Jean Senebier et d'un avant propos d'Y. Ballu», 4 volumes, Genève, Slatkine, 1978.
- [2] M. ARCHINARD, «Les instruments scientifiques de H.-B. de Saussure», in «Le Monde alpin et rhodanien », 1^{er} - 2^e trimestre 1988. La haute montagne. Vision et représentations, pp 151-164.
- [3] M. ARCHINARD, «De Luc et la recherche barométrique». Genève, Musée d'histoire des sciences, 1980.
- [4] M. ARCHINARD, «L'apport genevois à l'hygrométrie », Genève, Musée d'histoire des sciences, 1980.
- [5] M. MERLAND, «H.-B. de Saussure... Du livre au terrain et du terrain au livre», in «Le Monde alpin et rhodanien», 1^{er} - 2^e trimestre 1988. La haute montagne. Vision et représentations, pp 143-149.
- [6] «Histoire générale des sciences», ss. la direction de R.TATON, volume II «la science moderne » (de 1450 à 1800), 4 volumes, Paris, P.U.F., 1968, p.541.
- [7] H.-B. de SAUSSURE, «Premières ascensions au Mont-Blanc, introduction de R. Canac, Paris, F. Maspero, 1979, (la découverte).
- [8] H.-B. de SAUSSURE, «Voyages dans les Alpes » précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève», 8 volumes in 8°, Neuchâtel, L. Fauche-Borel, 1796.
- [9] H.-B. de SAUSSURE, «Relation de l'ascension sur la cime du Mont-Blanc en août 1787», Genève, Manget et Cherbliez, 1807.
- [10] J. TREMBLEY, «Mémoire à l'Académie Royale des Sciences de Paris, 1781, in ref. 8, Volume 3. p.373.
- [11] «Encyclopédie internationale des sciences et des techniques», volume 6, 10 volumes, Paris, Presses de la Cité, 1973.
- [12] P. QUENEY, «Éléments de météorologie », Paris, Masson, 1974.
- [13] H. de TILLY, «Ascensions aux cimes de l'Etna et du Mont-Blanc», Genève, Berthier-Guers et de Chateaufieux, 1835.
- [14] «Dictionnaire encyclopédique Quillet », ss. la direction de R. Mortier, volume 6 (Sch.-Z), 6 volumes, Paris, 1955 p. 5 627.