

Le cyanomètre

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

Résumé

Cette séquence propose aux élèves de s'initier à la problématique de la mesure, d'en ressentir le besoin. Elle leur propose de construire un cyanomètre permettant de « mesurer le bleu du ciel » et de communiquer cette mesure à quelqu'un qui se trouverait à un autre endroit.

La mesure du bleu du ciel

Samuel Cordier

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 Brévent 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 Argentière – 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, peuplé 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 familiers, 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.

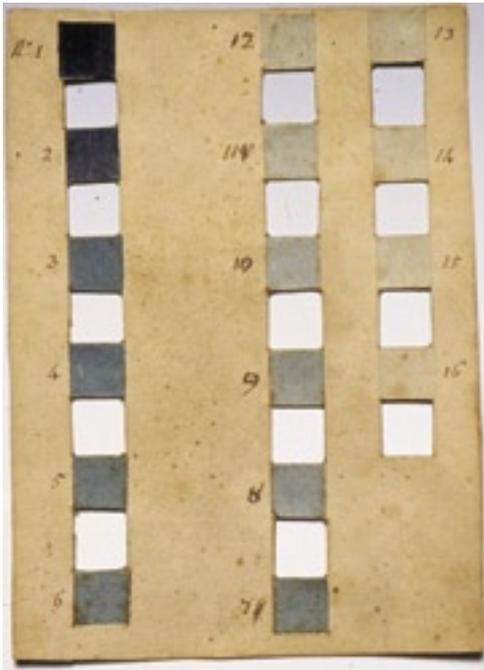
Un échantillon du ciel du mont Blanc

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 phy-



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.

sicien 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 physicienne 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 paraîtroit 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 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 Chamonix 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 Chamonix 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

Première Expérience, §. 113, 114. Absorption des vapeurs.

L	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Numéros des opé- rations.	Poids des corp. abs. ou engend. dans un p. c. d'air.	Degré de l'Hy- grom. avant l'opér.	Variation de l'Hygrom.	Effet d'un grain pesé de vap. sur l'Hygrom.	Hauteur moyen. du therm. pend. l'opération	Hauteur du bar avant l'opération p. l. 1204.	Variation du manomètre	Effet d'un gr. pesé de vap. f. le man.
N ^o . 1.	5,8145	79,81	40,96	7,21	14,70	26,10,1	1,6910	0,192
" 2.	1,1718	19,91	9,91	8,47	14,41	27,1,1	0,6871	0,187
	7,0264		10,89	7,81	14,07	27,019	4,1801	0,189

Seconde Expérience, §. 117, 123. Génération des vapeurs.

N ^o . 3.	2,1118	9,17	10,54	14,37	14,72	26,10,22	1,21621	0,189
" 4.	1,9511	19,71	19,00	9,73	14,77	26,11,	1,20621	0,614
" 5.	1,8470	17,17	11,44	6,19	11,17	27,0,21	1,06875	0,178
" 6.	1,5976	68,12	9,51	1,91	11,97	26,10,27	0,79171	0,497
" 7.	1,4700	81,82	10,01	2,81	14,90	26,10,5	0,96875	0,619
" 8.	0,6106	94,16	1,46	1,49	11,01	26,9,29	0,21000	0,196
	9,6221		54,00	8,90	11,16	26,10,59	1,16171	0,155

Troisième Expérience, §. 128.

N ^o . 9.	1,8712	11,44	11,84	19,13	4,50	26,11,11	1,00000	0,133
" 10.	1,1060	69,28	18,66	14,29	1,00	27,0,6		
	3,1812		54,50	16,78	4,71			

Quatrième Expérience, §. 129.

N ^o . 11.	1,1819	16,91	26,45	22,30	6,01	27,3,8	0,70621	0,191
" 12.	1,2711	43,16	20,53	16,19	6,05	27,4,29	0,91750	0,711
" 13.	1,2447	61,89	18,30	14,70	6,01	27,1,27	0,10000	0,402
" 14.	1,0519	81,81	11,60	10,28	6,17	27,1,14	0,61621	0,616
	4,7218		76,88	15,99	6,18	27,1,12	2,80000	0,187

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 ».

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 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 carés 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*, Neufchâtel 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 aoust 1787*, Lyon, M. Audin et Cie, Aux Deux-Collines, 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.
8. *Ibid.*, § 2083.
9. *Ibid.*, § 2009.
10. *Ibid.*, § 2010.
11. René Sigrist, « 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 Sigrist, « 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.

Le cyanomètre

Anne Fauche

Construire un instrument de mesure

La plupart des instruments de mesure sont des objets dont la fabrication requiert aussi bien des matériaux qu'un savoir-faire exceptionnels pour qu'ils puissent donner des résultats significatifs. Leur construction en classe peut donc être source de frustration pour les élèves.

Il n'en va pas de même en ce qui concerne le cyanomètre. Le matériel nécessaire se limite à des cartons blancs, des papiers de différentes teintes de bleu, de la peinture pouvant donner différents tons de bleu clair. On peut ainsi se concentrer avec les élèves sur la problématique de l'instrument de mesure.

Une démarche à découvrir par soi-même

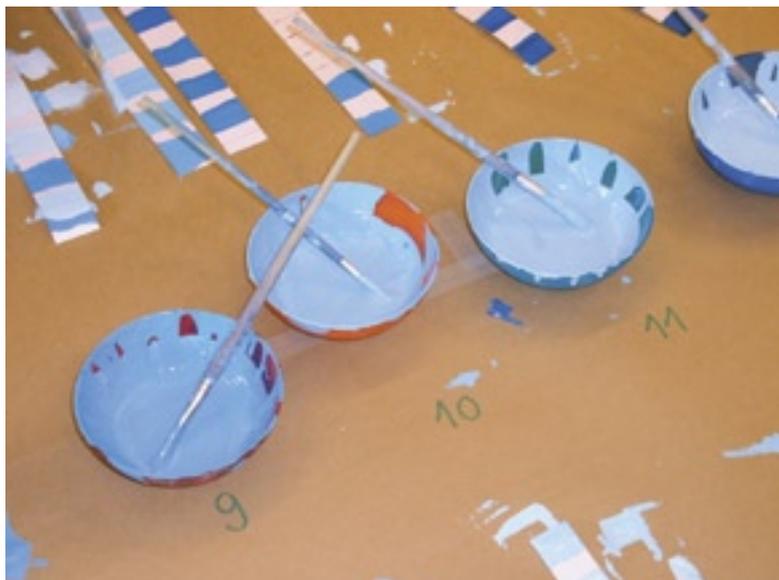
Pour que la construction de l'instrument soit intéressante du point de vue pédagogique, il est bon de ne pas tout révéler d'emblée. Ainsi, il est judicieux que l'enseignant ne montre pas aux élèves l'image du cyanomètre et qu'il ne leur donne que très peu de détails : pas d'indications sur la disposition relative des bleus, ni sur le fait qu'ils soient numérotés. Il suffit de les mettre en situation, de bien définir l'objectif recherché et de mettre à leur disposition un matériel de base. Les élèves pourront alors trouver par eux-mêmes une manière optimale de fabriquer l'instrument au gré des différents obstacles rencontrés et résolus au fur et à mesure de l'élaboration. Cela leur demandera un peu de temps et de réflexion, une suite d'essais et de propositions, une double interaction, avec l'enseignant et entre eux.

Une initiation à la problématique de la mesure

On peut commencer par faire réfléchir la classe sur des prototypes, à l'aide de petits papiers de différents bleus à disposer sur un carton blanc. Différentes questions se poseront alors.

Comment placer ces papiers de couleur ? Si l'on choisit le centre, il faudra évider un espace à côté de chacun d'eux pour que le ciel leur soit juxtaposé lors de la mesure. Le plus souvent, après un certain nombre de manipulations, quelques élèves ont l'idée de les coller au bord, ce qui évite de découper des plages intérieures et permet une mesure directe.

Comment s'y prendre pour que les mesures soient communicables pour une comparaison ultérieure ? Une mise en situation imaginaire mais réaliste parle bien aux élèves : « Vous êtes dans des stations de ski différentes, vous vous appelez chaque soir pour vous communiquer les observations de la journée. Comment faites-vous ? » Les réponses commencent par des propositions



Deux étapes de la fabrication du cyanomètre.

À gauche, les godets soigneusement numérotés de différentes nuances de bleus, où chacun viendra à son tour se servir. Ci-dessous, le cyanomètre est quasiment fabriqué, l'une des dernières étapes consiste à reporter lisiblement les numéros en face des plages correspondantes.

Classe de CP de Tatiana Ducraux, école Liotard, Genève. Photo: N. Kramar.



vagues, du type : « Je leur dis... bleu assez foncé, bleu... euh... » dont les élèves comprennent vite qu'elles ne sont pas opérationnelles. Puis on passe par : « Je donne des chiffres, le bleu du milieu sera le zéro, les foncés positifs et les autres négatifs » ou : « Je donne des lettres... en fait c'est comme un code... » jusqu'à dégager un consensus : « Mais nous devons tous prendre le même code ! » pour finir le plus souvent par : « Les chiffres, c'est encore ce qu'il y a de plus commode ! »

Pas à pas, l'étalonnage de l'instrument de mesure aura été réinventé. Si l'on choisit ce moment pour montrer l'image de l'original, le plaisir suscité chez les élèves est toujours intense : ils se sont vraiment approprié la démarche d'élaboration de l'instrument. Les expériences menées en classe indiquent que chez les élèves, l'approche d'autres instruments de mesure s'en trouve renouvelée : la « boîte noire » que constituent ordinairement ces derniers devient plus « transparente ». Les choix qui ont prévalu à leur élaboration apparaissent plus acces-

sibles et la problématique de la mesure prend véritablement sens.

Deux exemples sont sur ce point significatifs. Les thermomètres sont aujourd'hui gradués en degrés Celsius (parfois encore en degrés Fahrenheit), mais au XVIII^e siècle encore, les savants utilisaient différentes graduations selon les régions ou les sphères d'influence. Ils devaient donc adjoindre une table d'équivalence lorsqu'ils communiquaient leurs mesures à leurs collègues. Quant aux mesures de longueur utilisées aujourd'hui par tous les scientifiques, elles sont issues du système métrique décimal instauré par les Français à la suite de la Révolution. Auparavant, elles se faisaient à partir de divers étalons, comme les toises, les pieds, les pouces ou les lignes. Comme ces étalons variaient selon les pays et même selon les régions, cela compliquait considérablement les discussions ! L'utilisation persistante des mesures anglo-saxonnes, qui restent usitées dans le domaine courant, a joué un vilain tour à la Nasa : une sonde s'est écrasée sur Mars à cause de la traduction erronée des distances (et donc des vitesses d'arrivée) dans le système international d'unités...

On pourra fabriquer enfin, selon le consensus qui se sera dégagé de la classe et le choix de l'enseignant, un cyanomètre ressemblant soit à celui de 1787, soit à celui de 1788. Dans tous les cas, il faudra prendre garde au fait que les bleus du ciel sont toujours plus clairs qu'on ne l'imagine, surtout en plaine !

Un espace d'invention proposé aux élèves

Les travaux menés dans les classes montrent que les réflexions et propositions des élèves rejoignent les évolutions historiques. Ainsi Horace- Benedict de Saussure fit lui-même évoluer son cyanomètre entre 1787 (celui qu'il utilisa au sommet du mont Blanc comportait seize nuances de bleu, numérotées du plus foncé au plus clair) et 1788 (col du Géant). Il ne peignit plus directement sur le carton mais découpa et colla des papiers déjà peints à l'avance, ce qui permettait une reproduction plus fiable. Il multiplia aussi les plages de bleu pour améliorer la précision quant à la nuance à mesurer (les mesures de 1787 donnaient des nuances tombant « entre deux »). Il numérotait par ailleurs les nuances dans le sens inverse, le n° 1 partant cette fois du plus clair pour des raisons qu'il n'a pas indiquées ! Enfin, il les plaça au bord d'un carton rond, ce qui lui évitait le découpage intérieur auquel il avait dû procéder avec le rectangle initial.

Les élèves sont à la fois surpris et heureux d'apprendre qu'un scientifique pionnier dans son domaine ait pu ainsi tâtonner et modifier progressivement son instrument. Cela valorise leur démarche, leur donne confiance en leurs propres capacités d'invention et entretient leur motivation. Si l'enseignant est prêt à « jouer le jeu », à offrir un espace d'invention à ses élèves et à les laisser élaborer leurs propres prototypes, il ne dévoilera pas trop vite la forme prise par les cyanomètres historiques : ceux-ci auront une valeur indicative et non pas définitive. Cela sous-entend cependant que les pistes choisies soient discutées, explorées et argumentées. Le type de cyanomètre construit pourra alors ressembler à l'un de ceux d'Horace Benedict de Saussure, mais tout aussi bien avoir une forme originale.

Utiliser le cyanomètre

Mesurer sur le terrain : le « mode d'emploi » de l'instrument

Le cyanomètre est relativement simple en lui-même. Mais contrairement à un instrument « fini », sorte de « boîte noire » où tout a déjà été pensé et qui n'appelle qu'une lecture passive, il implique de définir le protocole relatif à son utilisation, son « mode d'emploi ». Or son inventeur n'a donné que peu d'indications à ce sujet. Il parle d'observations faites au « midi du soleil » et il mentionne le « Zénith », c'est-à-dire la verticale du lieu. On peut dire du cyanomètre que c'est encore un prototype, et cela constitue aussi une chance pour les élèves : ils peuvent jubiler dans cet espace peu exploré, tout en entrant tout naturellement dans la procédure liée à toute mesure. La rigueur est cependant de mise et elle s'imposera d'ailleurs très vite aux élèves dès lors qu'ils seront mis en situation.

Dans la cour de l'école, leur cyanomètre en main, quand et où les élèves doivent-ils regarder ? Le bleu du ciel change selon les jours et les lieux, mais aussi selon les heures et les directions d'observation. Alors, pour faire des mesures simultanées en différents lieux, quel moment de la journée choisir ? quelle direction (nord, sud...) ? quelle hauteur d'observation, et comment la repérer ? etc. Tous ces choix peuvent largement dépendre des objectifs recherchés, qu'il faudra alors préciser.

Le grand scientifique français François Arago (1786-1853), reprenant l'idée du cyanomètre, fit évoluer l'instrument : l'aspect de son cyanomètre est bien différent de celui d'Horace-Benedict de Saussure. Les plages de mesure des bleus y sont masquées au sein d'un lourd dispositif qui ressemble à une lunette de visée dont on peut mesurer l'inclinaison. Cela incite à penser qu'Arago intégra la mesure de l'angle d'observation à l'intérieur même de l'instrument. Là encore, cette évolution rejoint la proposition faite par certains élèves d'adjoindre un rapporteur d'angles à leur cyanomètre ! On note au passage que, comme précédemment, certaines réflexions et propositions d'élèves rejoignent les évolutions historiques.

Connaître le contexte d'utilisation : une initiation à un protocole scientifique

La manière d'utiliser le cyanomètre pour une mesure isolée est une chose, le contexte d'utilisation historique en est une autre. C'est avec la définition d'un protocole que la mesure du bleu du ciel prend vraiment sens.

Le cyanomètre de 1787 avait été fabriqué par Horace-Benedict de Saussure en trois exemplaires. Ceux-ci devaient être utilisés simultanément par trois personnes, en haut du mont Blanc, à Chamonix et à Genève. La mesure qu'il fit lui-même au sommet constituait l'une des vingt-cinq « observations et expériences » qu'il y effectua et devait être associée aux autres mesures de l'air

(pression, température, teneur en vapeur d'eau, en gaz carbonique, charge électrique, attraction magnétique, mais aussi intensité lumineuse, transparence de l'air, couleur des ombres...).

Ces précisions permettent d'initier les élèves à la nécessité de mettre en relation des mesures isolées. Ils pourront à leur tour relever quotidiennement certaines données météorologiques : température, pression atmosphérique, degré hygrométrique, soit à l'aide des instruments usuels, soit à partir des bulletins météo des journaux. À l'aide de tableaux puis de graphiques, ils pourront tenter d'établir des corrélations sur une semaine ou plus. Par exemple, ils remarqueront peut-être que plus la température monte, plus le degré hygrométrique monte, tandis que la pression se comporte tout autrement. Cette activité pourra leur faire prendre conscience, à leur mesure bien sûr, que la météorologie est une science complexe qui met en relation de multiples grandeurs... et qu'il n'est pas si simple de prévoir le temps qu'il va faire !

Repérer une couleur en se fiant à l'œil nu

Une mesure directe

La plupart des instruments de mesure font appel à une mesure indirecte et exploitent un phénomène physique adapté à ce que l'on veut mesurer. Par exemple, le thermomètre est basé sur la variation de hauteur d'une fine colonne d'alcool coloré qui se dilate ou se contracte selon la température. Dans le cas du baromètre, on utilise les variations de volume d'une enceinte métallique plus ou moins comprimée selon la pression atmosphérique, le tout étant relié au mouvement d'une aiguille. Dans ces deux exemples, on repère quelque chose qui est invisible pour les yeux et la mesure est nécessairement indirecte. En fait, on mesure une dilatation, une augmentation de volume, etc., corrélées à une graduation étalonnée en conséquence. En outre, de plus en plus d'instruments de mesure reposent aujourd'hui sur un traitement électronique de données collectées par des capteurs : qu'on pense simplement aux thermomètres à lecture digitale.

Aborder le principe de la mesure directe avec le cyanomètre peut, on le voit, ouvrir une vaste mise en perspective de la problématique et mener très loin avec des élèves ayant déjà l'habitude de construire et d'utiliser d'autres instruments. Mais l'enseignant pourra choisir d'aborder avec eux ce sujet à différents niveaux.

Un procédé toujours d'actualité

Des dispositifs de repérage de couleurs « à l'œil nu » existent encore aujourd'hui et sont utilisés par différents corps de métier. Ils se présentent comme le cyanomètre, seule la gamme de couleur change : dans les jaunes pour la cuisson des frites (chez les restaurateurs) ; dans les rouges pour la

teneur en hémoglobine (chez les médecins) ; dans les blancs crème pour le ton des dents (chez les dentistes). L'existence de toutes ces échelles nous a été signalée par des personnes tellement séduites par le cyanomètre qu'elles souhaitaient lui présenter ses « cousins » ! Elles affirment toutes que dans la pratique, l'œil reste un instrument très performant pour distinguer des nuances de couleur !

Mesurer le bleu du ciel : à quoi ça sert ?

Même si la passion des élèves pour leur cyanomètre est grande, dire aux copains ou aux parents qu'on a fabriqué un instrument à mesurer le bleu du ciel peut paraître bien dérisoire. Pourtant, les arguments en faveur d'une telle mesure abondent et il sera intéressant que l'enseignant aborde dans la classe, au cours de la « séquence cyanomètre » ou avant de la clore, une discussion sur la question. La prise de distance par rapport au savoir est toujours très fructueuse pour les élèves et le contexte historique nous donne à ce propos des indications intéressantes.

D'abord, les habitants de Chamonix, ceux-là mêmes qui ont mené Horace-Benedict de Saussure au mont Blanc, étaient terrorisés par le bleu presque noir du ciel en altitude. Mettre un numéro sur cette couleur, la comparer à d'autres, la domestiquer, n'était-ce pas une manière de désamorcer la peur, de modifier sa relation au monde ? Ne pourrait-on pas aujourd'hui trouver des exemples analogues ? Une telle attitude permet de grandir, de passer du finalisme enfantin à une appropriation du monde.

Horace-Benedict de Saussure pensait que le bleu du ciel était dû aux « vapeurs opaques » de l'air. Comme elles diminuaient avec l'altitude, on aurait dû arriver, très haut, à un ciel parfaitement noir où les étoiles auraient brillé en plein jour. On sait en fait aujourd'hui que la couleur bleue du ciel est due à un phénomène optique de diffraction de la lumière blanche par l'air, qui fait que le rouge est absorbé et que seul le bleu arrive à nos yeux. On sait aussi que les astronautes voient depuis l'espace un ciel noir... Les préoccupations du savant du XVIII^e siècle ne paraissent donc pas si décalées !

Horace-Benedict de Saussure s'intéressait à un domaine qui, à l'époque, n'avait jamais été exploré. Des élèves du collège Saussure, à Genève, ont récemment joué une pièce de théâtre où ils l'imaginaient revenant parmi nous et partant avec enthousiasme explorer la planète Mars : la transposition était en effet bien pertinente !

Aujourd'hui, on continue à collecter quantité de données sur les caractéristiques de l'atmosphère en haute altitude. On pourrait imaginer un « cyanomètre » moderne. Quelle forme aurait-il ? Serait-il embarqué dans un ballon-sonde, équipé d'un capteur électronique de longueurs d'ondes lumineuses, relié à la Terre par ondes radio et transmettant ses mesures à nos ordinateurs ?

Travailler sur le cyanomètre : une manière d'entrer dans une démarche scientifique

D'autres grandeurs mesurables se sont révélées plus intéressantes à l'usage, plus opérationnelles dans les équations mathématiques qui se sont imposées au XIX^e siècle. Horace-Benedict de Saussure lui-même n'avait pas tiré de conclusion particulière de ses mesures, il souhaitait simplement les mettre au service de ceux qui voudraient ultérieurement les intégrer dans leurs propres recherches.

La science oublie souvent sa propre histoire et la mémoire de sa longue construction. Elle ne garde que les résultats « finis », ceux justement que les élèves devront assimiler dans un temps très court ! Or les chercheurs d'aujourd'hui, et même les plus brillants, continuent de tâtonner, d'essayer, de se poser de nouvelles questions : cette attitude fait intégralement partie de l'activité scientifique. Que les élèves qui construisent à l'école leur cyanomètre puissent alors prendre conscience qu'à leur tour et à leur mesure, ils ont eu une véritable démarche scientifique avec, nous l'espérons, le plaisir en plus. Tel est l'un des objectifs recherchés dans l'élaboration de l'instrument. Bonne route à tous !

Marcher sans me plaindre, gravir cette interminable pente de glace, oublier le poids de ce sac si lourd qui m'entrave les épaules. Ne pas penser à la soif, à mon souffle court, à mon envie de vomir, aux yeux qui me font mal tant la lumière est éblouissante sur la neige. Marcher sans rien dire, seulement penser que j'arriverai comme les autres jusqu'en haut. Faire aussi bien que mes aînés, leur prouver qu'ils ont bien fait de m'emmener. J'ai tant insisté, tant vanté ma force et ma vigueur qu'ils m'ont finalement pris avec eux. Voilà trois jours que nous marchons, et aujourd'hui nous allons enfin atteindre le sommet, alors ce n'est pas le moment de flancher. Et pour me donner l'ultime courage dont j'ai besoin, je vais me raconter encore une fois l'histoire que je préfère, celle qui m'a fait arriver jusque-là.

Je suis le plus jeune des porteurs de M. de Saussure. J'ai grandi à Chamouni dans la vallée. Voilà des années que le grand savant de Genève vient ici l'été avec ses instruments. Et je n'étais pas encore né qu'il avait déjà annoncé qu'il atteindrait un jour le sommet de la montagne maudite. C'est ainsi que nous l'appelons tous, mais lui parle du " mont Blanc ". Il avait proposé une belle récompense à ceux qui l'aideraient à trouver la voie. Mais les années ont passé sans qu'aucun y parvienne et ce n'est que l'été dernier qu'on a pu arriver là-haut. Personne n'osait s'aventurer dans les glacières, par peur d'être envahi par le sommeil qui vous saisit à ces hauteurs et annonce la mort. Et c'est pour rester vivant que je me raconte tout ça et que je fais marcher ma tête autant que mon corps.

Nous savons bien que ceux qui veulent gravir la montagne bien au-dessus des prés s'exposent à toutes sortes de dangers. Mon grand-père et mon oncle sont morts dans des éboulis en chassant le chamois. Et mon grand cousin a bien failli ne jamais en revenir lui non plus. Il était parti chercher ces beaux cristaux qu'on trouve dans les failles des rochers pour les vendre aux riches étrangers. Il a été surpris par une tempête de neige, avant de finalement retrouver sa route. Il sait déjouer les pièges de la montagne, et aujourd'hui, il fait partie lui aussi de la grande expédition. C'est lui qui porte les échelles et décide avec les autres des endroits où elles doivent être posées pour franchir les crevasses. Il porte aussi les longs bâtons auxquels se tient M. de Saussure dans les passages difficiles. C'est lui qui a plaidé ma cause pour que les autres me prennent avec eux.

Me voilà donc ici aujourd'hui, fier d'être l'un des dix-huit porteurs de M. de Saussure. Sa persévérance a eu raison de toutes les peurs, et c'est aussi pour lui que je marcherai jusqu'au sommet. Mais que va-t-il chercher là-haut, lui qui n'est pas d'ici ? Il dit souvent que " la montagne est le laboratoire de la nature ". Comme je ne comprends pas ce qu'il veut dire, j'observe ce qu'il fait. À chaque arrêt, alors que nous reprenons notre souffle, il note soigneusement dans un petit carnet ce qu'il observe autour de lui, et y inscrit les chiffres qu'il lit sur ses instruments. Peut-être lui indiquent-ils des choses invisibles pour les yeux ?

M. de Saussure en a même inventé de nouveaux qu'il utilisera aujourd'hui pour la première fois. Parmi ceux-là, il y en a un que j'ai tout de suite remarqué, que j'ai tout de suite aimé. Il est si différent des autres. La plupart sont faits de bois, de métal ou de verre, et rangés comme de lourds et gros bijoux dans leur boîte de transport doublée de velours. Celui-là est léger comme une plume, et emballé dans du papier fin. Au moment du départ, mon cousin a croisé mon regard et il a tout compris. C'est dans mon sac qu'il l'a mis. Mais je dois prendre garde à ne pas perdre l'équilibre, malgré le vertige et la nausée. Surtout ne pas tomber, ne pas glisser. Si le contenu du sac versait dans la neige, l'instrument serait à jamais détruit.

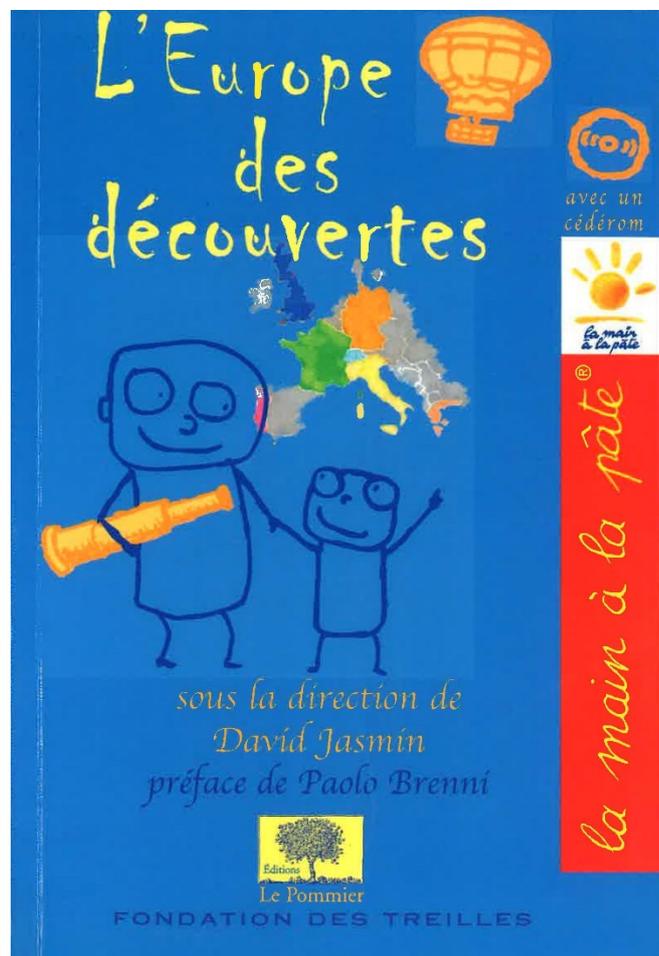
En levant les yeux, je vois à présent que les premiers des vingt hommes de notre longue colonne sont presque arrivés au but. Mon cousin me parle par gestes de loin, et à l'idée de le rejoindre là-haut mon cœur s'emballe. Mais il me faut me calmer, rester fixé sur mes pensées. Pourvu que M. de Saussure ait gardé des forces pour ce moment qu'il attend depuis si longtemps ! Une fois arrivé au sommet, il lui faudra encore installer ses instruments, faire ses mesures. Et je devrai être patient jusqu'à ce qu'il sorte mon préféré, celui que je porte sur le dos. C'est M. de Saussure qui l'a imaginé, et il l'a fabriqué lui-même, sans faire appel comme pour les autres aux artisans de Genève, de Londres ou de Paris. C'est peut-être pour ça qu'il l'a emballé si délicatement, presque tendrement. Et puis il en a confié un autre tout semblable à son fils aîné, avec mission de l'utiliser à Chamouni au même moment que lui, " au midi du soleil ", lui a-t-il dit, et d'autres choses que je n'ai pas comprises. Je dois donc garder l'esprit clair et observer là-haut comment M. de Saussure s'y prendra. Alors seulement je saurai utiliser celui que je me serai moi-même fabriqué. Car je m'en ferai un, c'est décidé, et un autre tout pareil pour mon cousin. Le rejoindre au plus vite pour lui en parler. Lui dire qu'il suffit d'avoir de bons yeux et l'esprit curieux pour l'utiliser, et pas besoin d'être savant.

Et le moment approche, justement. Au-dessus de l'arête éblouissante et glacée, le ciel est bleu, d'un bleu presque noir. De ce bleu si foncé que ceux de la vallée en étaient effrayés quand ils tentaient de trouver la voie, ils croyaient y voir la trace des démons de la montagne maudite. Mais ce ciel-là ne me fait pas peur. J'ai confiance, je suis toujours vivant, et si heureux d'être arrivé jusque-là ! Si heureux aussi à l'idée que, comme le

grand savant le fera aujourd'hui devant moi pour la première fois, je pourrai moi aussi, dès mon retour, mesurer le bleu du ciel grâce au cyanomètre de M. de Saussure.

Anne Fauche

Cette ressource est issue du projet thématique *L'Europe des découvertes*, paru aux Éditions Le Pommier.



Quelle meilleure façon de se familiariser avec l'esprit scientifique que d'observer Galilée découvrir les satellites de Jupiter dans sa lunette astronomique, s'élever dans les airs en compagnie des frères Montgolfier ou mesurer le bleu du ciel avec Ferdinand de Saussure, l'inventeur du cyanomètre? *L'Europe des découvertes*, un livre, accompagné d'un cédérom, pour permettre aux enfants de prendre le pouls de la science.

Issu d'un projet mis en œuvre par *La main à la pâte* et plusieurs partenaires européens, l'ouvrage présente douze découvertes qui nous font visiter sept pays d'Europe (Allemagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Portugal et Suisse). Du parachute de Léonard de Vinci au télégraphe de Chappe, de la caravelle à la pasteurisation... l'ouvrage propose, pour chaque découverte, une grande variété de documents : dans le livre, trois types de texte – historico-scientifique, pédagogique et pour enfant –, dans le cédérom, plus directement destiné aux petits, des animations interactives et des cahiers d'expériences.

L'Europe des découvertes ouvre ainsi la voie à une utilisation constructive de l'histoire des sciences et des techniques, au-delà du rôle de complément culturel qui lui est le plus souvent assigné.

Car la science a une histoire : elle évolue au gré des inventions, des nouveaux moyens mis en œuvre, mais aussi des échecs et des réfutations. Enseigner aux enfants cette merveilleuse aventure leur permet de retrouver le sens qui habite la science et ceux qui l'ont incarnée.

la main à la pâte®

Dynamique de rénovation de l'enseignement des sciences à l'école primaire (maternelle et élémentaire), *La main à la pâte* est une opération conduite par l'Académie des sciences, qu'un Plan de rénovation, mis en place par le ministère de l'Éducation nationale, a étendue à tout le territoire national. C'est aussi un label de qualité attribué à cet ouvrage par un comité issu de l'Académie des sciences.



168-01/1
27 €

diffusion harmonia mundi

Diffusion
BELIN
depuis
juin 2007

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE