

La géométrie dans la grammaire

La géométrie est inscrite au cœur de la grammaire palikur. Selon la dimension et la forme des objets, la numération diffère.

Voulez-vous apprendre à compter en palikur ? Quelques rappels de géométrie seront alors peut-être nécessaires. Les Palikur ne comptent pas de la même façon les cubes et les bouts de ficelle. Michel Launey, de l'Institut de recherches pour le développement et de l'Université Paris 7, a étudié la grammaire palikur. La Guyane compte plus de 170 000 habitants, dont environ 6 000 Amérindiens. Parmi eux, environ 1 000 Palikur habitent à Saint-Georges de l'Oyapock et dans divers villages des régions côtières.

Le palikur se caractérise par l'intégration de concepts géométriques dans la grammaire. Par exemple, pour énumérer les objets, les Palikur tiennent compte de leur dimension (1, 2 ou 3) et de leur symétrie. Ils distinguent ainsi six classes d'objets : les objets à trois dimensions sphériques, cubiques ou parallélépipédiques (orange, caisse, valise...) ; les objets à trois dimensions allongés (banane, bâton, bouteille...) ; à deux dimensions plats (miroir, natte, livre...) ; à deux dimensions concaves (pirogue, cuvette...) ; à une dimension sans tenir compte des extrémités (rivière, chemin, fil...) ; à une dimension avec une extrémité (cascade, puits, poteau...). Ils ont ajouté deux classes supplémentaires, de dimension atypique : la classe des « encombrants » qui contient des formes volumineuses irrégulières (nuage, village...) et celle des objets arborescents ou composés de plusieurs parties solidaires (arbre, collier...). Dans une phrase, les noms sont invariables, mais le cardinal (un, deux, trois...) dépend de la forme de l'objet.

Cela se complique pour dénombrer les ensembles d'objets. Dans ce cas, le nombre dépend de l'agencement des objets.

Règle 1 : le nombre (un ou deux) change selon la forme géométrique de l'objet.

Une orange : *pahow uwas*

Une corde : *pahatra kuwawta*

Deux oranges : *pisoya uwas*

Deux cordes : *pitahra kuwawta*

Règle 2 : le nombre varie selon que les objets sont isolés, regroupés, naturellement ou par un lien.

Un panier d'oranges : *pahayh panye*

deux paniers d'oranges :

pisina panye uwas. Une grappe de ouassailles (le fruit de palmier) : *pahatwi was* ; deux grappes de ouassailles : *pitiwna was*.

Une brochette de poissons : *pahaki im* ; deux brochettes de poissons : *pikina im*.

Le verbe *lavern* n'est pas identique si on lave une corde ou une rame.

Le suffixe est *-buk* si l'objet est linéaire et *-boha* ou *-bo* s'il est plat. Il existe ainsi neuf suffixes.

Il varie selon que l'ensemble est constitué d'objets autonomes (hommes, animaux), intrinsèquement reliés (grappes), attachés par un lien, emballés ou regroupés dans un panier.

Compter n'est pas chose aisée non plus. On utilise la base décimale, mais il n'existe pas de termes pour huit et neuf, qui se disent alors « sept avec un son ajout » et « sept avec deux son ajout ». Onze se dit logiquement « dix avec un son ajout » et dix-huit « dix avec sept son ajout avec un son ajout encore ». Cela se complique vite, ainsi 98 se dit « sept dizaines avec deux dizaines son ajout avec sept son ajout avec un encore ». Citons encore quelques particularités de cette langue : on ajoute des suffixes à de nombreux verbes et adjectifs en fonction de la forme de l'objet auquel ils ont trait. Le verbe *laver* n'est pas identique si on lave une corde ou une rame.

Cette langue, d'une grande subtilité, reste la langue maternelle de nombreux petits Palikur. Aujourd'hui plus des deux tiers des Palikur ont moins de 20 ans, mais ils s'intègrent mal dans le système scolaire, car les instituteurs, souvent métropolitains, ne parlent pas leur langue et rencontrent des difficultés pour établir des ponts entre le français et le palikur, et pour comparer les deux systèmes. Pour pallier cette difficulté, des linguistes tentent d'améliorer les échanges. Ainsi, M. Launey a rassemblé toutes les règles de la grammaire palikur.

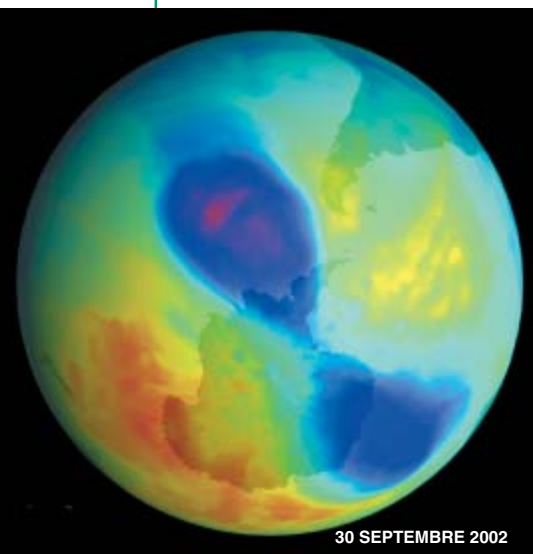
Double trou dans la couche d'ozone

Phénomène notable, le trou dans la couche d'ozone est plus réduit que celui de l'année 2001, à la même date ; de surcroît, il

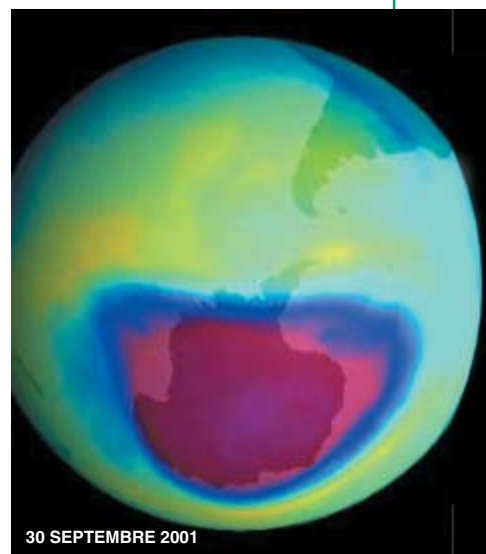
s'est dédoublé. L'ozone stratosphérique qui nous protège des rayons ultraviolets serait-il moins menacé ? Non, répond Jean-Pierre Pommereau, du Service d'Aéronomie de l'Université Pierre et Marie Curie, car ce phénomène est une anomalie météorologique. Chaque année pendant la nuit polaire, un trou se forme dans la couche d'ozone, au-dessus de l'Antarctique. Le diamètre de cette zone est maximal vers la fin du mois de septembre, et régresse progressivement sous l'effet du soleil printanier qui réchauffe l'atmosphère de l'hémisphère Sud.

En septembre 2001, la surface du trou était plus de 30 pour cent plus étendue que cette année. Selon J.-P. Pommereau, cette diminution de la surface résulte d'une augmentation plus rapide de la température de la stratosphère, durant ce printemps austral. Une telle anomalie s'est déjà produite en 1988, et elle avait eu les mêmes conséquences. Quant au dédoublement du trou dans la couche d'ozone, il est encore plus

anecdotique : les deux trous se sont rassemblés en un seul quelques jours seulement après avoir été signalés.



NASA/NOAA, Toms



La forme d'une goutte qui ruisselle

Quand une goutte glisse assez vite sur une surface inclinée, un coin se développe sur sa frontière arrière, puis la queue se fractionne en perles.

Le ruissellement de gouttes en mouillage partiel est un phénomène étonnant. Le mouillage partiel se produit lorsqu'un liquide présente peu d'affinités pour un solide. Une goutte de pluie qui ruisselle sur une vitre révèle plusieurs comportements : certaines gouttes, immobiles, semblent « accrochées » au verre ; d'autres glissent, s'étirent, et finissent parfois par se fractionner en gouttelettes. Récemment, nous avons réalisé une étude expérimentale du ruissellement de gouttes sur un plan incliné. Nous avons montré que la complexité apparente du phénomène se développe à partir d'une forme très simple : les gouttes forment un front arrière en « coin ».

En apparence un peu académique, cette étude est en réalité d'une grande importance pour la compréhension de la dynamique du mouillage, c'est-à-dire des déplacements de la ligne de contact qui sépare une surface recouverte de liquide de celle qui ne l'est pas. Cette question est essentielle dans de nombreuses applications industrielles comme l'impression à jet d'encre, le traitement de l'eau, le ruissellement dans les échangeurs de chaleur, le dépôt d'un revêtement sur un substrat, par exemple.

Formées d'huile de silicone (des molécules constituées de chaînes de silicium et d'oxygène, Si-O), les gouttes que nous étudions glissent sur des surfaces de verre revêtues de vernis fluorés. On obtient ainsi des conditions très propres de mouillage partiel, stables et reproductibles, comparables à celles qu'assure le revêtement en téflon d'une poêle anti-adhésive. En faisant varier l'inclinaison de la plaque et la taille des gouttes, nous avons mis en évidence les différents régimes d'écoulement possibles. À faible vitesse, les gouttes ont une forme arrondie. Au-delà d'un certain seuil de vitesse, la « ligne de contact » entourant leur base devient anguleuse et forme un coin. Ceci signifie que la surface libre du liquide prend, à cet endroit, une forme conique. À mesure qu'augmente la vitesse, ce cône s'allonge jusqu'à former une queue liquide « perlante », qui finit par se fractionner en gouttelettes, sur le chemin de la goutte.

Les vitesses de transition entre ces différents régimes d'écoulement dépendent des propriétés physiques du liquide et de la surface (viscosité, tension de surface), mais pas des paramètres géométriques, la taille de la goutte, par exemple. Ainsi, c'est la nature de l'écoulement à l'arrière d'une goutte qui détermine sa façon de ruisseler. Pourquoi l'arrière de la goutte a-t-il une forme conique ? L'élasticité de l'interface liquide-air, caractérisée par un paramètre nommé tension de surface, tend naturellement à réduire la surface libre du liquide, donc sa courbure, de sorte que les pointes semblent, *a priori*, exclues. En d'autres termes, « la tension de surface arrondit les angles ». Quelles forces contrecarrent les effets de la tension de surface au voisinage de la pointe ?

Nous avons montré qu'il s'agit surtout des forces de friction visqueuse, à l'interface liquide-solide à l'arrière de la goutte. Généralement, un écoulement de liquide visqueux sur un plan incliné est soumis à la force de gravitation (qui entraîne le liquide vers le bas), aux frottements visqueux (qui le freinent) et à la tension de surface (qui influe sur la forme de la surface libre). Au voisinage de la pointe, l'effet de la gravité peut être négligé tant l'épaisseur de liquide, donc son poids, y est faible. Faisant l'hypothèse d'un équilibre entre les forces visqueuses et les forces de tension de surface, nous avons montré, avec Howard Stone, de l'Université de Harvard, que l'équation de Stokes qui gouverne les écoulements de fluides visqueux admet des solutions coniques, telles que celles que l'on observe dans l'expérience.

Sur le plan expérimental, nous avons aussi montré que l'angle d'ouverture du

coin s'ajuste pour que la vitesse apparente de la ligne de contact (vitesse de retrait du liquide mesurée perpendiculairement à la ligne) reste un peu au-dessous de la vitesse limite qui conduirait au dépôt d'un film de liquide sur le solide derrière la goutte. Le processus de formation du coin s'enclenche dès que la vitesse de la goutte atteint cette vitesse limite, de façon à minimiser l'augmentation de surface libre de liquide qui résulterait du dépôt d'un film. À partir d'une certaine taille de la queue, cet équilibre est rompu, et les gouttes ruisselantes finissent par semer des perles sur leur chemin.

Thomas PODGORSKI, Jean-Marc FLESSELLES,
Adrian DAERR et Laurent LIMAT,
Laboratoire PMMH, ESPCI (CNRS UMR 7636)



Une goutte d'huile glissant sur un plan incliné prend différentes formes (ovale, en coin, perlante...) suivant sa vitesse, qui augmente ici de (a) à (h). Le mouvement a lieu du haut vers le bas de la figure. L'illusion de relief, obtenue avec une huile et une plaque transparente, est donnée en éclairant la goutte par le dessous avec un fond lumineux non-uniforme.



R. et S. Michaud/Rapho

Ibn Sahl, inventeur de la loi de la réfraction

BRAHIM GUIZAL • JOHN DUDLEY

Un manuscrit révèle que, dès le X^e siècle, un mathématicien arabe, Ibn Sahl, avait découvert la «loi de Descartes».

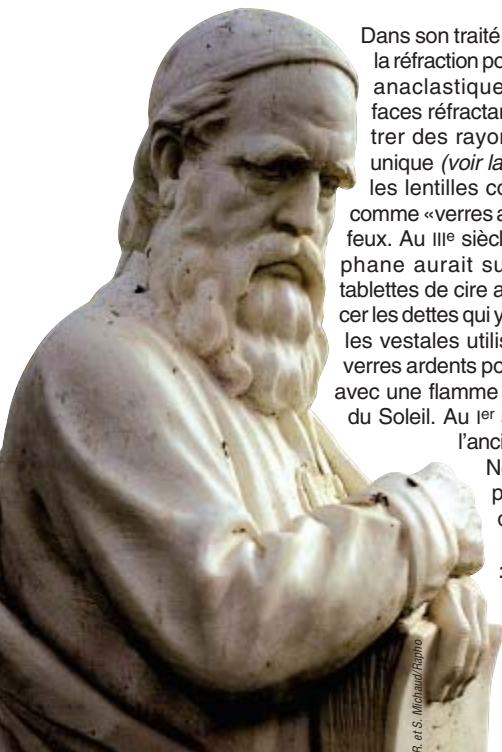
En France, la loi de la réfraction est connue sous le nom de «loi de Descartes», car elle figure dans le *Discours de la méthode*, publié en 1637. Dans les pays anglo-saxons, c'est la «loi de Snell», du nom du physicien allemand qui l'a énoncée en 1621. À qui doit-on attribuer la paternité de la «loi des sinus», $\sin i = n \sin r$? Les Occidentaux se sont longtemps persuadés qu'entre «Miracle grec» et Renaissance, l'obscurantisme le plus total avait régné. On reconnaît aujourd'hui que les savants du monde arabe avaient non seulement traduit des ouvrages grecs et indiens, mais aussi pratiqué la science expérimentale et défriché des domaines scientifiques qui ne sont constitués que bien plus tard en Europe. La découverte par Roshdi Rashed d'un nouveau manuscrit arabe du X^e siècle (voir la figure 2), contenant la loi de la réfraction, s'inscrit dans l'histoire de ce flamboiement culturel méconnu, qui, de Bagdad à Cordoue, a fait progresser les sciences.

LES VERRES ARDENTS

Dans son traité, Descartes utilise la loi de la réfraction pour déterminer la forme des anaclastiques, c'est-à-dire des surfaces réfractantes capables de concentrer des rayons incidents en un point unique (voir la figure 3). Dès l'Antiquité, les lentilles convexes étaient utilisées comme «verres ardents», pour allumer des feux. Au III^e siècle avant notre ère, Aristophane aurait suggéré de chauffer des tablettes de cire avec une lentille pour effacer les dettes qui y étaient inscrites. À Rome, les vestales utilisaient régulièrement des verres ardents pour rallumer leur feu sacré, avec une flamme «pure» issue des rayons du Soleil. Au I^{er} siècle de notre ère, Pliny l'ancien raconte que l'empereur Néron appréciait les lentilles, parce qu'elles produisaient du feu et corrigeaient la vue.

LES FOYERS DE KEPLER

Avec les verres ardents, Kepler eut moins de succès, car il ne disposait pas de la loi des sinus qui l'aurait mené aux anaclastiques. Pour obtenir cette loi, il contacta l'astronome anglais Thomas Harriot, qui avait laissé entendre l'avoir trouvée. D'après les notes de ce dernier, étudiées par les historiens des sciences dans les années 1950, il avait effectivement établi la loi des sinus depuis 1602 (la loi de Snell-Descartes aurait donc déjà du être renommée loi de Harriot). Lorsque Kepler lui demanda la loi, Harriot lui envoya des tables de valeurs expérimentales, en



R. et S. Michaud/Rapho

1. Ibn Al-Haytam (à gauche), qui vécut la majeure partie de sa vie au Caire, au X^e et XI^e siècle, est l'auteur du traité d'optique qui inspira les scientifiques occidentaux pendant le Moyen Âge, jusqu'à la Renaissance et les travaux de Harriot, Kepler, Snell et Descartes (à droite). Ibn Al-Haytam distingue pour la première fois l'optique géométrique de l'optique physiologique, à laquelle le manuscrit du XIV^e siècle reproduit à côté du titre est consacré.

