

Pour un véritable enseignement de la Cosmographie

Depuis fort longtemps, l'enseignement de la Cosmographie est un peu un parent pauvre dans les classes terminales du Second Degré ; cette situation s'explique aisément. Non seulement les exigences des horaires conduisent nombre de maîtres à traiter très légèrement cette partie du programme, qu'ils considèrent de bonne foi comme secondaire et inutile, mais encore la majorité de ceux qui sont appelés à enseigner la Cosmographie n'ont d'autres connaissances que ce qu'ils ont appris eux-mêmes dans ces classes. Il n'y a, dans ces conditions, aucun étonnement à constater que l'enseignement de la Cosmographie soit devenu une tradition, que les ouvrages mis entre les mains des élèves se ressemblent comme des frères, même s'ils ont été écrits à un siècle de distance, étant mis à part quelques modernes essais de rénovation. Trois années d'expérience avec l'un de ces essais m'a montré, mieux que n'importe quel raisonnement abstrait, la difficulté de concilier deux exigences extrêmes : d'une part, la nécessité d'un enseignement logique et ordonné, indispensable dans la classe de Mathématiques ; d'autre part, le fait qu'il ne s'agit que d'une initiation, d'un premier (et dernier) contact avec l'Astronomie, science à laquelle malheureusement les élèves ne s'intéressent en général pas, faute de l'avoir connue au moment où, jeunes, leur curiosité naturelle et l'attrait des nouveautés les y auraient portés. Et, aidés en cela par la mentalité de certains, ils s'y intéressent d'autant moins qu'ils savent n'avoir que peu de chances d'être interrogés à l'écrit comme à l'oral. La mise de la Cosmographie comme matière d'oral seulement ne

ferait pratiquement que d'officialiser un état de fait, mais aurait pour conséquence d'accentuer cette tendance : le remède est ici pire que le mal, et il vaudrait alors mieux supprimer complètement la Cosmographie des programmes d'examen, pour lui conserver en classe un caractère désintéressé : l'Astronomie n'y perdrait guère d'ailleurs. Mais il est essentiel de remarquer que l'esprit utilitaire et technique vers lequel semble évoluer notre Enseignement du Second Degré risque d'entraîner cette conséquence pour des raisons totalement différentes, et, il faut bien le dire, quelque peu démagogiques. Il faudrait donc bien se garder de toute mesure qui risquerait de n'être qu'un précédent fâcheux sur lequel on s'appuierait pour déterminer une technicisation complète de notre Second Degré. Il est inutile d'insister sur les dangers d'une telle conception, totalement opposée au principe d'humanité qui fait l'honneur de notre Enseignement. Ce principe veut qu'aucune science humaine ne soit exclue. N'oublions pas que l'Astronomie est et reste la première des sciences ; l'éliminer des examens serait la pire des choses, car l'esprit français est ainsi fait qu'il ne s'intéresse qu'aux choses sanctionnées par la « Peau d'âne ». Supprimez d'abord le Baccalauréat, Messieurs, vous verrez ensuite à enlever l'Astronomie des programmes... ou bien alors, par un prodige surhumain, changez l'esprit du candidat.

Il est donc essentiel de repenser complètement, et les programmes d'Astronomie, et les méthodes pédagogiques.

Parlons d'abord des programmes : le programme actuel en Mathématiques Élémentaires est à la fois trop vaste et trop étroit : trop vaste pour un programme d'initiation à l'Astronomie, trop étroit pour un programme terminal, qui doit couronner toutes les connaissances essentielles apprises par les élèves. Encore qu'il doive être possible d'introduire en classe de Mathématiques Supérieures un programme de Cosmographie plus approfondi, utilisant les plus grandes ressources du calcul et des théories physiques de cette classe, et soulageant d'autant le programme de Mathématiques Élémentaires, il semblerait plus rationnel de commencer l'Astronomie plus tôt, en étalant l'actuel programme vers le bas ; l'initiation devrait être terminée à l'entrée en classe de Mathématiques Élémentaires, et le programme dans cette classe serait un programme de coordination des connaissances acquises antérieurement, ce qui est bien dans l'esprit de la classe. On donnerait ainsi une base logique et solide aux éléments d'Astronomie, et il ne serait pas interdit d'approfondir certaines notions astronomiques telles que le Temps sidéral et le Temps moyen. Une telle initiation, commencée dès la 6^e par exemple, par l'étude du ciel, les noms des étoiles, des constellations, des planètes, des explications simples, telles que les phases de la lune, etc..., ne doit pas prendre beaucoup de temps : 1 heure à 1 h. 1/2 par mois suffiraient, car l'initiation serait faite, non sous la forme de cours « ex cathedra », mais de causeries ou de conférences illustrées ; chaque établissement doit posséder un appareil permettant la projection fixe, soit sous forme de film 35 mm., soit sous forme de plaques diapositives, ce qui est plus pédagogique, car seul ce moyen permet la sélection des images et

leur projection dans un ordre donné. La plus grande part est évidemment laissée à l'initiative de chacun. Remarquons que le problème n'est pas posé « en l'air », mais qu'il se posera nécessairement lorsque, dans quelques décades, on commencera à s'inquiéter sérieusement de la fameuse et toujours attendue réforme de l'Enseignement. A ce sujet, je renvoie au *Bulletin* n° 141, page 230. Je ne suis pourtant pas d'accord avec l'auteur de l'article, car il est important d'étaler l'initiation de l'Astronomie sur plusieurs années. Ce qui précède n'a aucune modification à subir.

Passant maintenant aux méthodes pédagogiques, je me bornerai à un seul exemple, éloquent, certes, que d'autres ont déjà analysé avant moi, mais qui garde toute son actualité : il s'agit du mouvement des planètes. Là, nous verrons qu'il serait urgent de débarrasser les livres et les cours de professeurs (que personne ne se sente ici visé, ce que j'ai déjà dit excuse la plupart des erreurs) des procédés fictifs, des raisonnements artificiels, qui font frémir d'horreur les astronomes qui les lisent... Qui soutiendra sérieusement que la méthode préconisée dans 95 % des livres de Cosmographie permet, en mesurant les diamètres apparents du soleil, de montrer que l'orbite de la terre est une ellipse ? Cette ellipse ayant une excentricité de 0,017 environ, l'écart maximum MM' entre le rayon vecteur FM (F , foyer), et le rayon vecteur FM' (M' point du cercle principal aligné avec F et M) est de l'ordre de $0,00015a$, a étant le demi-grand axe de l'ellipse ; ceci correspondrait à une différence de $0''28$ entre le diamètre apparent observé et le diamètre apparent du soleil calculé dans l'hypothèse d'un mouvement circulaire excentré, d'où la nécessité de pouvoir mesurer le diamètre apparent du soleil avec une précision au moins... dix fois plus grande ($0''02$ en valeur absolue) pour pouvoir mettre en évidence l'ellipticité de l'orbite. Or cette précision est encore loin d'être atteinte de nos jours, et le diamètre apparent du soleil n'est pas défini avec cette précision ! Ajoutons, au contraire que les astronomes, lorsqu'ils se contentent de calculs en première approximation (ce qui est la précision donnée par les tables de logarithmes à 5 décimales), utilisent pour le mouvement apparent du soleil les formules simplifiées qui seraient justement les formules du mouvement de la terre sur une orbite circulaire (excentrique à point d'égalité de Ptolémée). Ajoutons, pour clore, que les ouvrages restent muets sur l'origine de la loi de Newton, à moins qu'ils ne citent l'épisode de la Pomme...

Voilà donc un chapitre où l'on peut faire carrément table rase du passé et repartir sur des bases nouvelles. On peut, sans inconvénient, suivre l'ordre historique, car il montre bien aux élèves la progression de la pensée, et il montre aussi comment le progrès de la technique a influé sur le développement de la science, et comment aussi, en revanche, chaque progrès de l'Astronomie a entraîné un progrès dans ses techniques. Cet ordre est aussi le seul qui puisse faire de l'Astronomie quelque chose de cohérent, sans arrêt, sans retour en arrière, sans redite inutile. Mais d'où viennent donc les lois de Képler ?

Précisons nos souvenirs :

Tycho-Brahé, astronome danois (1546-1601), n'a que des moyens assez

rudimentaires, tels un « *tubus opticus* », simple tube ouvert aux deux bouts, sans lentilles, mais où deux réticules matérialisent l'axe optique de l'appareil (la première lunette date de 1608) ; mais il perfectionne ses instruments pour avoir plus de précision dans ses pointés et ses mesures. Il arrive à accumuler pendant 40 ans de sa vie des observations remarquables de précision pour son époque, concernant en particulier la planète Mars. Mais, bien qu'il vive cinquante ans après Copernic, il est encore un fervent adepte du système de Ptolémée, et ne cherche pas à interpréter ses résultats. Le mérite d'exploiter son travail reviendra à Képler, astronome allemand (1571-1630), d'abord élève de Tycho-Brahé, puis astrologue à la cour de l'Empereur, mais qui eut toujours une vie misérable. Képler, converti au système de Copernic, voulut profiter des mesures de son maître pour établir de façon précise l'orbite de Mars autour du soleil, ou plus exactement pour calculer les éléments de cette orbite, qui est toujours un cercle dont le soleil n'occupe pas le centre, exactement comme pour l'orbite de la terre, qui était connue à cette époque avec une bonne précision (nous avons vu qu'avec une bonne approximation on pouvait confondre l'ellipse et son cercle principal). Ne possédant que des mesures imprécises du diamètre apparent, il eut l'idée d'éliminer ces déterminations en groupant les observations de Mars par deux, faites à des intervalles de temps égaux à la révolution sidérale de Mars : Mars occupe sensiblement la même position sur son orbite, tandis que la Terre occupe deux positions différentes déterminables T et T'. On peut donc résoudre le triangle MTT' connaissant le côté TT', calculable dans l'hypothèse d'une orbite circulaire pour la Terre, et les angles à la base. Ayant reporté sur un graphique les positions de Mars déduites du très grand nombre d'observations dont il disposait, et ayant éliminé celles qui lui semblaient douteuses, il eut la surprise de constater qu'elles dessinaient, non un cercle, mais une ovale, qu'il eut tôt fait d'identifier avec une ellipse dont le soleil occupait un des foyers. En généralisant à toutes les planètes, la *première loi de Képler* (1609) était trouvée, suivie la même année de la deuxième (loi des aires), puis, en 1618, de la troisième loi de Képler, d'intérêt fondamental, car elle relie les unes aux autres les diverses planètes qui gravitent autour du soleil.

On peut dire évidemment que Képler a eu de la *chance* : il a été favorisé par le fait d'abord que l'excentricité de l'orbite terrestre est très faible, ce qui fait que cette orbite est presque circulaire, ce qui ne cause pratiquement pas d'erreur pour la détermination exacte du triangle MTT' (l'erreur pouvant provenir du calcul de la distance TT', et de la position des points T et T'), et, d'autre part, par le fait que l'excentricité de l'orbite de Mars est notable (0,09), ce qui rendait sensible l'aplatissement. Le grand mérite de Képler fut, en outre, assurément, d'avoir généralisé cette propriété à toutes les planètes : on rencontrait pour la première fois en Astronomie un mouvement qui n'était pas circulaire.

A partir des lois de Képler, par un raisonnement simple de cinématique accessible à un élève de Mathématiques Élémentaires, Newton a calculé l'accélération d'une planète dans son mouvement curviligne autour du soleil,

et en a déduit sa fameuse loi, dite de l' « attraction universelle », en généralisant à tous les couples de points pris deux à deux le résultat obtenu pour chaque planète et le soleil. Cette loi a été la base de la mécanique céleste, et son utilisation comme point de départ permettra dans les classes supérieures de traiter complètement cette question, et on sait son succès dans la prévision des mouvements célestes, qui a eu pour couronnement la découverte de Neptune.

On chercherait aussi dans les manuels des exposés corrects des systèmes de Ptolémée et de Copernic, et surtout l'explication du fait que le second est supérieur au premier. On dit souvent que seul le second permet une description plus simple du mouvement des planètes, mais cet argument n'en est pas un, car les deux systèmes sont cinématiquement équivalents. Les astronomes utilisent d'ailleurs le système de Ptolémée quand ils étudient le mouvement apparent du soleil et celui des planètes inférieures, car la représentation est plus commode. La supériorité du système de Copernic provient de considérations de dynamique qui se sont trouvées vérifiées dans leurs conséquences avec une grande précision. Dès lors, la loi de Newton ne doit plus être considérée que comme une vaste synthèse des lois de Képler.

Je m'excuse de cet exposé un peu long sur un point particulier, mais je ne prétends point avoir épuisé le débat. Cet exemple montre bien en tout cas que la pédagogie peut fort bien s'accommoder des réalités historiques, et ne gagne rien à des exposés artificiels sans lien logique et sans base expérimentale. Ce sont ces méthodes irréelles qui ont fait de la Cosmographie une sorte d' « Herbier », selon un mot de M. DANJON, je dirai plutôt une collection de fossiles. Ce n'est pas cette collection de natures mortes qu'il s'agit de ressusciter, mais il s'agit bien plutôt de redonner à cette science la vie dont elle n'a jamais manqué. A ceux qui doutent de l'utilité réelle de cette science, je renverrai aux innombrables applications théoriques ou pratiques qu'elle a suscitées, depuis la technique de la navigation jusqu'à la théorie de la relativité ; et même si elle n'avait aucune utilité pratique, elle en aurait encore une, qui serait de prouver qu'il existe encore une science désintéressée, et pour cela il vaudrait encore la peine de l'étudier.

Jacques DAUTREYAUX,
*Ancien Elève de l'Ecole Normale Supérieure,
Agrégré des Sciences Mathématiques.*
