



Diffuser la science : quels objectifs, quelles méthodes ?

Réflexions à partir de l'astrophysique

Lucienne Gouguenheim

L'Académie des sciences vient d'honorer le CLEA¹ : elle a décerné conjointement à Gilbert et Lucienne son prix "Paul Doisteau-Emile Blutet" et leur a demandé de donner une conférence le 24 septembre 2001.

En voici le texte, où Lucienne propose une réflexion sur la complexité de la science et de sa diffusion. Grande, peut-être parce que sécurisante, est la tentation pour un scientifique, un enseignant, un journaliste, un citoyen, d'extrapoler abusivement le domaine de portée d'une loi. En montrant comment, dans notre société, une perception superficielle des idées scientifiques peut tenir lieu de pensée collective et justifier des pratiques sociales discutables, Lucienne fait apparaître combien l'enseignement scientifique pour tous les élèves est essentiel.

Dans ce vaste projet d'éducation, le CLEA aura encore son mot à dire.

A travers Gilbert Walusinski et moi-même, l'Académie des Sciences honore notre association, le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes (CLEA), et, symboliquement, l'Enseignant et l'Astronome que nous sommes respectivement lui et moi ! Nous avons réfléchi ensemble à ce que nous avons à cœur de vous dire de cette grande aventure qui a démarré il y a un peu plus de 20 ans. Elle nous a fait découvrir la fécondité des rencontres entre spécialistes de l'astronomie-astrophysique et éducateurs et en particulier l'importance des contacts et des échanges que les enseignants de diverses disciplines et de différents niveaux d'enseignement ont pu avoir

entre eux, spécialement à l'occasion des universités d'été. Notre réflexion a pu aussi s'élargir à l'enseignement scientifique européen grâce à la coopérations de collègues d'Allemagne, de Belgique, d'Espagne, de Pologne, de Suisse, que nous avons rencontrés, avec qui nous avons partagé des expériences et des documents. Je conserve un souvenir particulièrement vif de l'intensité des échanges, au cours d'une université d'été, à l'occasion d'un exposé de didactique de l'astronomie, fait en anglais par l'israélien Yossi Nussbaum et traduit en français par notre amie polonaise, Cécilia Iwaniszewska.

Mais plutôt que de retracer l'histoire du CLEA, je voudrais aujourd'hui, à la lumière de cette longue et riche expérience, illustrer en quoi l'enseignement scientifique - destiné à un large public d'élèves, et non à la seule formation des futurs étudiants scientifiques - semble plus que jamais essentiel, en réfléchissant dans un premier temps sur la façon d'aborder la complexité. Dans un second temps, je voudrais souligner que la science contribue à notre façon de "penser le monde" ; que l'ensemble de notre société est imprégnée de modes et de structure de pensée façonnés par la science - et qu'on qualifie parfois de "scientifiques" - mais qui ne sont pas dépourvus de préjugés philosophiques ou sociaux.

La complexité

Nous avons choisi de donner le nom de Cahiers Clairaut à la publication trimestrielle du CLEA. Parce que Gilbert Walusinski nous avait rappelé cette citation du célèbre mathématicien, dans la préface de ses *Éléments de Géométrie* (1741) : "J'ai pensé que cette science, comme toutes les autres, devait s'être formée par degrés ; que c'était vraisemblablement quelque besoin qui avait fait faire les premiers pas et que ces premiers pas ne pouvaient pas être hors de la portée des Commencans, puisque c'étaient les Commencans qui les avaient faits".

Suivre la démarche historique peut être une bonne façon d'appréhender la complexité grandissante.

J'ai été particulièrement impressionnée par une remarque de Claude Lévi-Strauss, dans son avant-propos de "Histoire de Lynx" en 1991, où il soutenait que "le dialogue avec la science réactualise la pensée mythique, parce qu'elle sert de médiation entre les découvertes scientifiques et l'homme de la rue, incapable de comprendre de telles découvertes de l'intérieur et réduit par là-même à les percevoir seulement sous la forme d'un monde imaginaire, paradoxal et déroutant qui présente à nos yeux les mêmes propriétés que celui des mythes."

Il ne peut être question aujourd'hui de donner à quiconque la somme des connaissances accumulées dans chacune de nos disciplines ; ni même de faire comprendre l'importance réelle d'une découverte particulière qui s'inscrit dans un processus d'élucidation à la fois long et complexe.

Cela, malgré le souhait que peut en faire tel ou tel spécialiste. Et surtout, malgré le goût du sensationnel, associé à une nécessité impérieuse de simplification, que véhiculent nos médias. Qui d'entre nous n'a été confronté au problème insoluble que nous posaient des journalistes, généralement dans l'urgence : expliquer en quelques courtes phrases, avec des mots et des concepts accessibles à tous, la "grande découverte" dont les agences de presse venaient de diffuser la nouvelle ? La façon trop simplifiée dont les résultats de la recherche sont généralement présentés dans les médias leur fait perdre à peu près toute signification. Elle expose en effet un résultat isolé, considéré comme spectaculaire, sans faire percevoir la complexité du problème global qui dépend d'un grand nombre de paramètres, ni comment, pas à pas, on peut la vaincre. L'écart s'accroît entre le développement des connaissances et la perception qu'en a le non-spécialiste, à qui le monde apparaît de plus en plus opaque, trop complexe, et le changement de ce que nous en savons trop rapide. La tentation est alors de fuir le champ du rationnel, ou de se réfugier dans des certitudes intemporelles.

La complexité est la caractéristique essentielle des problèmes que les chercheurs scientifiques s'attachent à résoudre dans leur activité professionnelle mais aussi de ceux que tout citoyen rencontre dans la vie courante. Il revient à l'enseignement scientifique de montrer que, si l'on ne peut l'éviter, il est possible de la surmonter, en inculquant la méthodologie scientifique. Elle repose sur l'évaluation des paramètres qui entrent en jeu et de leur importance relative ; sur l'utilisation de modèles qui s'affinent ; elle marque les limites des connaissances et la diversité des degrés de certitude.

Bien entendu, l'enseignement d'une méthodologie ne peut se passer d'un

support de connaissances. Le CLEA est né de cette constatation que l'astronomie, autant par son objet que ses méthodes propres et l'intérêt qu'elle suscite, est particulièrement bien adaptée à cet objectif. Je vais l'illustrer par une expérience à laquelle je participe depuis une dizaine d'années. En collaboration avec le Centre National d'Enseignement à Distance (CNED), Michèle Gerbaldi, Lucette Bottinelli et moi-même, avons créé en 1992 une formation à distance, intitulée Formation de base en Astronomie - Astrophysique, ayant pour objectif essentiel de fournir un outil intellectuel d'analyse de situations et de démarche. Elle fait référence à l'histoire, traite des moyens d'observation et des lois physiques essentielles et replace les astres et l'Univers lui-même dans leurs relations mutuelles et dans un cadre évolutif. Cet enseignement, ouvert à tout bachelier, scientifique ou non, répond à un souci de formation générale.

Celle-ci acquise, se pose la question des relations avec la science actuelle. J'aborde ici le grand débat de savoir quoi enseigner : une science ancienne, pour la raison qu'elle fait appel à des connaissances plus faciles à acquérir, plus directement liée à notre expérience sensible, ou une science à la pointe de la recherche actuelle généralement plus complexe, plus abstraite, plus éloignée de notre perception directe. Une seconde formation a donc été créée en 1998, dans la perspective de montrer comment se construit la connaissance dans sa complexité. Les connaissances acquises dans la première formation sont utilisées pour mener l'étude d'un problème spécifique, de grande actualité et particulièrement complexe : celui de la détermination de l'âge de l'Univers à partir de deux approches différentes, la cosmologie et l'âge des plus vieilles étoiles connues. De nombreux paramètres sont en jeu ; il s'agit de les découvrir et de cerner leur importance relative. Ces travaux sont essentiellement l'oeuvre de deux communautés d'astrophysiciens. La première communauté est celle des cosmologistes qui modélisent l'évolution de l'Univers en s'appuyant sur la théorie de la gravitation d'Einstein. Cette modélisation fait intervenir des para-

mètres "libres", dont la valeur est contrainte par l'observation : ce sont eux qui permettent de déterminer ce qu'on appelle l'âge de l'Univers. La seconde communauté est celle des spécialistes qui modélisent la structure des étoiles en s'appuyant sur un certain nombre de lois physiques. Cette modélisation permet de décrire une évolution de l'étoile au cours du temps et donc de ses caractéristiques observables, telle que par exemple la puissance qu'elle rayonne. C'est en comparant les valeurs observées de ces grandeurs aux prédictions, qu'ils fixent l'âge de l'étoile et plus particulièrement celui des plus vieilles d'entre elles.

Obtenir pour l'Univers, comme la grande presse s'en est faite l'écho, un âge plus faible que celui obtenu pour les étoiles les plus vieilles, traduit la mise en défaut de l'une ou l'autre de ces deux déterminations, ou d'une évaluation trop optimiste des incertitudes sur chacune des déterminations, qui les rend incompatibles.

D'un monde régi par un mécanisme d'horlogerie à un Univers en perpétuelle évolution ou du danger d'extrapoler le domaine de portée d'une loi.

Je voudrais illustrer maintenant le danger qu'il y a à extrapoler le domaine de portée d'une loi, en montrant comment nous sommes passés d'un monde régi par un mécanisme d'horlogerie à un Univers en perpétuelle évolution.

La découverte de la loi de la gravitation universelle par Newton, en 1687, donna la clé de la compréhension d'un monde vu comme une simple mécanique. Fondée sur le principe du déterminisme et reposant sur l'expérience, la mécanique newtonienne a rencontré d'incontestables succès. Un sommet de cette période est la découverte en 1846 de la planète Neptune, à partir des calculs de Le Verrier fondés sur l'observation du mouvement d'Uranus et l'interprétation de ce mouvement à partir de la loi de la gravitation universelle de Newton : Uranus subissait l'attraction

d'une planète inconnue dont Le Verrier avait déterminé la position et que Galle découvrit effectivement en pointant son télescope dans la direction indiquée. Ce fut un immense triomphe de la loi de Newton, que validerait à nouveau aujourd'hui -si besoin était - l'extraordinaire précision des tirs balistiques d'envois de sondes spatiales dans le système solaire.

L'enthousiasme devant l'universalité de la loi de Newton conduisit à étendre cette vision "horlogère", qui se caractérise par un état d'équilibre constamment maintenu, à l'ensemble du monde : de l'organisation de la vie aux structures sociales. Il resterait tel qu'aux premiers jours, comportant par exemple toujours les mêmes espèces vivantes, inchangées. Cette vision correspondait bien par ailleurs à l'expérience quotidienne des hommes du 19^e siècle : rien dans leur activité ne paraissait pouvoir modifier le fonctionnement des mécanismes naturels. Chaque être humain laissait en mourant le monde dans l'état où il l'avait trouvé à sa naissance. Nous sommes encore largement imprégnés de cette vision : les théories économiques telles qu'on nous les présente aujourd'hui ont encore très souvent conservé cette hypothèse implicite (et dépassée) de retour obligé vers un état d'équilibre : les forces du marché fixeraient, grâce à la concurrence, les prix optimaux par l'ajustement de l'offre et de la demande. Il y eut cependant dès le 18^e siècle quelques sceptiques, tel Diderot qui doutait que la vie ait pu naître d'un système répétitif.

Au cours de ce même 19^e siècle, la découverte de l'énergie et de ses modes de transformations - à partir de la machine à vapeur de Carnot - a fondamentalement changé la vision du monde. La description du système solaire ne se réduit pas à celle d'un ensemble de planètes tournant éternellement sur leurs orbites autour du Soleil. Le Soleil nous éclaire et nous chauffe par son rayonnement. Cette énergie rayonnée par le Soleil a aussi constitué les énergies fossiles, charbon et pétrole, que nous utilisons. La source de l'énergie solaire n'est pas éternelle. On sait depuis les années 1920 que le Soleil perd chaque seconde quatre

milliards de kilogrammes qu'il transforme en énergie selon la célèbre formule d'Einstein. Compte tenu de l'énormité de sa masse, cela lui confère tout de même une "espérance de vie" de l'ordre de dix milliards d'années. On sait maintenant que les planètes - même inhabitées - subissent aussi une évolution.

Nous sommes acquis aujourd'hui à l'idée que l'évolution est un phénomène tout à fait général : il concerne aussi bien les êtres vivants, que les astres ou l'Univers lui-même. Son concept s'est imposé à notre mode de pensée et a disqualifié la vision purement horlogère. A son tour, il a influencé d'autres domaines de la pensée. On remarque souvent que la théorie de l'évolution de Darwin, qui repose sur la loi de survie du plus apte, était particulièrement bien adaptée à l'esprit de l'ère industrielle. Celle-ci, cédant à une tentation similaire à celle des "mécaniciens" d'extrapoler le domaine de portée d'une loi de la nature, aurait érigé la découverte de Darwin en loi universelle, justifiant une pratique sociale inégalitaire.

Dans la même perspective, nous devrions, me semble-t-il, réfléchir aujourd'hui à la façon dont les découvertes effectuées dans le domaine génétique influencent notre société, en confortant des modes de comportement individualistes liés à des choix de société qui sont de nature politique ou économique. D'une certaine façon, la solidarité qui est à la base de l'ensemble de la protection sociale est battue en brèche par des arguments de type fataliste.

Un exemple est celui de la tuberculose, parfois qualifiée de "maladie génétique". Cette assertion s'appuie sur le fait, scientifiquement établi, que des différences de nature génétique se manifestent d'une part sur la virulence des souches de bacilles de Koch, et d'autre part sur la réceptivité des êtres humains en présence du bacille. Il n'en reste pas moins que l'on ne saurait oublier que la tuberculose demeure une maladie infectieuse et contagieuse. Ce qui implique un traitement médical (la maladie a été presque totalement éradiquée à la suite de la découverte des

antibiotiques) et une prévention (l'amélioration des conditions sanitaires avait déjà contribué à une diminution considérable du fléau au moment de la découverte du BCG et des traitements). La découverte de l'influence de la composante génétique ne saurait être utilisée pour justifier "scientifiquement" le moindre relâchement dans le domaine de la santé publique.

Vers de nouvelles visions du monde et de nouvelles difficultés.

Ma dernière réflexion porte sur les nouvelles difficultés que rencontre la diffusion de la science, et de la vision renouvelée qu'elle nous donne du monde.

Les découvertes de la physique actuelle qui portent sur les échelles microscopique (l'atome et les particules élémentaires qui le composent) ou au contraire macroscopique (l'Univers) constituent un événement majeur dans l'histoire de la pensée humaine. Les phénomènes qui se produisent à ces échelles inaccessibles à nos sens obéissent à des lois et à une logique totalement différentes de celles de l'échelle de la vie quotidienne. Des propriétés contradictoires peuvent coexister. Il n'est pas possible d'y effectuer des mesures impartiales : l'observateur agit nécessairement sur ce qu'il mesure. Le temps et l'espace s'y comportent différemment. Le statut même de la méthode expérimentale est remis en cause. Cette conception de l'existence de différents "niveaux de réalité"

correspondant aux différentes échelles, humaine, microscopique ou macroscopique, porte un éclairage nouveau sur la complexité du monde. Et aussi sur la capacité de l'intelligence humaine à l'appréhender.

Peut-on la faire partager ? Autrement qu'en justifiant la terrible constatation de Lévi-Strauss, à laquelle je faisais allusion en commençant ? Peut-on enseigner autre chose que ce que Michel Hulin appelait une "protophysique" ?

La seule piste que je connaisse devant cette interrogation à laquelle je n'ai en fait pas de réponse, repose sur l'explicitation de la notion du modèle que l'on utilise pour faire percevoir un concept ou une situation.

Un exemple est celui des modèles utilisés pour illustrer l'expansion de l'Univers, à savoir ce concept difficile d'un Univers dans lequel les galaxies sont au repos et où, néanmoins, leurs distances mutuelles augmentent au cours du temps.

Certains utilisent un élastique, sur lequel sont cousus des boutons régulièrement espacés et que l'on tend. Le modèle, où les galaxies sont représentées par des boutons, dans un univers à une seule dimension, sert à illustrer le phénomène que je viens précisément d'énoncer, mais il n'a pas pour but d'expliquer qui "tire sur l'élastique". Un autre modèle utilise l'analogie des galaxies fixes dans un univers en expansion par l'image de grains de raisins dans un cake en train de gonfler dans un four ; le modèle se limite à l'intérieur du cake et ne tient pas compte du milieu dans lequel le cake se gonfle.

Il me semble que l'on pourrait peut-être faire comprendre le rôle et les limites du modèle en menant la réflexion à partir de modèles utilisés pour illustrer des phénomènes plus simples et directement accessibles à l'observation, comme par exemple un modèle "à l'échelle" du système solaire destiné à illustrer l'échelle de leurs distances ou celle de leurs dimensions ; ou encore le mouvement apparent des planètes.

Note :

Le justificatif rédigé par l'Académie est le suivant :

"Lucienne Gouguenheim, Professeur à l'Université Paris-Sud à Orsay et Gilbert Walusinski, ancien secrétaire général de l'APMEP, ont, ensemble, il y a une vingtaine d'années, créé le CLEA (Comité de Liaison Enseignants et Astronomes), qu'ils n'ont cessé d'animer. Cette création et cette animation exemplaires ont fédéré des enseignants de toutes disciplines et des astronomes, autour de l'astronomie, cette discipline qui figure mal dans les cursus scolaires, mais qui a un impact profond sur les jeunes. Les actions de CLEA sont multiples : Cahiers Clairaut, page Web, CDROM, pochettes de diapositives, transparents, maquettes, écoles et universités d'été. Les cahiers Clairaut, et les divers matériels pédagogiques en français, anglais, espagnol, ont touché plus de cent mille enfants, à travers leurs enseignants. L'influence internationale du CLEA en a étendu l'action bien au delà de nos frontières." ■