

Enseignement d'exploration : méthodes et pratiques scientifiques

## Quand l'étonnement fait école

*Au lycée Jules-Verne, l'étude des méthodes et pratiques scientifiques ne relève pas du roman d'anticipation mais ne dédaigne pas les spéculations philosophiques. Une équipe de trois enseignants et d'un chercheur s'est donné pour mission de faire explorer et évoluer les représentations de la figure du savant, de l'univers et du vivant.*

---

Lycée Jules-Verne, Nantes [44]

Propos recueillis par J. Perru auprès de J.-L. Nativelle, professeur de philosophie et de S. Deniaud, professeur de SVT

---

Ce projet est né de la collaboration d'un expert en astrophysique et de trois professeurs de sciences physiques, de SVT et de philosophie. Au moment de songer au contenu d'un enseignement d'exploration de type Méthodes et pratiques scientifiques, une opportunité s'est présentée au trio d'enseignants. En effet, un ancien élève du lycée Jules-Verne, Vincent Minier, est devenu chercheur au Commissariat à l'énergie atomique de Saclay. Celui-ci, chargé de la délicate mission de vulgariser des connaissances scientifiques particulièrement complexes, a contacté son ancien établissement scolaire afin de tester en quelque sorte la transmission d'un savoir sur un public de néophytes. Il a commencé par faire réfléchir les lycéens aux modes de diffusion des progrès scientifiques, en privilégiant les approches ludiques. Comment trouver un compromis entre complexité et compréhension sans simplification excessive ? L'astrophysique qui est sa spécialité implique des savoirs très pointus, mettant en jeu des équations que seuls les ordinateurs peuvent résoudre.

### Des enseignants explorateurs

Après cette entrée en matière, force a été de constater que l'exploration ne concernait pas seulement les élèves, mais aussi les enseignants qui ont dû redéfinir

leurs domaines de compétences. L'ambiguïté du positionnement des quatre intervenants était liée au fait de sélectionner des contenus qui n'exigent pas un degré de connaissances trop élevé et n'empiètent pas non plus sur les cours. La difficulté a résidé dans le fait de fédérer des visions et des approches quelque peu divergentes auprès de jeunes lycéens. C'est alors que le professeur de philosophie est intervenu en problématisant la fabrique de la science et en proposant un questionnement plus synthétique. En position de surplomb, celui-ci a fait émerger les présupposés et les représentations sur lesquels reposent les théories scientifiques. Dans la mesure où l'enseignement d'exploration vise à sensibiliser les élèves à la démarche scientifique, la préférence a été donnée, non pas à une entrée par thèmes, mais plutôt en abordant quelques champs scientifiques à caractère généraliste. Ainsi, les quatre animateurs ont-ils opté pour des questionnements croisés sur des sujets aussi vastes que les représentations de la vie, l'obstacle épistémologique, les représentations de l'Univers, la méthode expérimentale. Cette équipe de choc a concocté un programme de haut vol où les dernières théories relatives à l'apparition de la vie ont été encadrées par une réflexion de nature épistémologique. Les sciences exactes et humaines se sont ainsi rejointes au point d'intégrer la spéculation inhérente à la science-fiction. Entre l'histoire des sciences et

*Avatar*, l'exploration des présupposés a guidé un questionnement sur l'essence des connaissances.

## Un vaste panorama

Se déroulant sur un semestre, cet enseignement a alterné séances de conférences, travaux pratiques et mise au travail des élèves en autonomie. Ainsi, leur ont été proposées pas moins de six conférences portant sur les sujets suivants : l'origine de la vie, la formation des soleils et des planètes, la production des atomes et des molécules, les planètes habitables et l'émergence de la vie, les obstacles en science, et le scientifique : "un homme d'expériences" ? Si celles-ci s'adressaient à la totalité des élèves, ceux-ci étaient alternativement répartis en trois groupes afin d'assurer une rotation entre TP de physique-chimie, TP de SVT et ateliers de philosophie. Certaines séances ont été consacrées au suivi des travaux de groupes sur la production à réaliser. Afin de susciter l'étonnement, le philosophe a introduit un extrait de *La Formation de l'esprit scientifique* où il est question d'obstacle épistémologique. "J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, écrit Gaston Bachelard, plus encore que les autres, si possible, ne comprennent pas qu'on ne comprenne pas. (...) Les professeurs de sciences imaginent que l'esprit commence comme une leçon, qu'on peut toujours refaire une culture nonchalante en redoublant une classe, qu'on peut faire comprendre une démonstration en la répétant point par point. (...) Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne." Selon, l'auteur, "L'esprit scientifique doit se former en se réformant"<sup>1</sup>. La perception, le bon sens, les représentations stéréotypées constituent des entraves à l'évolution de la pensée et donc à la recherche. Il convient donc d'en prendre conscience et de les renverser. Toute représentation est invention, vision subjective qui court le risque de s'éloigner de la réalité, d'être illusoire. L'astrophysicien a alors exposé diverses représentations de l'univers, d'Aristote à nos jours, en passant par la révolution copernicienne. Mais qu'est-ce qu'un mouvement, pour un physicien ? Selon Aristote, l'homme était forcément immobile alors qu'actuellement, depuis la prise en compte de la relativité, on considère qu'un mouvement procède de la combinaison de deux actions, celle de l'observateur et celle de l'objet observé.

## Les représentations en questions

De même, à propos des représentations de "la vie", le professeur de philosophie a distingué le concept plus abstrait de vie de celui plus concret de "vivant", plus usité dans son champ de savoir. Avec humour, il a présenté un

diaporama pour démontrer l'anthropomorphisme lisible dans la représentation de la vie extraterrestre comme décalque de la vie terrestre. La science-fiction, qui comporte une part de spéculation, constitue le plus souvent une extrapolation du réel. Ainsi, dans *Avatar*, réalisé par James Cameron, la faune et la flore de la planète Pandora se trouvent pseudoscientifiquement décrites dans un livre accompagnant le film<sup>2</sup>. Du bellicum pennatum à l'equidius, toutes les espèces sont présentées avec des noms latins. Les Na'vis ne seraient-ils pas d'autres Indiens ? Déjà, dans *La Création de l'homme*, Michel Ange représentait Dieu à l'image de l'homme. Selon une conception finaliste selon laquelle la nature aurait été créée en fonction d'une fin, Bernardin de Saint-Pierre considérait que, si le melon a la peau striée, c'est pour être facilement découpé en tranches et mangé en famille. Le professeur de SVT a démontré que la bipédie, conçue comme stade suprême de l'évolution, a constitué un obstacle à la recherche scientifique. À une représentation de la nature comme un arbre dont l'homme serait le sommet, a succédé, au cours de l'histoire des sciences, une conception de type fractal en buisson, et donc non hiérarchisée. Le scientifique doit donc se défaire de l'anthropomorphisme, de l'anthropocentrisme, du finalisme, se libérer de ses schémas de pensée et faire preuve d'imagination. L'astrophysicien a ainsi montré des formes de vie hybride mi-animale, mi-végétale qui varient selon l'atmosphère.

## Tout l'Univers

Un TP de sciences physiques a porté sur la composition des milieux interstellaires (voir page 3). Le milieu interstellaire contient 99 % de gaz (hydrogène et hélium, principalement) et 1 % de poussière. La poussière est le terme en astronomie pour les solides de petite taille. Les grains solides dans l'espace sont composés d'éléments très courants (carbone, oxygène, magnésium et silicium). Les deux matériaux principaux sont des silicates (sable) et du carbone (diamant, graphite ou carbone amorphe). Cette petite fraction de grains solides est très importante, parce que les solides interagissent fortement avec la lumière. Les élèves ont étudié les molécules présentes dans les nébuleuses, les nuages, et les poussières interstellaires, et ont recensé les éléments les plus répandus dans la voie lactée tels que l'on peut les estimer par spectroscopie.

## Qu'est-ce que l'expérience ?

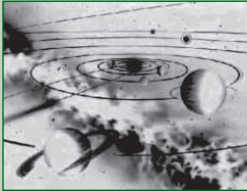
Un autre point abordé selon des regards croisés a porté sur le concept d'expérience. L'enseignant de philosophie a lancé le questionnement en diffusant un diaporama intitulé : "Le scientifique : un homme d'expériences ?". Il a commencé par une exploration sémantique du terme, en considérant diverses expressions significatives renvoyant à plusieurs acceptions : "avoir

## Questionnaire sur les milieux interstellaires

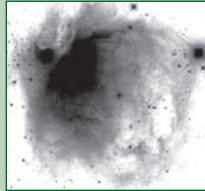
### IMPS – activité de Sc. physiques

#### 1. Se repérer dans l'Univers :

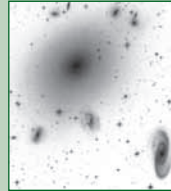
a) Quelques "objets de l'Univers"



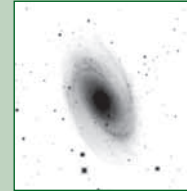
$1,5 \cdot 10^{10}$  km  
a.l



$3,1 \cdot 10^{14}$  km  
a.l



$10^{18}$  km  
a.l



$10^{20}$  km  
a.l

b) Différents "espaces"

Espace interplanétaire :

Espace interstellaire :

Espace intergalactique :

c) Densités

Milieu	air sur Terre	interstellaire	intergalactique
Densité	$10^{19}$ particules / $\text{cm}^3$	100 particules / L	10 particules / $\text{m}^3$

Comparaison :

#### 2. Le milieu interstellaire :

a) Qu'appelle-t-on "milieu interstellaire" ?

b) D'où vient la matière constituant le milieu interstellaire ?

c) Quelle est la constitution du milieu interstellaire ?

d) La matière interstellaire a-t-elle joué un rôle dans l'apparition de la vie ?

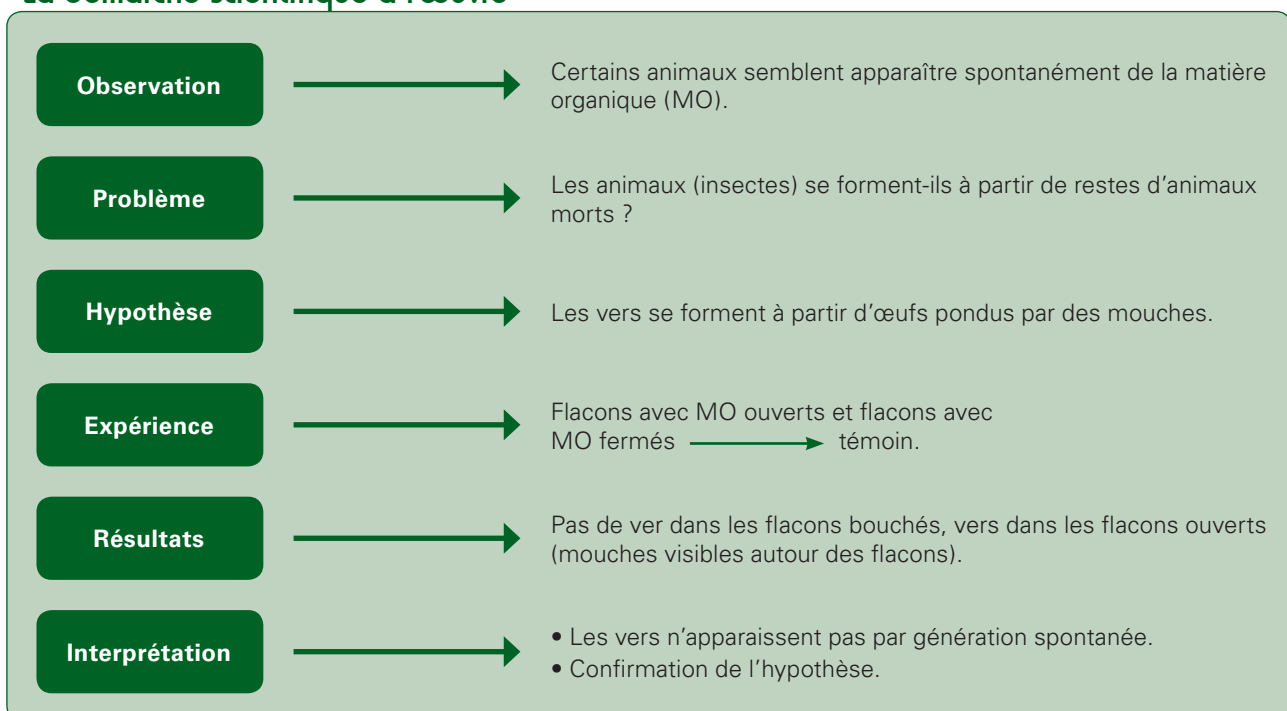
l'expérience sensible du monde" concerne la perception qu'on a de la réalité, "avoir de l'expérience" désigne le fait de connaître la vie, renvoie au vécu, tandis que "faire une expérience" s'applique à l'exercice de la science. La polysémie du mot montre à l'envi que la notion s'entend différemment selon les contextes. Puis il a montré divers portraits de savants tels que Gaston Bachelard, 1884-1962, le professeur Tournesol, les frères Bogdanov et Einstein tirant la langue. La figure du scientifique souvent âgé cumule ironiquement les divers sens du mot. Le professeur de SVT a apporté sa contribution à la réflexion sur la notion d'expérience en abordant la question de la génération spontanée, problématique classique en histoire des sciences, afin de montrer que la démarche expérimentale n'est pas innée. Dans "De la génération des animaux", Aristote considère en effet que certains êtres vivants "se forment et s'engendrent par une certaine coagulation de la terre et de l'eau." Le principe de génération spontanée, soit sans ascendant, s'appliquerait, selon lui, aux puces, aux huîtres, aux moules, etc. Descartes ne conteste pas cette conception au motif suivant : "il faut si peu de choses pour faire un animal, il n'est assurément pas étonnant que tant d'animaux, tant de vers, tant d'insectes, se forment spontanément sous nos yeux dans toute matière en putréfaction." Le savant belge Jean-Baptiste Van Helmont (1579-1644) propose alors de démontrer expérimentalement la génération spontanée. À son époque, les savants croient que, si les êtres vivants supérieurs naissent de leur mère, les insectes et les animaux inférieurs, en revanche, apparaissent spontanément. Afin de vérifier cette hypothèse

de l'abiogénèse, Van Helmont a laissé pendant vingt et un jours un vêtement sale plein de transpiration et contenant des graines. Constatant l'apparition de rats, il en déduit que ceux-ci sont nés du vêtement. Loin de prouver l'abiogénèse, cette expérience a d'ailleurs été considérée comme prouvant plutôt l'apparition d'êtres animés dans certaines conditions. Enfin, au XVII<sup>e</sup> siècle, Francisco Redi (1626 à 1697), médecin, biologiste et poète italien, démontre que l'apparition des vers sur les cadavres ne se produit pas par génération spontanée. "À la mi-juillet, je plaçai dans quatre flacons à large goulot un serpent, quelques poissons de rivière, quatre petites anguilles de l'Arno et une tranche de veau de lait ; je bouchai soigneusement les ouvertures avec du papier et de la ficelle, alors que je laissais ouverts quatre autres flacons semblablement garnis. Il ne se passa pas longtemps que les poissons et les chairs de ces derniers récipients ne se couvrirent de vers ; on voyait d'ailleurs les mouches y entrer et en sortir à leur guise. Dans les flacons bouchés, au contraire, je n'ai jamais vu naître le moindre ver ; et pourtant, de nombreux mois se sont écoulés après que j'y eus enfermé les chairs mortes". Dans cette contestation du principe de la génération spontanée, on assiste alors à l'émergence de la démarche scientifique avec ses étapes progressives (voir ci-dessous).

## La tête dans les étoiles

Au cours de cet enseignement d'exploration, divers domaines ont été abordés pour illustrer et expliquer la méthode et la pratique des sciences. Vincent Minier a donc exposé, sous forme d'un diaporama, les fonde-

### La démarche scientifique à l'œuvre

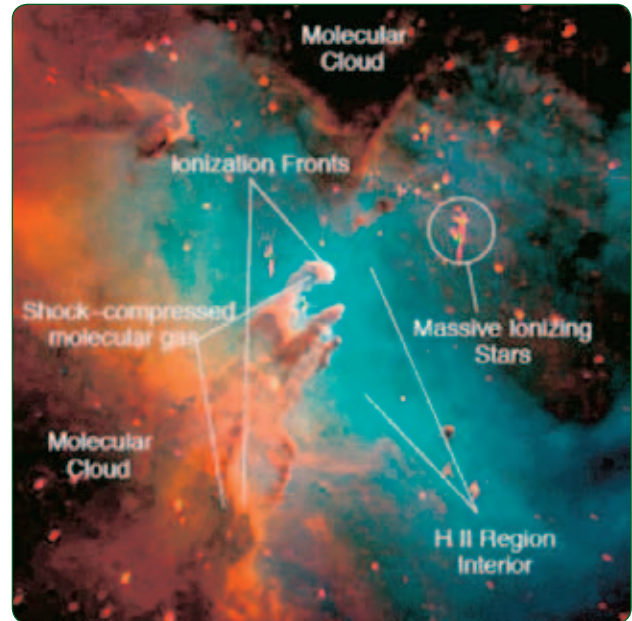


ments de la méthode expérimentale dans son domaine d'expertise. L'astrophysique constitue une science qui revêt un caractère particulier dans la mesure où il est impossible de pratiquer des expériences réelles sur les étoiles, lesquelles sont hors de notre portée, ce qui n'empêche nullement de les observer. Quelle est la différence entre l'observation et l'expérience ? Le chercheur a montré des photos de télescopes, outils d'observation, et les images des phénomènes qu'ils servent à observer, qui sont parfois très étranges et sont matière à diverses hypothèses (voir ci-contre). On met en équation toutes ces causes afin d'en déduire des conséquences. On pratique des simulations en modifiant des paramètres. On peut, par exemple, éteindre la gravité pour ne regarder que le rôle du rayonnement dans la sculpture d'une nébuleuse. Mais l'homme seul ne serait pas en mesure de les résoudre. On pratique donc des expériences à l'aide de super ordinateurs, comme l'illustre cette image qui n'est pas issue de la trilogie *Matrix* ! (annexe disponible en ligne). Malgré l'impossibilité de pratiquer des expériences sur les étoiles, et la passivité apparente de l'observation, il existe bien une démarche expérimentale, en astrophysique, avec des instruments de mesure, des expériences en laboratoire, et l'hypothèse de l'universalité des lois de la nature pour atteindre une vérité scientifique. On regarde quelle conséquence est le résultat d'une cause donnée telle que la gravité ou le rayonnement. On avance pas à pas, on circonscrit l'inconnu. Ces expériences ne sont pas accessibles à la sensibilité de l'homme du fait de leur complexité, essentiellement. En revanche, elles sont accessibles à son intelligence grâce à l'informatique. Le chercheur explique, à l'aide d'un organigramme, le caractère cyclique de la démarche expérimentale : l'observation, la description, l'hypothèse, et l'expérience ou l'observation, pour affiner et vérifier ses hypothèses. On constate avec objectivité, on déduit des quantités physiques à partir des mesures, on fait des hypothèses encadrées par la théorie, et l'on tente de les vérifier (annexe disponible en ligne).

## De la pomme à la Lune

Enfin, Pierre Valeau, professeur de sciences physiques, s'est joint au concert de démonstrations en abordant la démarche expérimentale dans le cadre des théories de la gravitation. À partir de Galilée, père de la physique moderne, et non sans passer par Gotlib, il en est arrivé à Newton et sa fameuse pomme. En faisant varier la distance de 1 000 à 10 000 kilomètres, le savant a établi le parallèle avec la situation de la Lune qui devrait tomber sur la Terre dont elle est éloignée de 380 000 kilomètres (voir ci-contre). Newton a abouti au théorème selon lequel : la Lune gravite vers la Terre et, par la force de la gravité, est continuellement retirée de son mouvement rectiligne et retenue dans son orbite. Puis il a conclu sur une image de la Lune où la plume et

## Vue d'étoiles ionisantes

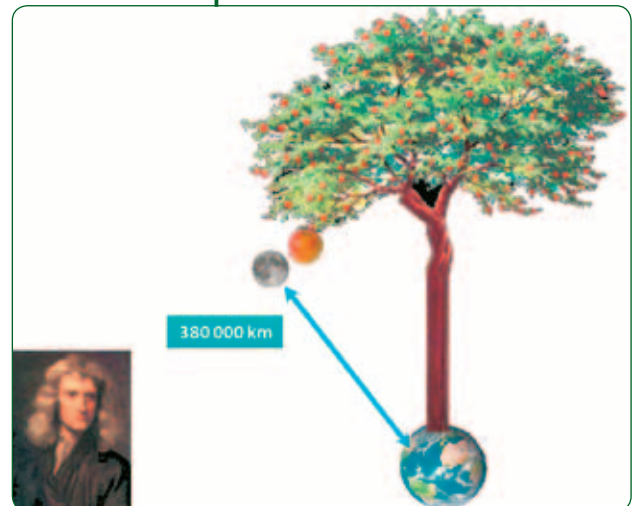


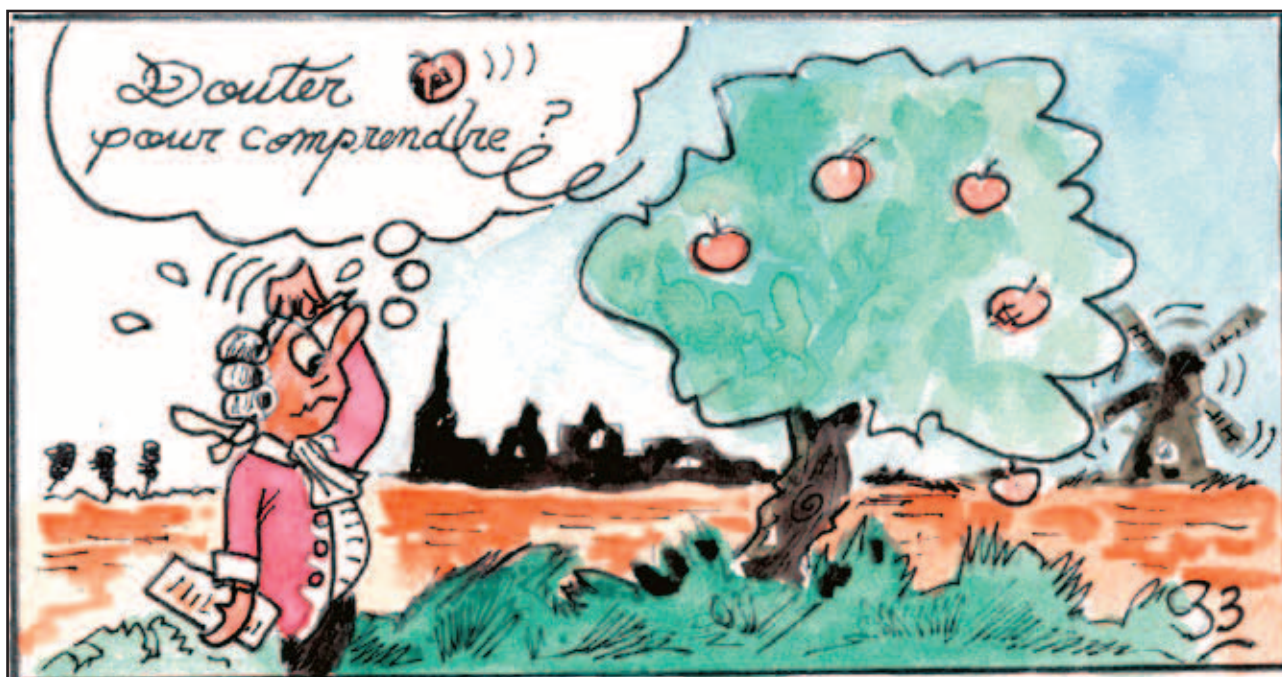
le plomb ont la même force de gravitation ! Se livrer à une expérience présuppose donc de connaître le résultat escompté !

## Du big bang à l'immortalité de l'âme

Si l'accent a été mis, dans ce compte rendu, sur les interventions croisées des enseignants, et plus spécialement sur les apports de nature philosophique jetant un pont entre les disciplines, les élèves ont prolongé les interrogations qui avaient été engagées au cours de cet enseignement dans leurs productions finales. Celles-ci ont consisté en des diaporamas consacrés à des sujets tels que les comètes, la vie artificielle, les anneaux de Saturne, ou la vie sur les satellites galiléens (annexe disponible en ligne). Certains travaux se sont orientés sur la question de la vulgarisation scientifique en imaginant, au sujet des satellites naturels, un questionnaire mis en

## La lune et la pomme





scène en une mini-émission du type *Questions pour un champion*. D'autres élèves ont réalisé des maquettes pour illustrer les théories du big bang et du big crunch qui président à l'origine du monde. Un dossier sur la téléportation a posé la question de savoir si ce phénomène ne constituait pas une preuve de l'immortalité de l'âme. Serait-ce l'effet Avatar dont le titre renvoie à un terme sanskrit désignant précisément les diverses incarnations du dieu Vishnu selon la religion hindoue, ou plus récemment la représentation virtuelle d'un internaute dans le cyberspace ? De l'exploration de l'univers à la définition du vivant, en alternant imagerie scientifique sophistiquée et plans de films de science-fiction, de la recherche fondamentale à la spéculation philosophique, les élèves auront été sensibilisés à une série de questionnements théoriques et appliqués qui en auront sûrement bouleversé plus d'un. Nul doute que l'ironie socratique, soit le fait de tout questionner, y compris la question, aura fait vaciller quelques certitudes. Si la plupart des représentations qu'avaient les élèves, en matière de sciences, en début d'année, ont été révoquées en doute, tel est le propre de l'esprit d'examen.

### Des sciences plus humaines ?

On voit bien comment, à partir d'un point de départ extérieur aux sciences, une synergie interdisciplinaire s'est mise en place, le questionnement philosophique trouvant des illustrations et des réponses dans les champs scientifiques. À l'heure où l'on préconise l'introduction de la philosophie avant la classe de terminale, nul doute que cette expérimentation fondée sur l'étonnement et tout à fait concluante fera école. De nature scientifique au départ, cet enseignement explore aussi bien l'Univers, le vivant que la spéculation inhérente à la réflexion phi-

losophique. N'est-il pas envisageable de concevoir, dès la classe de seconde, une culture humaniste qui allie les différents champs de savoir en les faisant converger via l'histoire des idées, notamment ? Le professeur de SVT a apprécié l'approche pluridisciplinaire qui lui a permis d'aborder différemment des notions telles que le vivant, le métabolisme, l'information génétique ou la production de protéines selon une perspective plus globale. L'occasion lui a été donnée d'effleurer certains mécanismes abordés en classe de première S en dépassant le strict cadre du programme de seconde, source de motivation pour la plupart des élèves, y compris ceux qui ne se destinent pas à la filière S. En l'occurrence, au-delà de l'apprentissage des pratiques spécifiques aux sciences, cet enseignement d'exploration offre un apprentissage de type méthodologique qui s'avère d'autant plus opératoire que celui-ci s'appuie sur une interrogation fondamentale indispensable à la recherche. N'est-ce pas le propre de la démarche scientifique ? À la fois penseur des sciences et critique littéraire, Gaston Bachelard était encore plus ambitieux en déclarant : "Tout ce que peut espérer la philosophie, c'est de rendre la poésie et la science complémentaires, de les unir comme deux contraires bien faits."<sup>3</sup> Est-ce si utopique ? ▣

1. Dans l'avant-propos à *La Psychanalyse du feu*, Bachelard ajoute : "Toute objectivité dûment vérifiée dément le premier contact avec l'objet. Elle doit d'abord tout critiquer : la sensation, le sens commun, la pratique même la plus constante, l'étymologie, car le verbe, qui est fait pour chanter et séduire, rencontre rarement la pensée. Loin de s'émerveiller, la pensée objective doit ironiser." Il oppose ainsi l'esprit poétique et l'esprit scientifique.

2. *Rapport confidentiel sur la planète Pandora*, éditions Michel Laffont

3. Dans le même avant-propos à *La Psychanalyse du feu*.