



Bilan de l'expérimentation 2019–2022

Option « Physique des 2 infinis »

Table des matières

1 Programme mis en œuvre	2
1.1 Premier semestre : vers l'infiniment grand	2
1.1.1 S1 : Premières observations	2
1.1.2 S2–4 : Le Soleil	3
1.1.3 S5–6 : Les instruments optiques, principes de fonctionnement	3
1.1.4 S7–9 : Le système solaire	4
1.1.5 S10–12 : Les constellations et leur utilité	4
1.1.6 S13–15 : Le reste de l'Univers	4
1.2 Second semestre : vers l'infiniment petit	5
1.2.1 S16–23 : Histoire de la physique des particules	5
1.2.2 S24 : Rôle et effets du champ magnétique	6
1.2.3 S25 : Construction du modèle standard	7
1.2.4 S26-29 : Physique des deux infinis aujourd'hui	7
1.3 Activités extra-horaires	8
1.3.1 Observations astronomiques	8
1.3.2 Fête de la Science	8
1.3.3 Accueil de chercheurs	9
2 Évaluation	11
2.1 Apprentissage des élèves	11
2.2 Parcours des élèves	12
2.2.1 2019–2020	12
2.2.2 2020-2021	13
2.2.3 2021-2022	13
2.3 Pratique des enseignants	13
3 Perspectives	14
3.1 Rédaction d'un programme officiel	14
3.2 Dissémination de l'option au niveau national	14

Introduction

Ce document présente le bilan des trois (premières) années d'expérimentation de l'option technologique de seconde générale « Physique des deux infinis », mise en place au Lycée Roland Garros durant les années scolaires 2019–2020, 2020–2021 et 2021–2022. Il est à noter que l'enseignement a été assuré la première

année par deux professeurs (MM. CARRET et CAVALLI), la seconde par un seul (M. CARRET, M. CAVALLI ayant obtenu une mutation pour la métropole) et la dernière de nouveau par deux (M. CARRET toujours, et M. PAGANI arrivé entre-temps dans l'établissement).

Il se décompose en trois parties : dans la section 1, une version relativement détaillée du programme pédagogique mis en œuvre est présentée; la section 2 analyse ensuite les différents indicateurs d'évaluation de la portée de cette option, tandis que la section 3 dresse les pistes d'exploration proposées dans le cadre d'un renouvellement de l'option puis de sa dissémination au niveau national.

Enfin, une conclusion vient résumer les éléments essentiels du bilan et rappeler les évolutions proposées.

1 Programme mis en œuvre

En préambule et avant de plonger dans les détails des contenus pédagogiques mis en œuvre, il convient d'esquisser les objectifs du programme réalisé.

Si les thèmes de l'infiniment petit et de l'infiniment grand ne sont que peu abordés dans l'enseignement secondaire, c'est notamment en lien avec le bagage technique important nécessaire à leur étude quantitative. Néanmoins, cela n'exclut pas d'en enseigner une partie du contenu tout en développant des **compétences** utiles à tout-e élève qui souhaite **poursuivre des études scientifiques** : recherche et documentation sur des phénomènes ou objets physiques, extraction et synthèse des informations principales à partir de documents complexes, présentation orale de travaux de diverses natures, compréhension de la construction des savoirs... Certaines parties se prêtent également à une *démarche expérimentale*, où les aspects quantitatifs peuvent alors prendre toute leur place et venir renforcer les acquis des programmes de tronc commun, en vue d'une poursuite dans les spécialités correspondantes (essentiellement physique-chimie).

Le programme a donc été conçu à la fois dans l'objectif d'une approche cohérente des deux infinis d'un point de vue thématique, mais également en réfléchissant aux compétences développées et mobilisées dans chaque partie afin d'optimiser l'acquisition par les élèves des **méthodes inhérentes à la démarche scientifique**. En cela, cette option de seconde propose un lien fort également avec l'Enseignement Scientifique de Première et Terminale générale.

Les infinis étant au nombre de deux, le découpage s'est articulé en semestres, chacun étant dédié à l'un des deux — même si, à la fin du second semestre, les liens forts existants entre ces deux infinis sont évidemment mis en exergue.

1.1 Premier semestre : vers l'infiniment grand

Le premier semestre se consacre à l'**infiniment grand** pour une raison simple : c'est généralement celui pour lequel les élèves ont déjà le plus de connaissances à ce stade, et il est donc plus aisé de partir de ces bases existantes pour commencer à construire par-dessus.

L'idée ici est de **partir de l'échelle locale et de s'éloigner petit à petit**. La Terre, déjà grandement abordée dans les programmes de Physique et de Sciences de la Terre, ainsi que dans le programme d'Enseignement Scientifique de 1^{re}, est traitée ici en tant que planète du système solaire comme une autre. Cette notion de système solaire invite donc d'emblée à se pencher sur son élément central, le Soleil.

Note : l'année commence généralement par une séance de présentation du programme de l'option et une visite du système solaire implanté sur le terrain du lycée.

1.1.1 S1 : Premières observations

La physique est une science expérimentale par essence, et ce sont les observations qui nourrissent la soif de compréhension. D'autre part, les cours ayant lieu en journée, le ciel n'offre généralement qu'une seule cible, mais de choix : le Soleil.

Durant cette séquence d'une seule séance, on présente les **instruments d'observations** (lunette, télescope — dont objectifs, tubes, oculaires) ainsi que les différents types de montures (équatoriale, alt-azimutale), en détaillant à chaque fois leurs caractéristiques essentielles, intérêts et défauts.

Les instruments sont ensuite utilisés pour **observer le Soleil**, en insistant bien sur les conditions de sécurité et l'équipement nécessairement utilisé pour cela (filtre neutre très obscurcissant, oculaire avec prisme de HERSCHEL...). On met en évidence, si la situation le permet, la présence des *taches sombres*. L'utilisation d'un dispositif spécifique (filtre H- α), additionnel ou intégré dans un dispositif dédié (*e.g. solarscope Coronado*), permet de visualiser la *couronne* et les éventuelles *protubérances*.

Note : selon les effectifs, cette séance peut se faire en demi-groupe en parallèle de la première séance de la séquence suivante, afin de permettre une utilisation du matériel d'observation dans de bonnes conditions (temps par élève sur les observations).

1.1.2 S2–4 : Le Soleil

Ces premières observations du Soleil, généralement inédites pour les élèves, permettent d'attiser leur curiosité sur ce qu'ils ont vu : on insiste alors sur le **rôle de l'observation en sciences**. La séance suivante est donc consacrée à des recherches sur le Soleil.

En introduction, un échange a lieu avec les élèves sur les **différentes sources d'informations utilisables** (livres, sites internet avec un accent mis sur la vérification des sources et une réflexion sur les sites que l'on peut considérer comme fiable : il faut privilégier les sites institutionnels).

Puis dans un premier temps, les élèves sont séparé-e-s en deux groupes : l'un est chargé de trouver les différentes structures qui composent le Soleil, l'autre les différentes phases de sa vie. Les élèves travaillent seul-e-s ou en binômes sous la supervision de l'enseignant, puis chaque demi-groupe se réunit pour mettre ensemble les informations récoltées et synthétiser le tout avec l'aide de l'enseignant.

Ils font alors une présentation très succincte de leurs résultats à l'autre demi-groupe. Enfin, l'ensemble des élèves est invité à choisir un sujet par binôme, parmi les suivants :

- domaine *temporel* : **formation du Soleil, de la vie à la mort, après la mort** ;
- domaine *spatial* : **noyau, couche radiative, couche convective, photosphère, chromosphère, couronne (inclus éruption, protubérances), vent solaire**.

La deuxième séance de cette séquence sert alors pour chaque binôme à approfondir leurs recherches sur l'item sélectionné, afin de **réaliser un court diaporama** dessus (1 à 3 diapositives maximum). Aucune indication n'est donnée à ce stade sur la façon de présenter les informations dans un diaporama, afin de pouvoir échanger avec les élèves sur les bonnes et mauvaises pratiques devant des cas de figures concrets lors de la troisième séance.

En effet, la dernière séance de cette séquence est dédiée à la **présentation des exposés** (5 minutes maximum par binôme), au cours de laquelle les élèves sont encouragés à poser des questions à leurs camarades, puis les différents exposés sont décortiqués et analysés ensemble. Les écueils classiques sont l'absence ou le trop plein de texte, les nombres avec de trop nombreuses décimales, une lecture des diapositives plutôt qu'un oral tourné vers le public, des images inadaptées... L'analyse se fait dans le cadre d'une démarche bienveillante et un souci d'amélioration pour les exposés suivants.

1.1.3 S5–6 : Les instruments optiques, principes de fonctionnement

Cette partie est composée de deux séances de travaux pratiques. Nous nous appuyons sur le programme de seconde où les notions « Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente. Grandissement » sont abordées.

La première séance est axée sur les lentilles minces convergentes, avec des rappels et des approfondissements. Nous introduisons la notion d'image virtuelle à partir d'un objet réel, et en particulier le cas où l'image est à l'infini.

La seconde séance est consacrée à la modélisation d'une lunette afocale où nous observons des objets lointains (grossissement des feuilles des arbres environnants). Nous définissons et visualisons le cercle oculaire et discutons de la latitude de mise au point à partir des caractéristiques de l'œil¹ : *Punctum Remotum* et *Punctum Proximum*.

Toujours en s'appuyant sur le programme de seconde², en fin de séance nous observons le spectre du Soleil avec un spectrophotomètre (*e.g. spectrovio*). C'est l'occasion d'introduire la loi de WIEN des corps noirs et le spectre de raies d'absorption dû à son atmosphère.

Note : selon les effectifs, ces deux séances peuvent se faire en demi-groupe en parallèle des deux premières séances de la séquence suivante, afin de ne pas dépasser deux élèves par paillasse en salle de TP d'optique.

1.1.4 S7–9 : Le système solaire

Après avoir étudié le Soleil, on s'intéresse désormais à son environnement proche : le **système solaire**.

La première séance commence par un temps d'échange avec les élèves, où ils sont invités à restituer leurs connaissances sur le sujet. On obtient alors une liste d'éléments constitutants, complétée par l'enseignant :

- les **4 planètes telluriques** : Mercure, Vénus, la Terre, Mars ;
- les **4 planètes géantes** : celles gazeuses, Jupiter et Saturne, et celles de glaces, Uranus et Neptune ;
- les **ceintures d'astéroïdes** principale et celle de KUIPER, astéroïdes troyens et grecs, centaures ;
- les **planètes naines** (Cérès, Pluton, Hauméa, Éris & Makémaké) ;
- les **zones éloignées** (choc terminal, héliosphère/gaine/pause, nuages de HILLS et OORT).

Les élèves sélectionnent alors par binômes un sujet parmi ces onze-là.

Les élèves disposent alors du reste de la séance ainsi que de la seconde séance pour effectuer des recherches et préparer un diaporama, cette fois d'environ 4 diapositives typiquement. L'enseignant veille à ce que chaque binôme ait prévu un certain ensemble minimal d'informations sur les objets à sa charge.

Enfin la troisième et dernière séance de ce segment est dédiée aux exposés, d'une durée de 5 à 10 minutes. De nouveau, les autres élèves sont encouragés à poser des questions à leurs camarades, et chaque exposé est suivi d'une brève analyse de ses points forts et faibles, toujours dans un but d'amélioration continue. L'enseignant peut également choisir de son côté un thème non-traité afin de présenter un exposé dessus, dont les élèves seront alors invités à faire la critique constructive.

Note : idéalement, ce segment s'accompagne de séances extra-horaires d'observations d'une partie de ces objets, *cf.* section 1.3.1.

1.1.5 S10–12 : Les constellations et leur utilité

Comment se repérer dans le ciel ? Quels sont les objets observables avec des instruments amateurs ?

Les élèves sont répartis par binômes. Ils choisissent une ou deux constellation-s du zodiaque. Ils doivent les positionner dans le ciel, décrire leurs formes, identifier l'étoile la plus brillante, repérer les objets remarquables aux alentours. C'est ici l'occasion de découvrir les cartes du ciel et les applications dédiées à l'observation astronomique amateur tel que *Stellarium*. Nous introduisons aussi les notions de magnitudes apparentes et absolues.

Chaque binôme prépare deux diapositives pour illustrer leur présentation de 2 ou 3 minutes qu'ils font dans l'ordre choisi par le-s professeur-s.

1.1.6 S13–15 : Le reste de l'Univers

Pour clôturer l'infiniment grand, les élèves sont invités à réaliser un dernier exposé sur un sujet de leur choix en lien avec le reste du contenu de l'Univers.

1. En lien avec le programme de physique–chimie : L'œil, modèle de l'œil réduit.

2. Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique. Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud.

À nouveau, une première partie d'échange est utilisée pour faire le point sur les préacquis des élèves afin d'obtenir une liste de sujets, complétée une fois n'est pas coutume par l'enseignant³ :

- les **différents types d'étoiles** (classification, proportion, cycle de vie...);
- les **exoplanètes** (détections, variété, catégorisations...);
- les **galaxies** (différents types, formation, évolution...);
- les **objets compacts** : naines blanches, étoiles à neutrons et trous noirs;
- les **événements cataclysmiques** : (kilo/super/hyper)novæ, fusion de trous noirs;
- la **matière noire** (rôle/nécessité, candidats);
- la **vie de l'Univers** (Big Bang, inflation, fond diffus cosmologique, expansion et énergie sombre, etc.);
- les **observatoires** : au sol, satellites, détecteurs d'ondes gravitationnelles (caractéristiques, en comparaison notamment avec les instruments d'observation utilisées).

Les élèves peuvent choisir de traiter un de ces ensembles larges, ou bien se focaliser sur un item en particulier et le présenter de manière détailler. Deux séances sont dédiées comme d'ordinaire aux recherches et préparation des exposés, puis une séance à leur présentation.

1.2 Second semestre : vers l'infiniment petit

L'approche pour le second semestre est différente de celle du premier, d'une part afin de varier les pratiques pédagogiques, d'autre part parce que la zoologie des particules de l'**infiniment petit** est telle que les élèves s'y perdraient rapidement sans une approche progressive et très guidée.

1.2.1 S16–23 : Histoire de la physique des particules

On aborde donc la physique des particules comme elle l'a été au cours du temps, en retraçant son historique, les découvertes et modèles successifs. L'accent est mis sur la **construction des savoirs**, des expériences et observations faites par les scientifiques aux différentes interprétations successives, avant d'aboutir finalement aux modèles actuellement en vigueur. Pour cela, chaque semaine est remis aux élèves une fiche A4 recto sur une petite portion de l'histoire. Dans ces fiches, certains items sont en gras et doivent faire l'objet de recherches; ce sont des noms de :

- *particules*, qu'il faut alors savoir présenter;
- *phénomènes physiques*, dont il s'agit de savoir expliquer succinctement les causes et effets, ainsi qu'éventuellement ce qu'ils ont permis de mettre en évidence;
- *dispositifs expérimentaux*, pour lesquels le principe de fonctionnement doit être compris dans les grandes lignes, et l'apport au domaine restitué;
- *scientifiques*, qu'il s'agit de situer temporellement et d'en connaître leurs principales contributions en lien avec le sujet de la fiche.

Par ailleurs, quelques questions sont posées par endroits, tandis que des trous sont laissés dans le texte pour être complétés par les élèves, soit à partir des recherches faites sur les termes spécifiés, soit à l'aide des connaissances acquises dans les fiches précédentes.

Le découpage retenu est le suivant (6 séances) :

- **l'atome tel qu'on le voyait jusqu'en 1930** : l'atome au XIX^e siècle, la découverte de l'électron (FARADAY, PERRIN, THOMSON & MILLIKAN), le modèle de THOMSON, la découverte du noyau puis du proton, et en fin le modèle de RUTHERFORD;
- **les questions posées par la découverte de la radioactivité** : travaux de BECQUEREL, RÖNTGEN et des époux CURIE, rayonnements α et β , découverte des familles radioactives par RUTHERFORD & SODDY, rayonnement γ (VILLARD), énigme de l'énergie lors de la désintégration β (BOHR puis PAULI);

3. Cette liste n'est pas nécessairement exhaustive, mais représente les thèmes abordés au cours des années par les élèves ou qui leur ont été suggérés. On évite cependant les sujets avec un ancrage scientifique limité ou trop hypothétiques (par exemple, univers parallèles), en expliquant s'ils sont proposés ce qu'est la *falsifiabilité* en sciences.

- **la théorie quantique remet en cause le modèle d'atome de RUTHERFORD** : travaux de PLANCK, EINSTEIN & BOHR, introduction de la notion de spin et conséquences, découverte du neutron suite aux travaux des JOLIOU-CURIE puis de CHADWICK, nouveau modèle du noyau ;
- **la découverte de l'antimatière** : travaux de DIRAC, première approche du rayonnement cosmique, chambre à brouillard et travaux d'ANDERSON, découverte du positon ;
- **une découverte qui remet tout en cause...** : découverte du muon (initialement sous l'appellation mésotron) dans la foulée des travaux ayant amené à celle du positon ;
- **de nouvelles particules prédites par la théorie... et observées!** : découverte des mésons π puis début du foisonnement de la physique des particules avec les accélérateurs.

Enfin, une septième séance permet aux élèves de mobiliser les connaissances acquises dans une fiche à trous de trois pages, qui vient apporter un éclairage transverse à cet historique, celui de la découverte (par HESS) et de l'étude du **rayonnement cosmique** (WILSON, COMPTON, ANDERSON, AUGER, LEPRINCE-RINGUET, POWELL). Un lien est fait avec les activités d'étude du rayonnement cosmique réalisées à l'atelier avec le matériel de Cosmos@École.

Une huitième et dernière séance est destinée à une restitution des connaissances sur un format différent du premier semestre : pour chaque fiche, des élèves par groupes de deux ou trois sont tirés au hasard et font un rapide résumé de la fiche (état des connaissances avant, observations nouvelles, interprétations possibles et celle retenue, en mentionnant évidemment les acteurs et actrices de ces faits). L'utilisation de diapositives est possible mais pas imposée (on a cependant vu certains groupes préparer des diapositives pour les 7 fiches et faire des exposés d'une qualité excellente, qui dépassaient dans leur contextualisation et chronologie le contenu des fiches).

1.2.2 S24 : Rôle et effets du champ magnétique

Séance expérimentale avec diverses installations autour du champ magnétique (non abordé dans les programmes actuels au lycée) :

- rappels sur le comportement des aimants ;
- observation des lignes de champs de divers aimants (droit, en « U ») et principe de la boussole ;
- étude qualitative de l'origine du champ magnétique : expérience d'ØRSTED. Champ magnétique créé par une bobine. Interaction aimant-bobine parcourue par un courant. Interaction entre deux bobines parcourues par un courant (bobines de LAPLACE). Discussion autour de l'origine des champs magnétiques dans les ferromagnétiques et du champ magnétique terrestre ;
- mesure du champ avec une sonde à effet HALL, notamment entre les bobines de HELMHOLTZ (en prévision de leur utilisation ci-après) ;
- expérience du rail de LAPLACE ;
- étude qualitative de la déviation d'une bille par un champ magnétique en fonction de différents paramètres. Le dispositif est une table en aluminium horizontale sur laquelle est placé un aimant droit vertical que l'on peut monter et descendre avec un vissage. La bille est lancée d'une certaine hauteur sur un rail incliné qui arrive sur le plan horizontal. Les élèves sont amenés à réaliser les essais de leurs choix pour conclure quant à l'influence de l'intensité du champ magnétique, de la vitesse de la bille, de sa masse et de sa nature sur la déviation de sa trajectoire sur la table horizontale ;
- déviation d'un faisceau d'électrons par un champ magnétique. Le matériel est constitué d'un canon à électrons dans une ampoule de verre à faible pression de vapeur de mercure, le tout est entouré de bobines de HELMHOLTZ. On peut faire varier la vitesse des électrons, la valeur du champ magnétique, la direction initiale des électrons.

L'ensemble de ces expériences permet de faire le lien avec les accélérateurs de particules, mais également de discuter des aurores boréales autour du dispositif dit « Planeterrella ». Celui-ci, sous cloche à vide, est constitué de deux sphères aimantées que l'on soumet à une différence de potentiel élevée. Au-delà d'une certaine tension, et en deçà d'une certaine pression les aurores boréales apparaissent et persistent. En modifiant

la nature de l'atmosphère (sous faible pression), les aurores boréales changent de couleur. C'est ainsi qu'en introduisant un petit morceau de glace carbonique, nous pouvons simuler les aurores boréales bleues de Mars.

Note : selon les effectifs, cette séance peut se faire en demi-groupe en parallèle de séance de la séquence suivante, afin de permettre une utilisation du matériel expérimental dans de bonnes conditions (temps par élève sur chaque poste).

1.2.3 S25 : Construction du modèle standard

La grande diversité des particules découvertes au cours de l'approche historique invite à essayer de les ranger dans des cases. Pour ce faire, on réalise lors d'un échange oral l'inventaire des **caractéristiques** mentionnées au cours des textes :

- la *masse* (ce qui permet de parler de la fameuse formule $\mathcal{E} = mc^2$ utilisée pour exprimer les masses des particules);
- la *charge*;
- le *spin*;
- l'*isospin* (si applicable);
- les interactions nucléaires qui s'appliquent (forte ou faible).

Les élèves sont alors invités à relever toutes les particules rencontrées, à leur attribuer une valeur pour chacune de ces caractéristiques, puis à essayer de faire des regroupements. Cela les amène naturellement au cours de leurs recherches à découvrir les termes *hadrons*, *bosons* et *fermions* en plus de ceux de *baryons*, *leptons* et *mésons* introduits au cours des fiches. Les *quarks* s'invitent également dans les discussions assez aisément. L'objectif de la séance est alors de savoir discerner les différentes familles, les particules qui en sont emblématiques et leurs caractéristiques principales.

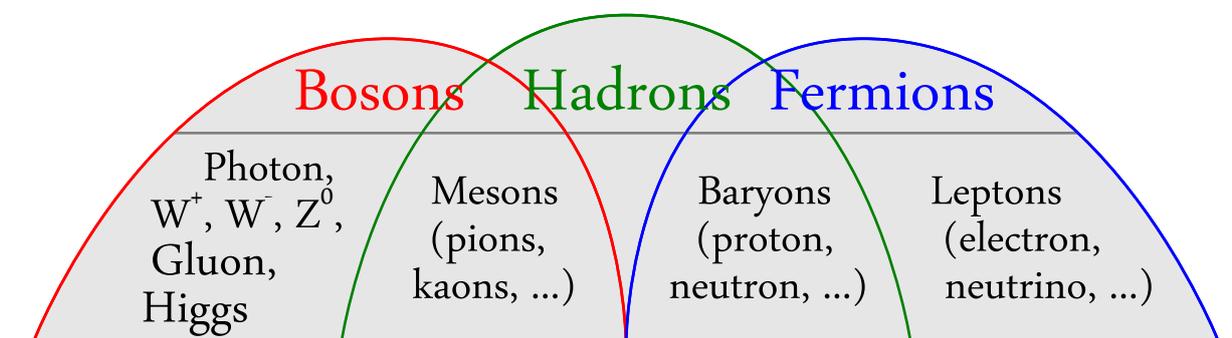


FIGURE I – Classification obtenue par les élèves lors de leur construction du modèle standard.

1.2.4 S26-29 : Physique des deux infinis aujourd'hui

Dans cette toute dernière partie, les élèves sont invités à préparer un exposé sur un sujet d'ouverture, typiquement parmi la liste (non-exhaustive suivante) :

- le **rayonnement solaire** : nature, vitesse, interactions avec la Terre (inclus aurores);
- le **rayonnement cosmique de l'Univers** : nature, origine et interactions avec la Terre;
- les **détecteurs du rayonnement cosmique** : l'effet CERENKOV, CTA, l'observatoire Pierre AUGER et les détecteurs de neutrinos — IceCube, Kamiokande, DUNE;
- les **accélérateurs de particules** : description et intérêt, principe de fonctionnement des accélérateurs linéaires et circulaires (pourquoi y a-t-il une succession d'accélérateurs de particule ?);
- utilisation de l'**hélium liquide** et des **supra-conducteurs** : pourquoi et en quelles quantités ?

- les **applications des accélérateurs de particules**;
- le **CERN : sa construction** (date, pourquoi, les objectifs, sa construction en pratique);
- l'**accident du CERN**, sa reprise, les objectifs;
- le **CERN : description, expériences réalisées**;
- le **détecteur ATLAS**;
- **AMS, commandé du CERN**;
- les **découvertes réalisées au CERN**;
- le **Futur Collisionneur Circulaire**.

Nombre de ces thèmes permettent de faire le **lien entre les thématiques de l'infiniment grand et celles de l'infiniment petit**, en particulier les sources de rayonnement extra-terrestre, mais aussi les détecteurs comme moyens d'observation. L'étude des accélérateurs permet d'ouvrir sur les thèmes explorés lors des voyages proposés les années suivantes dans le cadre de l'atelier.

Les exposés ont lieu sur deux séances pour permettre des présentations plus approfondies. L'efficacité gagnée par les élèves dans leurs démarches de recherche et de préparation de diapositives permet de faire tenir les deux sur autant de séances de préparation (les professeurs aidant les élèves dans leurs recherches en répondant aux questions précises que ceux-ci peuvent avoir pour se faire expliquer un point lié à leurs lectures).

1.3 Activités extra-horaires

L'épidémie de Covid a fortement impacté les activités prévues en supplément des heures en séances, malgré la forte motivation des enseignants à proposer de nombreuses activités aux élèves :

- annulation du voyage scientifico-culturel prévu en 2020 à la dernière minute : visite de nombreux laboratoires et installations à Lyon (LMA, LP2I...), Grenoble (ESRF, IPAG/OSUG, LNCMI), Modane (LSM), Annecy (LAPP) et Genève (CERN/LHC). Cette activité sera reprise en 2023;
- impossibilité de faire une sortie à l'observatoire des Makes pour les deux premières promotions, mais effectuée dès la réouverture en 2022;
- difficultés à faire venir des chercheurs de métropole.

Les élèves sont tenus régulièrement au courant des activités de l'atelier pour ceux qui n'y viennent pas régulièrement, et ont la possibilité de venir ponctuellement sur des événements.

1.3.1 Observations astronomiques

En s'appuyant sur les connaissances acquises dès les premières séances de l'option, nous proposons aux élèves volontaires de faire quelques observations astronomiques nocturnes.

Nous utilisons notamment du matériel de « Sciences à l'École » fourni via le dispositif « Astro@École » (Géoptic 150/1000, Caméra ZWO ASI120mm-S, Appareil photo Canon EOS 1200D, Oculaires 13 et 31 mm), mais aussi du matériel appartenant au lycée, gagné à l'occasion d'un concours en partenariat avec l'atelier cinéma du lycée dans le cadre du « Festival du Film Scientifique » (PERL 200/1000, oculaire 8-24 mm) et du matériel personnel (Konosky-200).

Nous organisons aussi des sorties lors de phénomènes particuliers, tels que le transit de mercure le 11 novembre 2019. Nous avons aussi invité les élèves de l'option à participer avec ceux de l'atelier à une sortie pédagogique à l'observatoire astronomique des Makes, pour un programme nocturne et diurne.

1.3.2 Fête de la Science

La Fête de la Science est une occasion rêvée pour les élèves de l'option de restituer leurs connaissances théoriques et observationnelles sur le Soleil ainsi que le système solaire, thèmes abordés depuis le début de l'année.



FIGURE 2 – Installations lors du transit de Mercure.

Ainsi, ils présentent chaque année un stand à cet effet aux côtés de leurs camarades de l'atelier (qui eux présentent des expériences de supraconductivité par exemple), parfois lors de la Journée de l'Innovation comme en 2020, ou celle de l'*International Cosmic Day* comme en 2021 (où les élèves de l'atelier présentent les résultats obtenus sur l'étude des flux de muons cosmiques).

Ils organisent également à cette occasion des visites guidées du modèle réduit du système solaire implanté sur le terrain du lycée pour les autres élèves de l'établissement ainsi que des élèves d'établissements extérieurs (*e.g.* classes de 4^e et 3^e du collège Joseph BÉDIER de Saint-André en 2019 et 2021, participant à un atelier scientifique au sein de leur établissement sous la responsabilité de Mme Yasmine CLAIN).



(a) Stand d'observations et d'explications sur le Soleil.

(b) Visite guidée du modèle réduit du système solaire.

FIGURE 3 – Activités menées par les élèves volontaires de l'option lors des journées de Fête de la Science.

En 2021, quelques élèves ont même eu le privilège de présenter leurs travaux devant Madame la Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Mme Frédérique VIDAL.

1.3.3 Accueil de chercheurs

Le mercredi 6 novembre 2019 a eu lieu la journée internationale du rayonnement cosmique organisée par le laboratoire DESY situé près de Dresde en Allemagne, et ses partenaires. L'atelier des deux infinis y participait pour la troisième année consécutive, mais pour la première année avec des élèves de l'option et dans l'amphithéâtre cette fois, ce qui a permis de réaliser en un même lieu la mesure, des exposés, la

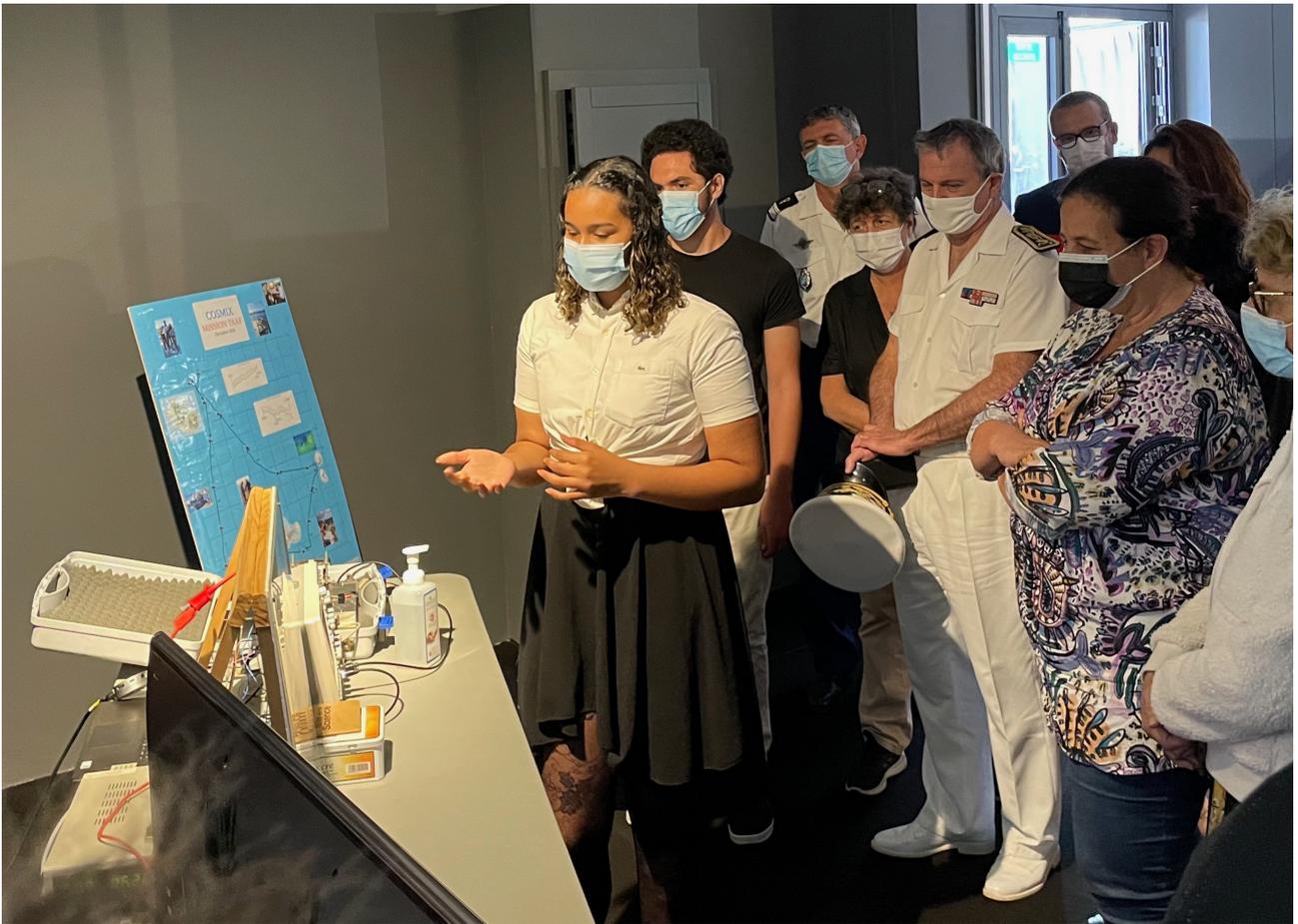


FIGURE 4 – Une élève de l'option et de l'atelier présente nos projets à Madame la Ministre.

vidéoconférence et de proposer également au public une conférence très appréciée, grâce à l'amabilité et la disponibilité de Matthieu RENAUD, astrophysicien au CNRS vivant à La Réunion, et fidèle soutien de l'activité de l'atelier des deux infinis.

Le 13 novembre 2019, c'est devant un public nombreux, plus de 230 élèves et professeurs, de différentes classes et niveaux des filières générales et technologiques, et parmi eux des élèves des lycées partenaires, de l'option de seconde « physique des deux infinis » et de l'atelier, que Jean-Marc BONNET-BIDAUD, après avoir rappelé les concepts de base concernant la lumière, a exposé son « odyssée » depuis le cœur du Soleil jusqu'aux phénomènes à l'origine du développement de la vie sur Terre. Il a ensuite pris le temps de répondre précisément et en détail aux nombreuses questions qui lui ont été posées, notamment sur la fin de vie des étoiles, domaine dont il est un spécialiste, et notamment l'évolution des plus massives d'entre elles au stade d'étoiles à neutrons ou de trous noirs, qui fascinent l'auditoire.

Le 10 novembre 2021, à l'occasion du village scientifique dans le cadre de la Fête de la Science, puis à l'occasion de notre cinquième participation à l'*International Cosmic Day*, nous avons eu le plaisir de recevoir Emeric LE FLOC'H, astrophysicien au CEA. Il a été très attentif à la présentation des élèves, faite par deux élèves de l'option (dont une étudiante allemande en échange scolaire) et un de l'atelier, puis nous a ensuite exposé une partie de ses activités professionnelles. Ce fût un moment privilégié d'échanges avec les élèves et les enseignants.

Nous connaissons Jean LILENSTEN depuis notre premier voyage « au cœur des deux infinis » en 2016. Il nous a accueilli à deux reprises dans son laboratoire de Grenoble, où nous avons suivi sa description et ses manipulations de son expérience historique « la planetterella » jusqu'à observer les aurores boréales bleues de Mars ! En décembre 2021, Nous avons eu la joie et l'immense honneur de le recevoir, à notre tour, dans



FIGURE 5 – Visite du chercheur CNRS/LUPM en astrophysique Matthieu RENAUD.

l'amphithéâtre du lycée. Jean LILENSTEN nous a présenté une conférence d'un niveau exceptionnel, s'adressant à fois à des collégiens, des lycéens et des étudiants de classe préparatoire.

Enfin, le premier juin 2022, Roland LEHOUCQ, astrophysicien au CEA, nous a fait une présentation sur la démarche scientifique en physique et son application à tout un tas de phénomènes, réels ou de science-fiction.

Nous soulignons enfin que la pandémie nous a privés de recevoir des chercheurs durant l'année scolaire 2020–2021.

2 Évaluation

2.1 Apprentissage des élèves

Le premier acquis des élèves est évidemment l'ensemble des connaissances présentées dans les parties précédentes, mais les apprentissages par les élèves au cours de cet enseignement optionnel sont multiples et bien plus larges que les seuls contenus scientifiques :

- travail en autonomie, utilisation des ressources informatiques et bibliographiques, vérifications des informations, développement d'un esprit critique et de synthèse;
- travail en groupes de tailles variables (en binôme ou trinôme essentiellement, mais également à plus grande échelle lors de la mise en commun des résultats de recherche et l'agencement des présentations);
- progrès indéniables à l'oral : mise en page et pertinence des contenus d'un diaporama, posture face à l'auditoire;
- manipulations d'instruments d'observation, sécurité pour l'observation du Soleil;
- restitution des savoirs en mobilisant les compétences oratoires développées par l'animation de stands dans différentes actions éducatives.

Une grande partie de ces compétences seront fortement réinvesties dans la préparation et la présentation du Grand Oral en terminale, et seront utiles aux étudiants bien au-delà dans toute leur carrière.

2.2 Parcours des élèves

Concernant les effectifs : l'ouverture de l'option a conduit la première année à des déplacements dans les collèges du bassin afin de présenter celle-ci. Cela n'a pu être réédité en 2020 et 2021 pour cause de contraintes sanitaires, et fut remplacé par un stand aux journées d'inscription avec un impact plus faible. Des présentations dans les collèges sont de nouveau prévues cette année dans la perspective d'un renouvellement de l'expérimentation.

L'option a néanmoins connu une fréquentation élevée, sur les trois années il y a eu un nombre d'élèves suffisant pour constituer deux groupes — même si de manière marginale pour les deux dernières, en lien avec le point ci-dessus.

Cette option attire beaucoup de filles (55% de l'ensemble des effectifs), ce qui est notable pour un enseignement de physique. Une très large majorité des élèves poursuit en filière générale avec des spécialités scientifiques, et même une prédominance du couplage mathématiques/physique–chimie (notamment en terminale pour la seule promotion où ces statistiques sont disponibles) par rapport aux statistiques académiques (où le couplage physique–chimie/svt est plus fréquent).

Le taux de conversion vers l'atelier est aux alentours du tiers des élèves si on exclut la première année particulièrement impactée par les effets de la pandémie, ce qui montre à la fois que l'option s'adresse à un public en partie différent (même s'il ne faut pas négliger la mise en concurrence avec les autres ateliers le mercredi après-midi), et à la fois qu'il y a une appétence chez une partie des élèves pour continuer sur ces thématiques.

Les trois sous-parties suivantes détaillent les statistiques par promotion.



FIGURE 6 – Promotion 2019–2020.

2.2.1 2019–2020

3 élèves suivaient l'atelier en même temps mais n'ont pas poursuivi. L'annulation du voyage prévu en mars 2020 et le confinement ont eu un effet très délétère sur la conversion de l'option vers l'atelier.

	Effectif	Première générale					STL	STI2D	NC
		M	PC	SI	SVT	Autres			
Filles	19	12	12	2	10	9	1	0	3
Garçons	9	7	5	2	3	7	0	0	1
Total	28	19	17	4	13	16	1	0	4

TABLE 1 – Poursuite après l'année de seconde des élèves de la promotion 2019–2020. Les informations non-communiquées correspondent à des élèves ayant quitté l'établissement après l'année de seconde.

	Effectif	M	PC	SI	SVT	ME	MC	Autres	NC
Filles	15	6	7	0	6	3	3	5	6
Garçons	8	5	1	0	2	0	0	4	4
Total	23	11	8	0	8	3	3	9	10

TABLE 2 – Spécialités conservées (et éventuelles options mathématiques) en Terminale par les élèves de la promotion 2019–2020 ayant préalablement poursuivi en Première générale.

Note : les 5 élèves pour lequel-le-s l'information n'est pas disponible faisaient toutes et tous Mathématiques et Physique–Chimie en 1^{re}, avec soit SI (3) soit SVT (2).

2.2.2 2020-2021

8 suivaient l'atelier en même temps, 6 ont continué.

	Effectif	Première générale					STL	STI2D	NC
		M	PC	SI	SVT	Autres			
Filles	10	7	7	0	4	12	0	0	0
Garçons	9	7	7	2	3	5	0	1	0
Total	19	14	14	2	7	17	0	1	0

TABLE 3 – Poursuite après l'année de seconde des élèves de la promotion 2020–2021.

2.2.3 2021-2022

3 suivent l'atelier en même temps et comptent poursuivre l'an prochain, ainsi que 4 autres qui comptent rejoindre l'atelier. Deux étudiantes allemandes en échange au lycée ont participé à l'option (une au S1, l'autre au S2).

2.3 Pratique des enseignants

L'enseignement de ce cours d'option et l'encadrement de ses activités annexes pousse les enseignants à développer leurs connaissances en physique de l'infiniment grand (astronomie, astrophysique) et de l'infiniment petit (physique des particules), à se maintenir au courant des dernières découvertes dans ces domaines et à se pencher sur l'histoire des sciences ainsi que la construction des savoirs. Ce module permet également la mise en place de pratiques d'évaluation différentes de celles traditionnellement utilisées en cours de physique–chimie.

Il est aussi remarquable que l'initiative de créer l'option des deux infinis a également été très fortement encouragée par le CNRS, et précisément l'*Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules*

	Effectif	Première générale					STL	STI2D	NC
		M	PC	SI	SVT	Autres			
Filles	8	4	4	0	1	9	0	0	2
Garçons	12	11	10	2	9	4	0	0	0
Total	20	15	14	2	10	13	0	0	2

TABLE 4 – Poursuite après l’année de seconde des élèves de la promotion 2021–2022. Les deux élèves pour lesquelles l’information n’est pas communiquée sont des étudiantes allemandes qui étaient en échange (une à chaque semestre) et ont décidé de participer à l’option (l’une avec sa correspondante, l’autre sans).

(IN2P3), avec qui les enseignants du lycée ont des contacts soutenus et très réguliers, notamment avec Nicolas ARNAUD, chargé de mission « éducation » à la cellule communication, et Laurent SERIN, parrain de l’atelier, tous deux chercheurs au *Laboratoire de l’Accélérateur Linéaire* (LAL) à Orsay.

3 Perspectives

L’équipe enseignante souhaiterait un renouvellement de l’expérimentation puis sa pérennisation au niveau national. Le renouvellement servirait alors élargir les thèmes explorables dans le cadre de cette option, puis à synthétiser les contenus pédagogiques sous la forme d’une proposition de programme officiel, ainsi qu’à prospecter les réseaux de physique des deux infinis au niveau national pour étudier la possibilité d’une dissémination de l’option.

3.1 Rédaction d’un programme officiel

L’idée est de produire un programme dont la forme soit intermédiaire entre celle de l’option sciences de laboratoire et celles des programmes d’enseignements généraux (Physique–Chimie, Enseignement Scientifique), mais avec des thèmes portés sur la physique des deux infinis et des objectifs et moyens d’évaluation correspondant à ceux décrits dans ce bilan, ainsi que des suggestions concernant le découpage en semestre et les approches méthodologiques préférentielles pour chaque thématique, tout en laissant une liberté pédagogique aux enseignants qui proposeraient le cas échéant cette option.

3.2 Dissémination de l’option au niveau national

Il s’agit de s’appuyer sur les réseaux d’enseignants (Sciences à l’École, ateliers de l’IN2P3...) à même de proposer une telle option dans leur établissement afin de quantifier l’intérêt des collègues pour celle-ci et de faire un état des lieux des lycées déjà équipés en matériel, en particulier via les programmes Astro@École et Cosmos@École qui coïncident parfaitement à la philosophie des deux semestres mis en place.

Conclusion

Malgré quelques difficultés rencontrées (pandémie et ses impacts, mutation d’un des porteurs de projet au terme de la première année, remplacé uniquement lors de la dernière), le développement de l’option de « Physique des deux infinis » en seconde nous semble être un grand succès, qu’il est important de poursuivre et étendre à plus grande échelle.