

MOOC "Voyages de l'infiniment grand à l'infiniment petit"

Un MOOC "Voyages de l'infiniment grand à l'infiniment petit", à destination des lycéens et de leurs enseignants, va être lancé à la mi-février. Faisant appel aux chercheurs et ingénieurs des laboratoires de physique fondamentale du Labex P2IO, il est réalisé grâce au plateau de télévision et aux services audiovisuel et e-learning de l'École polytechnique. Ce MOOC vient en complément de plusieurs initiatives existant à l'heure actuelle pour développer l'intérêt des lycéens scientifiques et de leurs enseignants pour la physique fondamentale.

En effet, parmi les nombreux outils dont disposent les enseignants de lycée dans ce domaine, certains sont très efficaces, mais s'adressent à un nombre d'élèves ou de classes relativement restreint. C'est le cas par exemple des « Masterclasses de physique des particules », des opérations « Cosmos à l'école » ou « Astro à l'école », ou encore des sessions de formation (inscrites ou non aux PAFs académiques) organisées par le CNRS/IN2P3, le CEA, ou le CERN.



Couverture de la 2ème édition du Passeport pour les deux infinis

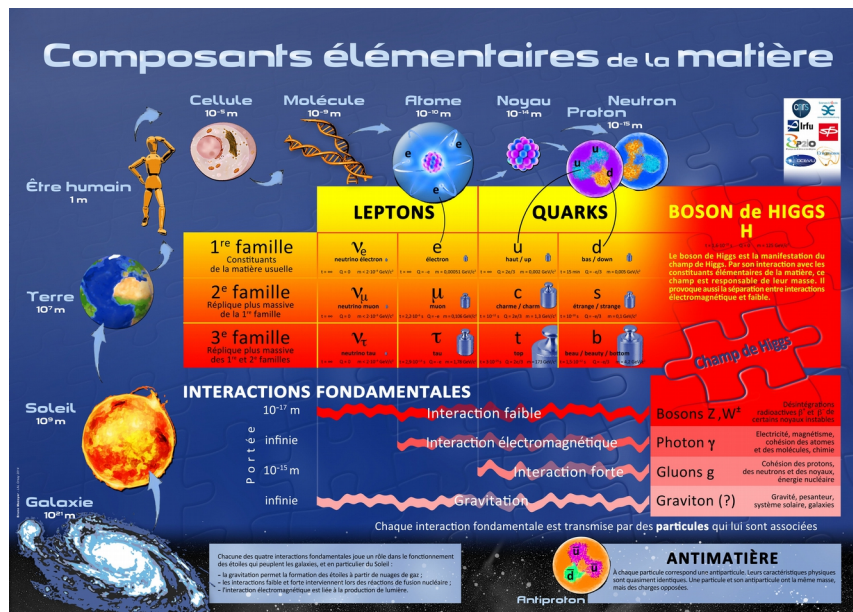
D'autres actions, telles que la diffusion d' « Affiches des constituants élémentaires »,

<http://www.particuleselementaires.fr>

les livres « Passeports des deux infinis »

<https://pass2i.lal.in2p3.fr>

les conférences dans les lycées (l'ancien programme « Noyaux Et Particules Au Lycée » de l'IN2P3), s'ils touchent un nombre plus élevé d'établissements, correspondent cependant à des moyens de diffusion plus classiques, assez peu visibles de nos jours dans le flot d'informations que reçoivent les élèves. Dans ce contexte, le MOOC apparaît donc comme un outil idéal pour toucher un grand nombre d'établissements et d'élèves de façon attractive pour le public visé.



Affiche des constituants élémentaires de la matière

Ce MOOC s'inspire en termes de concept du MOOC "Des particules aux étoiles" proposés aux étudiant.e.s de l'Ecole Doctorale PHENIICS (Particules, Hadrons, Énergie, Noyau, Instrumentation, Imagerie, Cosmos et Simulation, Paris-Saclay) :

<https://www.fun-mooc.fr/courses/ParisSaclay/71001/session01/about>

Les deux MOOCs diffèrent toutefois très fortement en termes de contenu et de style, du fait de leurs cibles très éloignées : le secondaire dans un cas, le niveau master dans l'autre.

Description

Le MOOC « Voyage de l'infiniment grand à l'infiniment petit » se compose de quatre parcours de dix modules chacun, présentant quatre axes thématiques, dont voici un aperçu :

- **Modules « P »** : L'infiniment petit (aspects théoriques et expérimentaux) : structure de la matière à petite échelle, le Modèle Standard de la physique des particules et des interactions fondamentales, les expériences actuelles dans ce domaine et le futur de cette recherche ;
- **Modules « G »** : L'infiniment grand (aspects théoriques et expérimentaux) : structure de la matière à grande échelle, histoire et composition de l'Univers, moyens actuels d'observation des différentes particules et des rayonnements en provenance de l'espace, expériences futures ;
- **Modules « L »** : Les liens entre les « deux infinis » : concepts théoriques communs et méthodes observationnelles similaires à ces deux domaines de la physique, la physique des particules et des noyaux à l'œuvre dans les phénomènes cosmiques ;
- **Modules « A »** : Les applications et les liens avec la société : les métiers nécessaires et les façons de conduire ces recherches, les retombées et applications d'intérêt général de ce domaine scientifique, les techniques émergentes et applications futures.

Chaque séquence a une durée d'environ 7 à 10 minutes, et comporte des illustrations et des animations accompagnant l'exposé. Le détail des 40 séquences est présenté à la fin de ce document. Plusieurs parcours sont possibles à travers l'ensemble des séquences, non seulement les quatre parcours linéaires correspondant aux quatre modules thématiques présentés, mais aussi des parcours

plus « transverses ». Une quinzaine d'orateurs et d'oratrices (cf ci-dessous) intervient en couvrant plusieurs séquences de différents modules, pour insister sur les passerelles existant entre les différentes thématiques de nos disciplines. Les orateurs proviennent de laboratoires du Labex P2IO en relation avec les thèmes abordés.

Chaque bloc de deux ou trois modules se termine par un test de type « QCM » pour garantir que les étudiant.e.s ont bien assimilé les concepts avant de poursuivre. Des documents pédagogiques et des liens seront également fournis pour les participants ayant envie d'en savoir plus.

Les séquences ont été enregistrées sur le plateau technique de l'École polytechnique avec le soutien de l'équipe technique. Un graphiste indépendant assure l'illustration du MOOC.



La bannière du parcours "Infiniment petit" avec l'astronaute qui accompagne l'étudiant.e dans son exploration des deux infinis

Objectifs pédagogiques

Envers les enseignants

Ce MOOC pourra servir de plate-forme pour l'enseignement dans les classes de lycées, dont le programme recouvre des notions fortement liées à nos disciplines (relativité restreinte, mécanique quantique, radioactivité...). Un dispositif d'évaluation simple (sous forme de QCM) permettra aux participants du MOOC d'évaluer leur progression. Des supports pédagogiques complémentaires seront fournis aux enseignants afin de leur proposer des documents reliant le MOOC aux programmes de lycée, ou pour l'exploiter dans le cadre de TPE/TIPE.

Envers les élèves

L'objectif direct envers les élèves n'est pas tant de leur apporter des compétences ou des connaissances, mais plutôt de susciter et développer la curiosité et l'intérêt des adolescents pour la physique au moment où ceux-ci s'interrogent sur leurs choix d'étude. Dans le cadre de travaux personnels (type TPE ou TIPE), ils pourront également trouver dans le MOOC des informations complémentaires liées à leur recherche, et un ensemble de liens institutionnels et fiables qui font parfois défaut dans ce type de travaux.

Porteurs du projet

Le projet de MOOC est porté par des chercheurs de laboratoires appartenant au LabEx P2IO (Laboratoire d'Excellence Physique des 2 Infinis et des Origines), un réseau de laboratoires du triangle Orsay-Saclay-Palaiseau explorant l'infiniment petit comme l'infiniment grand

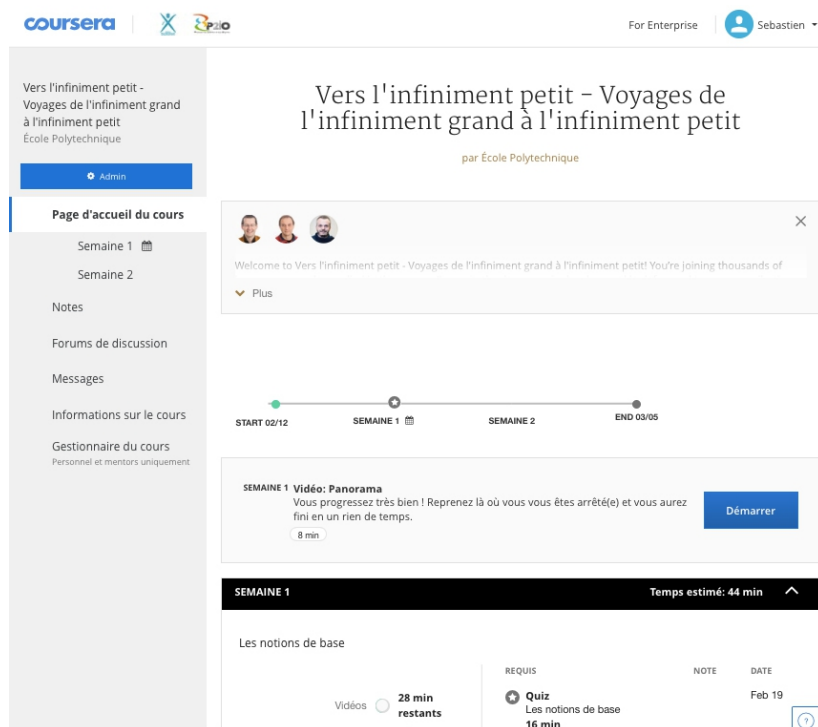
<http://www.labex-p2io.fr/index.php>

Les quatre personnes impliquées dans ce « comité éditorial » sont : N. Arnaud (LAL), S. Descotes-Genon (LPT), O. Drapier (LLR) et P. Schune (IRFU/CEA).

Le MOOC est réalisé en co-production entre le département « e-learning » de l'École polytechnique et le LabEx P2IO.

Diffusion du MOOC

Le MOOC sera mis à la disposition du public par une exploitation sur la plateforme Coursera (<https://fr.coursera.org>), qui permet de conserver l'accès aux séquences de façon pérenne après la date de première diffusion. Le premier parcours (infiniment petit) sera diffusé à partir de la mi-février, à raison d'un bloc de 2-3 modules par semaine, sur une durée totale d'un mois. Les 3 autres parcours seront mis à disposition de façon séquentielle (un par mois).

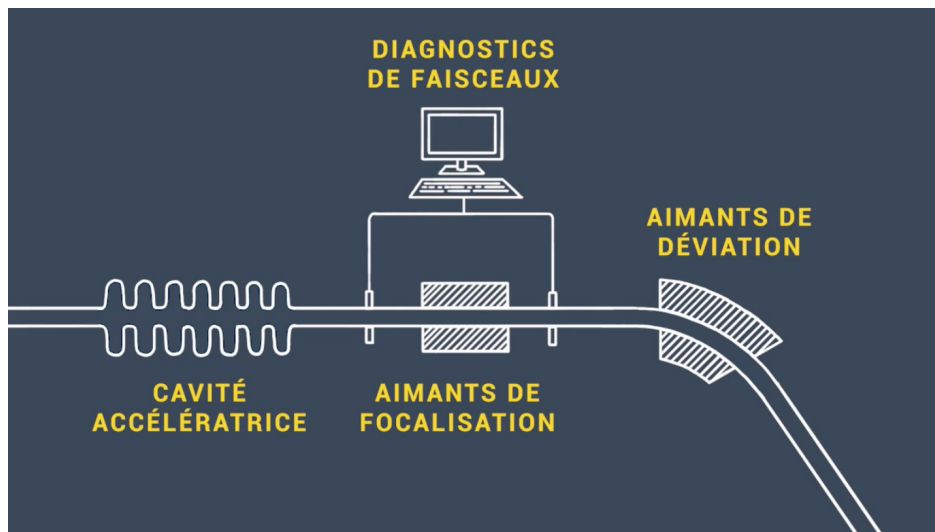


The screenshot displays the Coursera interface for the course "Vers l'infiniment petit - Voyages de l'infiniment grand à l'infiniment petit" by École Polytechnique. The page includes a navigation sidebar on the left with options like "Page d'accueil du cours", "Semaine 1", "Semaine 2", "Notes", "Forums de discussion", "Messages", "Informations sur le cours", and "Gestionnaire du cours". The main content area shows a welcome message, a progress bar indicating the course start on 02/12 and end on 03/05, and a section for "SEMAINE 1" with a "Vidéo: Panorama" (8 min) and a "Quiz Les notions de base" (16 min). A "Démarrer" button is visible next to the video.

Page d'entrée du Parcours "Infiniment Petit"

Un site internet spécifique sera également créé à terme pour apporter aux enseignants les liens ou les documents pédagogiques facilitant l'exploitation du MOOC dans le cadre de leurs programmes d'enseignement.





*Deux extraits des modules
"Les interactions fondamentales" et "Les accélérateurs de particules"*

Orateurs

- Elias Khan Physicien à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (IPNO, Univ. Paris-Sud/CNRS-IN2P3)
- Esther Ferrer-Ribas Physicienne au Département d'Électronique des Détecteurs et d'Informatique pour la Physique (DEDIP, CEA-Irfu)
- Jean Duprat Physicien au Centre des Sciences Nucléaires et Sciences de la Matière (CSNSM, CNRS-IN2P3/Univ. Paris-Sud)
- Jihane Maalmi Ingénieure au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL, CNRS-IN2P3/Univ. Paris-Sud)
- Julie Malclès Physicienne au Département de Physique des Particules (DPhP, CEA-Irfu)
- Marc Sauvage Physicien au Département d'Astrophysique (DAp, CEA-Irfu)
- Michel Jouvin Ingénieur au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL, CNRS-IN2P3/Univ. Paris-Sud)
- Nabila Aghanim Physicienne à l'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS, Univ. Paris-Sud/CNRS-INSU)
- Nathalie Palanque Delabrouille Physicienne au Département d'Astrophysique (DAp, CEA-Irfu)
- Sébastien Bousson Physicien à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (IPNO, CNRS-IN2P3/Univ. Paris-Sud)
- Sébastien Descotes-Genon Physicien au Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay (LPT, CNRS-INP/Univ. Paris-Sud)
- Sébastien Jan Physicien au Service Hospitalier Frédéric Joliot de la Direction de la Recherche Fondamentale (CEA)
- Sébastien Procureur Physicien au Laboratoire de Structure Nucléaire (CEA-Irfu)
- Stéphanie Baffioni Physicienne au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR, X/CNRS-IN2P3)
- Thomas Mueller Physicien au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR, X/CNRS-IN2P3)
- Yann Mambrini Physicien au Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay (LPT, CNRS-INP/Univ. Paris-Sud)
- Yasmine Amhis Physicienne au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL, CNRS-IN2P3/Univ. Paris-Sud)

ANNEXE : Table des séquences

Infiniment petit

P1. Panorama

- [Distance \aleph , énergie \aleph ; différentes disciplines
- [Panorama historique – découvertes
- [« animations » de la nouvelle affiche des composants élémentaires
- [Ordre de grandeur et unités

P2. Atome, noyau, quark

- [mise en évidence des atomes, de l'électron, du noyau atomique
- [composition en proton et neutron, tableau de Mendeleïev
- [stabilité et instabilité des noyaux radioactifs
- [la radioactivité beta et les quarks
- [composition des protons et neutrons en quarks

P3. $E=mc^2$ et alors ?

- [énergie de masse et illustration : fission et fusion de noyaux, création de nouvelles particules
- [physique des particules relativiste par nature
- [découverte de l'antimatière
- [propriétés : charges, création et annihilation de paires

P4. Les interactions fondamentales

- [les quatre forces fondamentales
- [les bosons vecteurs, illustration avec le photon

P5. Le modèle standard

- [structure du tableau (quarks et leptons, bosons vecteurs) et leur répétition
- [rôle particulier du boson de Higgs dans le Modèle Standard -- et sa découverte
- [les réussites du Modèle Standard

P6. Les accélérateurs de particules

- [créer de nouvelles particules par des collisions d'énergie très élevées
- [principes généraux des accélérateurs de particule (aimants pour accélérer et dévier, paquets)
- [illustration avec des accélérateurs passés (LEP, Tevatron, LHC)

P7. Voir ou ne pas voir

- [Deux chemins : relativité (production directe) ou mécanique quantique (production indirecte)
- [Qu'est-ce qu'une observation dans chacun des deux cas ?
- [Complémentarité

P8. Détecter les particules

- [Exemple du LHC (CMS + animation ATLAS montrant le passage des particules à travers des différentes couches de détecteur)
- [Les étapes d'une analyse
- [La notion d'incertitude
- [L'accumulation de données
- [La comparaison entre théorie et expérience (?)

P9. LHC

- [Rappel rapide de ses principales caractéristiques (collisionneur + détecteurs), déjà vues dans les cours précédents
- [Résultats du Run 1
- [Long Shutdown 1
- [Début du Run 2
- [Perspectives à plus long terme / que faire après le LHC !?

P10. Avenir

- [Au-delà du MS : quelques raisons pour vouloir étendre le Modèle Standard, en particulier l'unification des forces et l'introduction de la gravité
- [le jeu pour des théories au-delà du Modèle Standard
- [Projets futurs: ILC, super LHC
- [Connexions avec infiniment grand

Infiniment grand

G1. Panorama

- [Echelles de distance : année lumière, distances caractéristiques – Terre-Lune, Terre-Soleil, système solaire, étoile la plus proche, galaxie, âge/taille de l'Univers
- [Structures de l'Univers
- [Dilatation de l'espace-temps
- [Voir loin c'est voir dans le passé
- [Composition de l'Univers

G2. Lumière et autres messagers

- [Les différents messagers (photons, particules chargées, neutrinos)
- [Les gammes d'énergie associées aux différents phénomènes
- [Les outils d'étude : télescopes versus ballons versus satellites

G3. Étoiles

- [Fonctionnement d'une étoile : astro et nucléaire
- [Vie et mort d'une étoile

G4. Forces

- [L'électromagnétisme
- [La gravitation -- + la relativité générale

G5. Structures

- [Structuration en galaxies, amas de galaxies, superamas de galaxie
- [Etudes expérimentales de cette structuration
- [Simulations

G6. Histoire de l'Univers

- [Big-bang, inflation, transitions, âges sombres, premières étoiles, grandes structures
- [Expansion de l'Univers, et accélération de cette expansion

G7. Composition de l'Univers

- [CMB + supernova surveys
- [Composition énergétique de l'Univers
- [Matière noire et énergie noire

G8. Satellites

- [Les limites des télescopes terrestres
- [Les défis de l'observation dans l'espace
- [Illustration avec Planck

G9. Tests de la relativité générale

- [Pulsars et trous noirs
- [Lentilles gravitationnelles
- [Ondes gravitationnelles
- [Expériences associées (Virgo...)

G10. Futur

- [Questions théoriques en suspens (matière noire, énergie noire, grandes structures de l'Univers)
- [Quelques exemples: LSST, Euclid (énergie et formation des structures), Athena, JWST

Liens

L1. Introduction

- [Bref retour sur l'infiniment petit
- [Bref retour sur l'infiniment grand
- [Domaines aux deux extrémités de l'échelle des longueurs : (taille de l'univers observable) / (limite supérieure sur les dimensions des particules élémentaires) = 10^{26} m / 10^{-18} m = 10^{44}
- [Liens : antimatière, matière noire, collisions
- [recréer en laboratoire des conditions « proches » de celle du Big-bang, astroparticules
- [Liens entre les labos/instituts qui étudient ces grands domaines de la science

L2. Photons et lumière

- [Domaines d'énergie, phénomènes caractéristiques
- [Importance dans les deux domaines
- [Fermi, HESS/CTA, LSST, Planck
- [Sources, mécanismes d'émission / d'accélération

L3. Matière/antimatière

- [Antimatière créée en laboratoire, détectée dans les cosmiques
- [Absence d'antimatière en quantité importante dans l'Univers
- [Différences matière/antimatière au niveau infiniment petit
- [Pistes, expériences futures

L4. Matière noire

- [Observations au niveau « infiniment grand »
- [Particules massives encore inconnues
- [Recherche directe dans les accélérateurs – notamment au LHC
- [Expériences de détection directe – difficultés associées, zoom sur le LSM

L5. Univers primordial

- [Remonter l'évolution de l'Univers « vers » le Big-bang.
- [Collisions entre ions lourds, QGP, RHIC, ALICE

L6. Rayons cosmiques

- [Sources de rayons cosmiques
- [Spectre en énergie
- [Etude : AUGER, AMS, Ballons...

- [Mécanisme accélérateurs

L7. Concepts théoriques communs

- [Relativité et mécanique quantique
- [Symétrie, Unification des forces
- [Papier-crayon, mais aussi calculs analytiques par ordinateur et numériques
- [Simulations de grande échelle, superordinateurs...

L8. Méthodes expérimentales communes

- [Mêmes messagers, échelles similaires en énergie
- [Une ou deux illustrations de méthodes ayant migré d'une discipline vers l'autre
- [Électronique / traitement du signal et transport de l'information.

L9. Neutrinos

- [Neutrinos : Propriétés, types de neutrinos
- [Questions ouvertes
- [Détection et difficultés associées – très faible interaction avec la matière
- [Expériences (LEP, oscillations, « 2beta-neutrinoless decay », neutrinos cosmiques) : progrès des derniers 15 ans, futur

L10. Nucléosynthèse

- [Réactions nucléaires : en laboratoire mais aussi dans les étoiles
- [Nucléosynthèse primordiale
- [Abondance dans les différents éléments

Interfaces et applications

A1. Introduction

- [Recherche fondamentale [avancée de la connaissance
- [Importance dans l'évolution de l'humanité et pour son présent/futur
- [Développements technologiques associés [retombées pour la société : immédiates/à long terme, attendues/inattendues
- [Quelques exemples : web, grille / « Big Data », imagerie, radiothérapie, nucléaire civil, GPS
- [Manpower important, diversité des métiers/compétences, contrats industriels (acquisition de nouveaux savoir-faire + production en grande série)

A2. Grandes collaborations

- [Evolution des tailles au cours du temps
- [Motivations pour ce changement : ressources financières, manpower, compétences, impossibilité pour un pays (une région du monde) seul(e) de gérer de tels projets
- [Une expérience = un « appareillage » unique, à la fois prototype et détecteur construit pour fonctionner dans la durée
- [Sociologie : comment fonctionne une expérience avec un grand nombre de centres éparpillés (discussions ? approbation des résultats ? publications ?)

A3. Métiers de la recherche

- [Métiers de la recherche : grande diversité de disciplines (électronique, cryogénie...), et de profils (chercheurs, mais aussi ingénieurs, techniciens...)
- [Organisation du monde de la recherche

A4. Énergie nucléaire

- [Principe de la fission, de la fusion

- [Réacteurs actuels et prochaine génération
- [ITER

A5. Web/grille/big data

- [Nécessité d'échanger des données en quantité
- [Mise en place de réseaux : internet, grille (structure actuelle)

A6. Rayonnement synchrotron

- [Principe du rayonnement synchrotron
- [Applications (Soleil)

A7. Médical

- [Techniques d'imagerie
- [Radiothérapie
- [Hadronthérapie

A8. GPS

- [Principe de base
- [Corrections relativistes

A9. Electronique

- [Diode et transistor
- [Applications dans la vie courante
- [Applications en physique des deux infinis

A10. Techniques émergentes et applications futures

- [Détection de neutrinos
- [Volcans en muographie
- [Surveillance de matières radioactives