



Compte rendu Réunion des centres de préparation aux IPhO

6 novembre 2017



Affaire suivie par
Claire MONDANGE

Téléphone
01 40 51 23 27

Courriel
claire.mondange@obspm.fr

Observatoire de Paris
61 avenue de l'Observatoire
75014 Paris

science.ecole@obspm.fr
+33 1 40 51 21 49
+33 1 40 51 20 48

Présents

Christophe ANDRE, Anne-Emmanuelle BADEL, Nicolas BILLY, Claire BONNOIT-CHEVALIER, Antoine BRICARD, Valérie BROMONT, Christian BRUNEL, Gaëtan CALDARA, Béatrice CANTET, Sylvie CHAMPAULT, Julien COURTEAUD, Élodie GEGO, Hervé GEORGE, Pascal GONDRE, Pierre JAMONNEAU, Bruno JEAUFFROY, Lyes KIOUS, Blandine LAUDE-BOULESTEIX, Arnaud LE DIFFON, David LEGRAND, Nadège LESUEUR, Mickaël LOIRE, Claire MONDANGE, Sylvie NARDY, Matthieu QUÉVAL, Jacques RANDRIA, Nicolas SCHLOSSER.

Excusés

Christophe BOISSELEAU, Olivier BURIDANT

La réunion débute à 10h sous la présidence de Bruno JEAUFFROY et en présence de Jean-Yves DANIEL, doyen honoraire de l'inspection générale de l'éducation nationale.

Ordre du jour

Matin

Mot d'accueil

Bruno JEAUFFROY

Bilan de l'année 2016 - 2017

IPhO 2017 à Yogyakarta

Claire BONNOIT-CHEVALIER et Nicolas SCHLOSSER

Année 2017 - 2018

Claire MONDANGE

Syllabus national (test de Mars)

Bruno JEAUFFROY

Site de ressources pédagogiques

Bruno JEAUFFROY

Après-midi

"La Physique Autrement" : de nouvelles formes d'enseignement et de vulgarisation de la physique

Julien BOBROFF

Exemples de programmes informatiques modélisant des situations physiques

Guillaume DEWAELE

Bruno JEAUFFROY présente le déroulement de cette journée de lancement des IPhO avec la matinée consacrée à la présentation de la préparation française aux IPhO ainsi qu'à l'organisation de l'année scolaire et l'après-midi dédiée au thème de travail :

« **Place de la programmation et du codage dans l'enseignement de la physique** ».

Le constat est fait que les professeurs présents sont pour moitié de nouveaux arrivants dans le réseau des centres de préparation aux IPhO.

Bruno JEAUFFROY rappelle les deux objectifs visés par la préparation des élèves aux IPhO :

- représenter dignement la France à un évènement international ;
- susciter des vocations scientifiques parmi un grand nombre de lycéens.

Il insiste sur le fait que la préparation des élèves, avec deux heures de physique hebdomadaires supplémentaires, offre une occasion de présenter la discipline telle qu'elle est enseignée dans les études supérieures scientifiques.

Jean-Yves DANIEL, en sa qualité de président d'honneur de « Sciences à l'École », remercie les professeurs pour leur présence et leur engagement. Il salue le travail de qualité réalisé par toutes les personnes impliquées dans la préparation française des IPhO.

I – Bilan de l'année 2016 - 2017

Présentation générale

Claire BONNOIT-CHEVALIER présente une description générale de l'année scolaire passée.

En France, les élèves pouvant être inscrits aux IPhO sont ceux de T^{ale} S et de 1^{ère} année de CPGE scientifique.

L'édition 2017 de cette manifestation mondiale de grande ampleur a réuni :

- quatre-vingt-sept pays participant ;
- quatre cent vingt élèves concourant ;
- environ deux cents accompagnateurs.

Le concours comprend une épreuve théorique et une épreuve expérimentale. Ces deux épreuves, de cinq heures chacune, sont basées sur un programme appelé le syllabus, comportant de la physique classique (mécanique, électricité, thermodynamique...) et de la physique plus contemporaine (relativité restreinte et physique quantique).

Centres de formation

Au cours de l'année scolaire 2016 - 2017, trente-quatre centres ont préparé des élèves (dix-huit centres CPGE dont six mixtes CPGE/T^{ale} S et seize centres spécifiques T^{ale} S). Trois cent soixante-quatre élèves (deux cent seize de CPGE et cent trente de T^{ale} S) ont composé sur l'épreuve écrite de présélection.

Candidats aux épreuves de présélection

Les élèves participant au test de présélection sont plus nombreux chaque année, même si ce nombre a tendance à se stabiliser.

Déroulement de l'année

- Durant les deux premiers trimestres de l'année : préparation des élèves dans les centres.
- 29 mars 2017 : épreuve théorique de présélection.
- Du 15 au 19 mai 2017 : stage expérimental pour les vingt-quatre élèves présélectionnés, à l'ENS Paris et l'ENS Paris-Saclay.
- 19 mai 2017 : épreuve pratique de sélection des cinq élèves de la délégation française.
- Mois de juin et juillet : révisions à distance et stage de perfectionnement de deux jours juste avant le départ pour la compétition des IPhO.

Délégation française 2017



La délégation française était composée en 2017 de cinq élèves :

- Hilaire BIZALION (Stanislas, PCSI) ;
- Clémence DE ROLLAND (Stanislas, PCSI) ;
- Augustin DÉSOMBRE (Gymnase Jean Sturm, T^{ale} S) ;
- Nathan DOUMECHE (Louis-le-Grand, MPSI) ;
- Thomas SEPULCHRE (Louis-le-Grand, MPSI) ;

et de trois accompagnateurs : Claire BONNOIT-CHEVALIER, Bruno JEAUFFROY et Nicolas SCHLOSSER.

Les cinq élèves de cette délégation française ont bénéficié d'une préparation comprenant :

- un travail personnalisé organisé sur sept semaines ;
- un suivi assuré par différents intervenants (permanent de « Sciences à l'École », professeurs de CPGE et inspecteurs généraux de l'éducation nationale) ;
- un stage de deux jours dispensé à l'École Normale Supérieure de Paris-Saclay, juste avant le départ pour la compétition, comprenant deux « épreuves blanches ».

La compétition

Nicolas SCHLOSSER présente le déroulé de la compétition qui s'est tenue du 16 au 24 juillet 2017 à Yogyakarta (Indonésie).

16 juillet 2017

Dès l'arrivée de la délégation française à Yogyakarta, le 16 juillet, les élèves et leurs accompagnateurs ont été pris en charge de manière séparée. Ces derniers prenant connaissance des épreuves avant la tenue de celles-ci, il est indispensable de garantir l'absence de communication entre eux et les élèves (privés de leurs téléphones portables).

17 juillet 2017

La cérémonie d'ouverture de la compétition s'est tenue le 17 juillet, à la manière des Jeux Olympiques, avec l'allumage d'une flamme et la présentation des pays participants.

Des visites ont ensuite été organisées pour les élèves pendant que les accompagnateurs se réunissaient pour une longue journée de travail sur l'épreuve expérimentale :

- découverte des sujets et des dispositifs expérimentaux ;
- négociations portant sur certains aspects des sujets ;
- traduction en français des sujets arrêtés.

La délégation française a achevé son travail vers cinq heures du matin.

Bruno JEAUFFROY souligne la précieuse entraide des pays francophones, simplifiant pour tous le travail de traduction.

18 juillet 2017

Le 18 juillet, les élèves ont passé l'épreuve expérimentale, installés dans une grande salle comprenant près de cinq cents boxes individuels. Une excursion était organisée ce même jour pour les accompagnateurs.

19 juillet 2017

Une visite de Yogyakarta était organisée le 19 juillet pour les élèves tandis que les accompagnateurs se réunissaient à nouveau pour une longue journée de travail sur l'épreuve théorique :

- découverte des sujets théoriques ;
- négociations portant sur certaines questions, voire sur des exercices dans leur intégralité ;
- traduction en français des sujets arrêtés.

La délégation française a achevé son travail vers six heures du matin.

20 juillet 2017

Le 20 juillet, les élèves ont passé l'épreuve théorique, installés là encore dans leurs boxes individuels. Une visite de temple était organisée ce même jour pour les accompagnateurs.

21 juillet 2017

Le 21 juillet, une excursion à Borobudur était organisée pour les élèves pendant que la double correction des copies, réalisée par les accompagnateurs et par le comité d'organisation, avait lieu.

22 juillet 2017

Le 22 juillet, une excursion dans une rizière était organisée pour les élèves tandis que l'opération de « modération » se déroulait entre les accompagnateurs et le comité d'organisation. Cette opération permet de comparer les différentes corrections et de finaliser ainsi l'attribution des notes.

23 juillet 2017

Le 23 juillet a eu lieu la cérémonie de clôture de la compétition avec la remise des médailles.

L'épreuve expérimentale

Cette épreuve, réalisée de manière individuelle par les élèves, comportait, comme chaque année, deux parties :

- Partie 1 : Gradient de l'indice de réfraction et coefficient de diffusion d'une solution saline par déviation d'un faisceau laser.
- Partie 2 : Piège magnétique pour capteurs sismiques et volcaniques.

Cette deuxième partie était basée sur un récent article d'un chercheur de Yogyakarta. Nicolas SCHLOSSER propose d'envoyer cet article à « Sciences à l'École » pour une diffusion de celui-ci aux centres de préparation.

Pour la réunion de lancement des IPhO, afin de rendre plus concrète cette présentation des épreuves aux professeurs des centres, les deux dispositifs expérimentaux ont été installés dans la salle de réunion.

L'épreuve théorique

Cette épreuve, réalisée de manière individuelle par les élèves, comportait, comme chaque année, trois exercices :

- Exercice 1 : Matière noire.
- Exercice 2 : Séisme, volcans et tsunami.
- Exercice 3 : Inflation cosmique.

Le troisième exercice, portant initialement sur le dispositif de Michelson, a été jugé trop calculatoire lors de la négociation des sujets. Il a donc été remplacé par un exercice « de secours », portant sur l'inflation cosmique.

Les résultats français

Tous les élèves de la délégation française ont été primés :

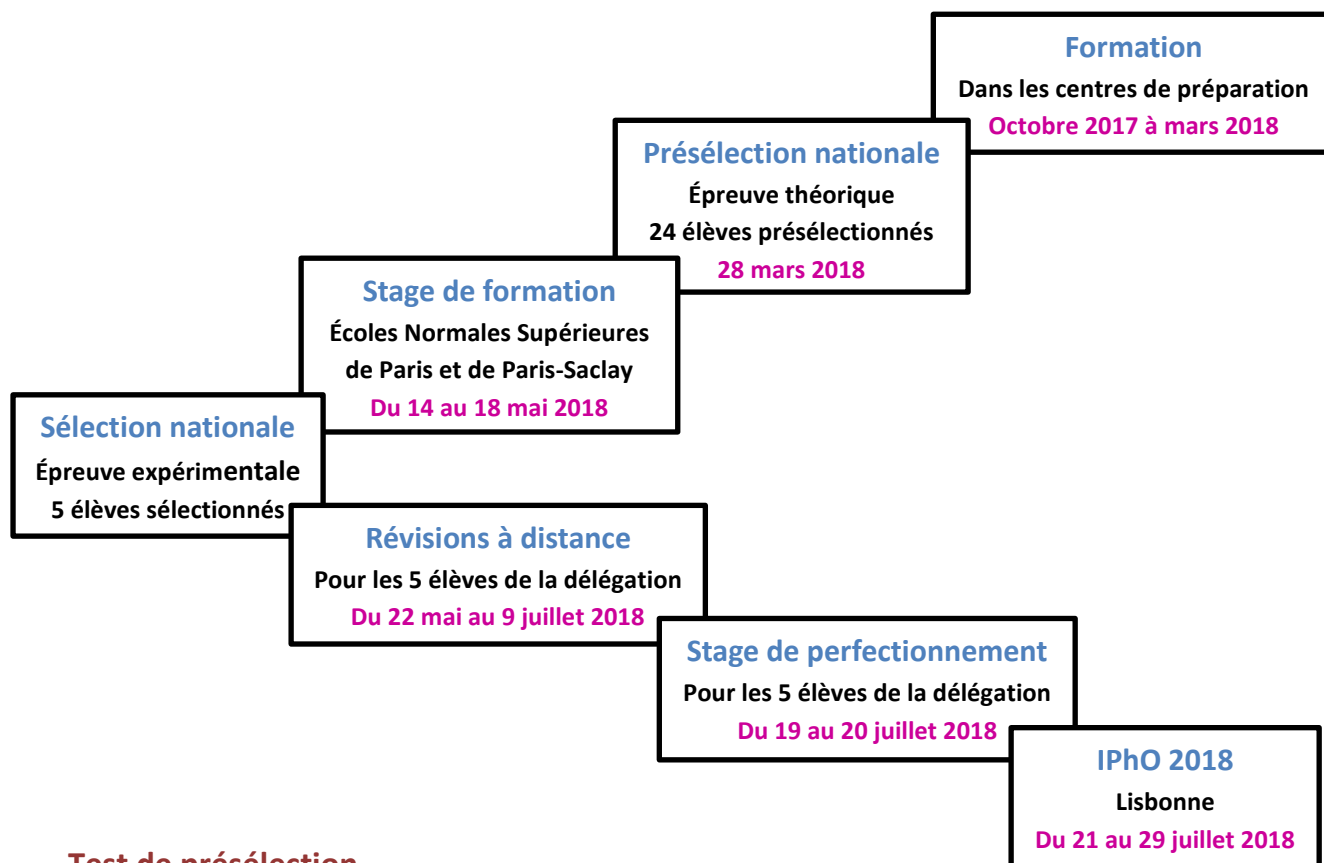
Hilaire BIZALION (Stanislas, PCSI)	Médaille d'argent
Clémence DE ROLLAND (Stanislas, PCSI)	Médaille de bronze
Augustin DÉSOBRE (Gymnase Jean Sturm, T ^{ale} S)	Mention honorable
Nathan DOUMÈCHE (Louis-le-Grand, MPSI)	Médaille de bronze
Thomas SEPULCHRE (Louis-le-Grand, MPSI)	Médaille d'or

II – Année 2017 -2018

Bruno JEAUFFROY propose « un tour de table » permettant aux participants de se présenter. Chacun précise le fonctionnement de son centre de préparation aux IPhO avec les horaires des séances, le nombre d'intervenants, de professeurs et d'élèves impliqués.

Déroulement de l'année scolaire 2017 – 2018

Claire MONDANGE présente le calendrier arrêté par le comité scientifique pour cette année scolaire :



Test de présélection

Le calendrier concernant le test de présélection du **28 mars 2018** est présenté de manière détaillée :

Fin février – 14 mars	Inscription des candidats
22 mars	Envoi des sujets aux centres
28 mars	Épreuves écrites
28 et 29 mars	Envoi des copies à « Sciences à l'École »
20 avril	Publication des résultats
Mai	Envoi de diplôme de participation Récompenses pour les élèves de T ^{ale} S les mieux classés

Claire MONDANGE rappelle que l'inscription des élèves doit se faire avec le maximum d'informations sur leurs coordonnées (téléphone portable notamment) afin de simplifier la prise de contact avec ceux d'entre eux présélectionnés pour le stage expérimental de formation du mois de mai.

Plusieurs professeurs font part de leurs difficultés à envoyer les copies rapidement après la tenue des épreuves. Bruno JEAUFFROY et Nicolas BILLY expliquent alors que l'organisation des corrections offre un tout petit peu de souplesse par rapport au calendrier présenté.

Le format de l'épreuve du test de présélection est rappelé :



III – Syllabus national

Le syllabus dit national correspond au programme arrêté pour le test de présélection. C'est un sous-ensemble, différent pour les élèves de terminale et ceux de CPGE, du syllabus international. Il a été envoyé aux professeurs en amont de la réunion afin d'anticiper leur réflexion sur d'éventuels points à modifier. Une version papier est également distribuée aux professeurs présents.

Aucune remarque particulière ou souhait d'aménagement n'est exprimé, il faut dire que cela fait plusieurs années que ce syllabus est peaufiné.

Ce programme, donné en ANNEXE, sera donc respecté par les rédacteurs du test de présélection et permettra aux professeurs des centres d'adapter le contenu de leurs séances de formation à la préparation de ce test.

IV – Site internet de la préparation française des IPhO

Bruno JEAUFFROY rappelle que, dans la perspective de développement et d'optimisation de la préparation aux IPhO, la mise à jour du site internet dédié à cette préparation française a été établie comme priorité par le comité scientifique.

Les ressources actuellement disponibles datent d'il y a quelques années et ne couvrent pas l'intégralité du syllabus. Le site internet mérite donc d'être actualisé avec la publication en ligne de ressources pédagogiques :

- reflétant le contenu des formations dispensées, de grande qualité tant sur le fond que sur la forme ;
- permettant une mutualisation du travail, dont les bienfaits sont évidents.

Les professeurs des centres ont été sollicités en amont de la réunion pour une mise à disposition de leurs productions pédagogiques. Un certain nombre d'entre elles ont déjà été communiquées à « Sciences à l'École » qui assurera leur mise en ligne ainsi que la restructuration du site dont l'accès n'est à ce jour pas forcément optimisé. Cette actualisation du site posera les questions du libre accès et des droits relatifs aux divers documents utilisés.

V – Place de la programmation et du codage dans l'enseignement de la physique

L'après-midi de cette journée de réunion est consacrée au thème de travail « Place de la programmation et du codage informatique dans l'enseignement de la physique » avec, comme intervenants, Julien BOBROFF, enseignant-chercheur à l'Université Paris Sud (Orsay) et Guillaume DEWAELE, professeur d'informatique en CPGE.

« La Physique Autrement » : de nouvelles formes d'enseignement et de vulgarisation de la physique

« La Physique Autrement »

L'intervention de Julien BOBROFF commence par une présentation des activités de l'équipe de recherche « La Physique Autrement » du laboratoire de Physique des Solides (CNRS et Université Paris Sud). L'équipe travaille en étroite collaboration avec des graphistes, designers, artistes et médiateurs afin d'aborder les sciences d'une manière plus contemporaine et de participer à la diffusion de la culture scientifique et technique en la rendant accessible au plus grand nombre. Les supports explorés sont innovants et très variés (film d'animation, expositions, jeux, cartes postales, affiches, pop-up...)

Les productions de cette équipe, en libre accès sur leur site internet, sont autant de supports permettant d'enrichir et d'illustrer les cours et travaux pratiques de physique.

Adresse du site : <http://hebergement.u-psud.fr/supraconductivite/>

Pour en savoir plus sur les travaux de Julien BOBROFF permettant d'aborder la physique autrement, la consultation des sites suivants, où les professeurs pourront trouver de nombreuses ressources et films d'animation, est conseillée :

www.supraconductivite.fr

www.vulgarisation.fr

www.ToutEstQuantique.fr

Arduino

Julien BOBROFF présente ensuite les travaux pratiques mis en place à l'université Paris Sud, revisités grâce à l'utilisation de cartes d'acquisition Arduino contenant un microcontrôleur programmable en langage C et permettant d'analyser et de produire des signaux électriques.

Pour des budgets raisonnables (le coût d'une carte Arduino se situe entre 10 et 15 euros, sans les accessoires), les possibilités de construction de séances et de dispositifs expérimentaux sont très nombreuses.

Le logiciel Arduino est plutôt simple d'utilisation et les exemples de ligne de code ne manquent pas sur internet. Une fois les élèves familiarisés avec l'utilisation des divers capteurs utilisables avec Arduino (thermomètre, Gaussmètre...), des projets expérimentaux peuvent être réalisés avec du matériel à bas coût (carton, ficelle, pince à linge, aimants, Lego®...). À l'université Paris-Sud, ceux-ci sont présentés dans un premier temps comme des défis à relever par les élèves :

- jeu de parcours pour un aimant dans un labyrinthe ;
- commande d'un bras remplissant un verre à heure précise ;
- ...

La programmation informatique devient ensuite un outil concret d'étude de phénomènes physiques. Julien BOBROFF donne quelques exemples de réalisation d'élèves et de professeurs :

- diffusion de la chaleur dans une tige métallique ;
- déformation élastique d'une tige de cuivre ;
- oscillations de Timoshenko ;
- ...

Julien BOBROFF termine son intervention par la présentation des avantages et inconvénients des cartes Arduino. Si les coûts sont bas, l'utilisation très accessible et les possibilités multiples, le matériel présente une certaine fragilité et de petits « bugs » peuvent parfois survenir.

Exemples de programmes informatiques modélisant des situations physiques

Guillaume DEWAELE présente les possibilités offertes par la programmation en langage Python, étudiée par les élèves de CPGE, pour étudier et illustrer des phénomènes physiques.

Sur le site www.pyzo.org, les professeurs trouveront tous les programmes et logiciels à installer pour une utilisation simplifiée de Python. Le site <https://stackoverflow.com/> est également conseillé comme source d'information pour trouver des réponses et de l'aide aux possibles problèmes rencontrés, ainsi que des exemples d'animation.

Guillaume DEWAELE commence par présenter les algorithmes et fonctions indispensables à la réalisation des calculs permettant l'étude de phénomènes physiques et la création, in fine, d'illustrations animées. Sa présentation s'accompagne de nombreux conseils pour simplifier les étapes de codage. Une fois ces outils de travail donnés, il présente, de manière approfondie, quatre exemples choisis :

- un système mécanique oscillant ;
- un système thermodynamique ;
- une FFT ;
- un paquet d'onde gaussien.

Guillaume DEWAELE, pour donner à voir le grand champ des possibles, termine son intervention par une présentation de graphiques, illustrations 3D et animations réalisées sous Python : pendule double, système solaire à cinq corps, déformation d'une voile, effet de bouteille magnétique, lignes de champs et équipotentielles, ondes thermiques dans le sol, isolation thermique d'un mur, circuits RLC, filtrage, dosage en chimie, étude cinétique de la réaction BZ, aberrations d'une lentille mince, interférences à deux ondes, teintes de Newton...

Tous les exemples donnés ainsi que les slides de la présentation de Guillaume DEWAELE seront bientôt disponibles à l'adresse suivante : www.sci-phy.org/IPhO2017.

Pour clore cet après-midi de travail, Bruno JEAUFFROY insiste auprès des professeurs sur l'objectif visé d'initiation des élèves à la programmation dans le but de mieux comprendre la physique. Il rappelle la préférence qu'il vaut mieux donner au langage Python, puisque les élèves en sont souvent familiers, lorsqu'un graphique doit être tracé, et suggère de leur donner le détail du programme afin qu'ils puissent y effectuer directement des modifications de paramètres et en voir les conséquences. Il souligne le fait qu'au-delà de l'illustration en elle-même, les élèves doivent en tirer du profit pour leurs apprentissages.

Nicolas BILLY conforte les propos de Bruno JEAUFFROY en rappelant que le numérique, en offrant une alternative à la méthode analytique de résolution d'un problème, ouvre une nouvelle voie d'approche de la physique. Il souligne également l'indispensable visualisation des phénomènes étudiés, rendue possible par le numérique, qui rend concret et parlant un grand nombre de notions traditionnellement étudiées sous forme d'équations. Il insiste sur l'importance de ne pas trop complexifier l'approche, et pour ce faire de s'appuyer sur les lignes de code déjà existantes (fonctions de calculs toutes faites dans les bibliothèques de Python), permettant de construire des programmes « encapsulés ».

La réunion se termine à 17h après que Bruno JEAUFFROY ait remercié une nouvelle fois les professeurs pour leur engagement et leur travail, ainsi que toutes les autres personnes impliquées dans la préparation française des IPhO.

Bruno JEAUFFROY
Président du comité scientifique de la
préparation française aux IPhOs



Claire Mondange
pour « Sciences à l'École »



ANNEXE

Syllabus de la préparation aux IPhOs France Année 2017-2018

Partie théorique

Mode d'emploi :

Ce syllabus est construit à partir du syllabus international des IPhO (dont il est la simple traduction). Il inclut les modifications votées à Bombay en 2015.

Les éléments du syllabus sur lesquels portera le test du comité français des IPhO, en mars 2018, sont indiqués :

- en **rouge** pour les élèves de terminale
- en **rouge et bleu** pour les élèves de CPGE
- ce qui est souligné ne fait pas partie (ou au second semestre sauf mécanique partie 2) des programmes de PCSI (programme de référence) ou de terminale lorsque c'est en rouge.

1. Général

La capacité à faire des approximations appropriées en modélisant des problèmes de la vie quotidienne. Reconnaître et exploiter les symétries d'un problème.

2. Mécanique

2.1 Cinématique

Vitesse et accélération d'une particule ponctuelle vues comme les dérivées du vecteur déplacement. Vitesse linéaire ; accélération radiale et tangentielle. Mouvement d'une particule ponctuelle soumise à une accélération constante. Sommation de vitesses et de vitesses angulaires ; sommation d'accélération sans le terme de Coriolis ; identifier dans quels cas le terme de Coriolis est nul. Mouvement d'un corps solide autour d'un centre instantané de rotation ; vitesse et accélération des points matériels d'un corps solide en rotation.

2.2 Statique

Trouver le centre de masse d'un système par une sommation ou une intégration. Conditions d'équilibre : équilibre des forces (vectoriel ou par projections), équilibre des couples (seulement dans une géométrie à 1D ou à 2D). Réaction du support, force de tension, force de frottement statique et dynamique¹ ; loi de Hooke, contrainte, déformation, module d'Young, Equilibre stable ou instable².

2.3 Dynamique

Seconde loi de Newton (sous forme vectorielle ou projetée) ; Energie cinétique en translation ou en rotation. Energie potentielle pour des champs de force simples (par intégration d'un champ de force). Quantité de mouvement, moment cinétique, énergie et leurs lois de conservation. Notion de travail et de puissance ; dissipation par frottement. Référentiels Galiléens ou non : force d'inertie, force centrifuge, énergie potentielle dans un référentiel en rotation, Moment d'inertie d'objets simples (anneau, disque, sphère, sphère creuse, tige), théorème de Huygens ; calcul d'un moment d'inertie par intégration.

2.4 Mécanique céleste

¹ Les lois de Coulomb seront rappelées dans les énoncés de l'épreuve de sélection pour les élèves de terminale.

² Seule une étude qualitative sera exigible pour les élèves de terminale.

Loi de la gravité, [énergie potentielle gravitationnelle d'un point matériel](#), lois de Kepler (connaitre la démonstration pour la première et la troisième loi de Kepler). Energie d'un point matériel sur une orbite elliptique.

2.5 Hydrodynamique

Pression, [poussée d'Archimède](#), [équation de continuité](#), [équation de Bernoulli](#). Tension de surface et énergie associée, [pression capillaire](#).

3. Champs électromagnétiques

3.1 Concepts de base

Notion de charge et de courant ; conservation de la charge et [lois de Kirchhoff pour le courant](#). Force de Coulomb ; champ électrostatique [comme un champ de potentiel](#) ; [loi des mailles](#). Champ magnétique ; force de Lorentz ; force de Laplace ; loi de Biot et Savart, champ magnétique dans le cas d'une boucle circulaire de courant et pour des géométries simples comme un fil rectiligne, une boucle circulaire ou un solénoïde.

3.2 Forme intégrale des équations de Maxwell

Théorème de Gauss (pour les champs E et B) ; Théorème d'Ampère ; Loi de Faraday ; utilisation de ces lois pour le calcul des champs quand la fonction à intégrer est constante par morceaux. Conditions aux limites pour le champ électrique (ou le potentiel électrostatique) à la surface des conducteurs et à l'infini ; concept de conducteurs mis à la masse. Principe de superposition pour les champs électrique et magnétique ; unicité de la solution avec les conditions aux limites ; méthode des charges images.

3.3 Interaction avec la matière des champs électrique et magnétique

[Résistivité et conductivité](#) ; loi d'Ohm locale. Perméabilité diélectrique et magnétique ; permittivité relative et perméabilité de matériaux électriques et magnétiques ; densité d'énergie électrique et magnétique ; matériaux ferromagnétiques ; hystérésis et dissipation ; courants de Foucault ; loi de Lenz. Densité surfacique de charge liée à la polarisation diélectrique (qualitatif) ; courant de surface liée à l'aimantation (qualitatif) ; conditions de continuité pour des champs à la surface de matériaux diélectriques ou ferromagnétiques. [Charges dans un champ magnétique : mouvement hélicoïdal, fréquence cyclotron, mouvement pour des champs E et B croisés \(dérive\)](#). Energie d'un dipôle magnétique dans un champ magnétique ; moment dipolaire d'une boucle de courant.

3.4 Circuits

[Résistance linéaire et loi d'Ohm](#) ; loi de Joule ; travail d'une force électromotrice ; [batteries idéales et non idéales](#), [sources de courant constant](#), [ampèremètres](#), [voltmètres](#) et [ohmmètres](#). Caractéristique courant-tension d'éléments non linéaires. [Condensateurs et capacité](#) (y compris pour une unique électrode en considérant l'autre à l'infini) ; auto-induction et [inductance](#), [énergie de condensateurs et de bobines](#) ; inductance mutuelle ; transformateur avec noyau ferromagnétique fermé ; [constantes de temps pour circuit RL et RC](#). Circuits en courant alternatif : amplitude complexe ; Impédance électrique de résistances, bobines, condensateurs et leurs combinaisons ; diagramme de phase ; résonance en courant et en tension ; puissance active.

4. Oscillations et Ondes

4.1 Oscillateur simple

Oscillateur harmonique : équation du mouvement, fréquence, pulsation angulaire et période. Pendule réel et sa longueur équivalente. Comportement au voisinage d'un équilibre instable. Décroissance exponentielle d'oscillations amorties³; résonance d'oscillateurs sinusoïdaux forcés : amplitude et déphasage d'oscillations en régime permanent. Oscillations libres dans un circuit LC ; analogie électrique/mécanique ; boucle de rétroaction comme source d'instabilité ; génération d'oscillations sinusoïdales auto entretenues dans un résonateur LC.

4.2 Oscillateurs couplés

Oscillateurs harmoniques couplés à plusieurs degrés de liberté : équation du mouvement, fréquences propres, modes propres, interprétation physique des fréquences nulles, oscillations libres comme la superposition de modes propres.

4.3 Ondes

Propagation d'ondes harmoniques : expression de la phase comme une fonction linéaire de la position et du temps ; longueur d'onde, vecteur d'onde, vitesse de groupe et de phase ; décroissance exponentielle pour des ondes se propageant dans un milieu dissipatif ; ondes transverses et longitudinales ; effet Doppler classique. Ondes dans un milieu non-homogène : principe de Fermat, lois de Snell-Descartes. Onde sonore : vitesse en fonction de la pression (module d'Young) et de la densité volumique, cône de Mach. Vitesse de propagation d'une onde sur une corde et ondes de gravité en eau peu profonde. Energie portée par les ondes : proportionnalité avec le carré de l'amplitude, continuité du flux d'énergie.

4.4 Interférences et diffraction

Superposition des ondes : cohérence, battements, ondes stationnaires, principe d'Huygens (forme intégrale de l'amplitude dans la condition des petits angles), interférences dans le cas des films minces (conditions pour des maxima et des minima d'intensité seulement). Diffraction par une ou deux fentes, réseau de diffraction, loi de Bragg.

4.5 Interaction d'ondes électromagnétiques avec la matière

Dépendance de la permittivité électrique avec la fréquence (aspect qualitatif) ; indice de réfraction ; dispersion et dissipation d'ondes électromagnétiques dans des milieux transparents ou opaques. Polarisation linéaire ; angle de Brewster ; polariseurs ; lois de Malus. Polarisation circulaire ou elliptique comme une superposition d'ondes polarisées linéairement. Biréfringence (seulement pour une propagation rectiligne), lame quart d'onde, polariseurs circulaires. Pouvoir rotatif sur la polarisation dans un milieu optiquement actif.

4.6 Optique géométrique et photométrie

Approximation de l'optique géométrique : rayons et images optiques ; cône d'ombre et de pénombre. Approximations des lentilles minces convergentes et divergentes ; construction d'images créées par des lentilles minces idéales ; formules de conjugaison (dont celles de Newton avec origines aux foyers)⁴. Flux lumineux et sa continuité ; éclaircissement ; intensité lumineuse.

4.7 Appareils optiques

Télescope et Microscopes : grossissement et pouvoir de résolution ; réseau de diffraction et son pouvoir de résolution ; interféromètres.

³ Seule une approche qualitative sera exigible pour les élèves de terminale.

⁴ Les relations de conjugaison seront rappelées dans les énoncés de l'épreuve de sélection.

5. Relativité

Principe de relativité et transformations de Lorentz pour les coordonnées spatiales et temporelles et pour l'énergie et l'impulsion ; équivalence masse-énergie ; invariance d'un intervalle dans l'espace-temps et de la masse au repos. Addition de vitesses parallèles, dilatation du temps, contraction des longueurs ; relativité de simultanéité ; énergie et impulsion de photons et effet Doppler relativiste ; équation relativiste du mouvement ; conservation de l'énergie et de l'impulsion pour des interactions élastiques et non élastiques de particules.

6. Physique quantique

6.1 Densité de probabilité

Dualité ondes-particules : relation entre fréquence et énergie (pour le photon) et entre quantité de mouvement et vecteur d'onde ; fonction d'onde probabiliste ; niveaux d'énergie pour des atomes hydrogénéoïdes (orbites circulaires uniquement) et potentiels paraboliques ; quantification du moment cinétique. Principe d'incertitude pour l'énergie et le temps, et pour la position et l'impulsion (comme un théorème et comme un outil d'estimation).

6.2 Structure de la matière

Spectre d'émission et d'absorption pour des atomes hydrogénéoïdes ; aspect qualitatif pour les atomes à plusieurs électrons et pour des molécules en raison des oscillations moléculaires ; largeur du spectre et temps de vie des états excités. Principe d'exclusion de Pauli pour des fermions (connaissance de la charge et du spin) : électrons, neutrinos (électroniques), protons, neutrons, photons ; effet Compton. Protons et neutrons comme particules composites. Noyau atomique, niveaux d'énergie du noyau (qualitativement) ; émissions alpha, beta ou gamma ; fission, fusion et capture de neutron ; défaut de masse ; temps de demi-vie et décroissance exponentielle. Structures cristallines : plan d'un cristal (loi de Bragg), niveaux d'énergie électronique (qualitativement, métaux comparés aux matériaux diélectriques et semi-conducteurs) ; effet photoélectrique.

7. Thermodynamique et physique statistique

7.1 Thermodynamique classique

Concepts d'équilibre thermique et de transformations réversibles ; énergie interne, travail et chaleur ; échelle de température de Kelvin ; entropie, systèmes ouverts, fermés, isolés ; première et seconde loi de la thermodynamique. Théorie cinétique des gaz parfaits : nombre d'Avogadro, facteur de Boltzmann et constante des gaz parfaits ; mouvement de translation des molécules et pression ; loi des gaz parfaits ; degrés de liberté de translation, rotation et oscillation ; théorème d'équipartition ; énergie interne de gaz parfaits ; vitesse quadratique des molécules ; Transformations isothermes, isobares, isochores et adiabatiques ; chaleur spécifique aux transformations isobares et isochores ; cycle de Carnot en sens direct et indirect pour un gaz parfait et rendement ; rendement pour des machines thermiques réelles.

7.2 Transfert de chaleur et transitions de phase

Transition de phase (évaporation, ébullition, fusion et sublimation) et chaleur latente ; pression de vapeur saturante, humidité relative ; ébullition ; loi de Dalton ; notion de conductivité de la chaleur, continuité du flux de chaleur.

7.3 Physique statistique

Loi de Planck (explication qualitative, pas besoin de connaître la formule), loi de Wien ; loi de Stefan-Boltzmann.