

La physique en PCSI

1 La physique ... c'est quoi ?

• **La physique** est la science de la nature (du grec *phusis*, "nature"). On cherche à découvrir les propriétés de la matière, les lois qui en découlent, bâtir des **modèles**. La physique repose ainsi sur un petit nombre de **lois fondamentales** ou de **principes** : elles sont réfutables par les faits d'où des échanges "incessants" entre théorie et expérience (recherche notamment des conditions d'application du modèle).

• **La physique classique** permet d'interpréter la plupart des phénomènes de notre vie quotidienne. Cette physique est en général "divisée" en différentes disciplines, chacune basée sur quelques lois ou principes :

- la mécanique étudie les mouvements des corps : elle repose sur les **3 lois de Newton** (1687 : lois de l'inertie, de la quantité de mouvement et des actions réciproques) ;
- l'électromagnétisme étudie les phénomènes électriques et magnétiques : elle est interprétée par les **4 lois de Maxwell** (1873) ;
- l'optique concerne les phénomènes relatifs à la lumière : elle comporte l'optique géométrique, étudiant la propagation des rayons lumineux à l'aide du **principe de Fermat** (1657), et l'optique ondulatoire avec le **principe de Huygens-Fresnel** (1675 - 1818) et les lois de l'électromagnétisme ;
- la thermodynamique étudie les échanges d'énergie et l'évolution des systèmes à l'aide des **3 principes de la thermodynamique** concernant l'énergie, l'entropie et le "zéro absolu" (fin du XIX^{ème} siècle).

• **La physique classique a des limites**. L'évolution des expérimentations repoussant les limites des observations, certains phénomènes n'ont pas pu être interprétés par la physique classique :

- lorsque les vitesses relatives des systèmes sont proches de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide (environ $3.10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), on aborde le domaine de la **relativité restreinte** (Einstein en 1905). Le temps est relatif : on parle alors d'espace-temps. La **relativité générale** associe la relativité restreinte et la gravitation ("la matière dit à l'espace comment se courber et l'espace dit à la matière comment se mouvoir").
- à l'échelle microscopique (celles des particules), on utilise la **physique quantique**. C'est une physique contre-intuitive : on associe des ondes aux particules (de Broglie en 1924 : dualité onde - particule) et le concept de trajectoire est abandonné (inégalités d'Heisenberg en 1927). Applications : informatique, optique (laser), horloges atomiques, imagerie médicale, ...

- certains systèmes, dits **complexes** sont susceptibles d'avoir des comportements imprévisibles que l'on peut associer à un grand nombre de degrés de liberté ou à des caractères non linéaires. Un nouvel essor dans ce domaine est lié aux progrès de la simulation informatique.

• **La recherche en physique** (ressources Campus France). Les chercheurs se spécialisent en physique théorique (physique quantique, thermodynamique, physique statistique, électromagnétisme) ou en physique expérimentale (comportement des matériaux, électronique et composants, fluides et écoulements), avec d'autres domaines d'applications (énergie et environnement, biologie, physique du solide, informatique appliquée). Voici quelques exemples :

- la physique des particules : le modèle qui décrit actuellement cette branche de la physique est le modèle standard (fermions - quarks et leptons - bosons). Le boson de Higgs a été détecté en 2012 au CERN. Un autre modèle est basé sur la théorie des cordes (1984). Des recherches sont actuellement effectuées pour essayer de mettre au point la fusion nucléaire ;
- les nanotechnologies : on étudie et on réalise des systèmes dont la taille est comprise entre 1 nm et 100 nm. Les applications sont multiples : électronique, chimie, biologie, médecine, ... ;
- la physique quantique réunit la physique atomique, la physique moléculaire, la recherche sur l'optique et la photonique ;
- l'astrophysique qui couvre la cosmologie, la planétologie, la géophysique, l'océanographie physique, la physique des plasmas et les astroparticules. On effectue notamment des recherches sur la naissance de l'Univers (Big Bang), son expansion, la matière noire, l'énergie noire, la gravitation (des ondes gravitationnelles, prédites par la théorie de la relativité générale, ont été détectées en 2016). On essaie actuellement d'unifier la relativité générale et la mécanique quantique ;
- la physique de la matière condensée englobe un ensemble de disciplines : physique du solide, science des matériaux, physique des polymères, matière molle, physique mésoscopique et systèmes désordonnés ;
- le chaos : pour certains systèmes, dits chaotiques, une connaissance approximative des conditions initiales engendre un comportement aléatoire (météorologie, mécanique des fluides, fusion, oscillateurs électriques ou mécaniques, ...).

• **Quelques prix Nobel français en physique.**

- Pierre-Gilles de Gennes (ESPCI) : 1991, travaux sur les cristaux liquides ;
- Georges Charpak (CERN, ESPCI) : 1992, détecteurs de particules ;
- Claude Cohen-Tannoudji (ENS - CNRS) : co-lauréat 1997, méthodes servant à refroidir et confiner des atomes avec de la lumière laser ;

- Albert Fert (Paris Sud - CNRS) : co-lauréat 2007, magnétorésistance géante ;
- Serge Haroche (ENS, X, CNRS, ...) : co-lauréat 2012, travaux ayant permis de mesurer et manipuler des systèmes quantiques individuels ;
- Gérard Mourou (X) : co-lauréat 2018, travaux sur les lasers ;
- Alain Aspect (ENS, X, CNRS) : co-lauréat 2022 (intrication quantique) ;
- Anne L'Huiller (ENS Fontenau-aux-Roses, Université de Lund) : co-lauréate 2023, travaux en physique de l'attoseconde ;
- Michel Devoret (Telecom Paris, Paris Sud, Berkeley, Yale) : co-lauréat 2025, découverte effet tunnel macroscopique.

2 Enseignement de la physique en PCSI

2.1 La démarche scientifique

L'enseignement de la Physique a pour but d'acquérir des connaissances disciplinaires (définitions, modèles, lois ou théorèmes, ...) mais aussi de compléter et consolider les compétences de la démarche scientifique. Exemples de capacités qui seront travaillées :

compétences	capacités associées
s'approprier	- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la situation décrite ; - identifier la complémentarité d'informations présentées sous différentes formes ; - énoncer ou dégager une problématique scientifique ; - représenter une situation par un schéma modèle ; - identifier les grandeurs pertinentes, leur attribuer un symbole ; - relier le problème à une situation modèle connue ; - acquérir de nouvelles connaissances en autonomie.
analyser raisonner	- formuler des hypothèses ; - décomposer un problème en plusieurs problèmes plus simples ; - proposer une stratégie pour répondre à une problématique ; - choisir, concevoir, justifier un protocole, un dispositif expérimental, un modèle ou des lois physiques ; - évaluer des ordres de grandeur ; - identifier les idées essentielles d'un document et leurs articulations ; - relier qualitativement ou quantitativement différents éléments d'un ou de documents.

réaliser	- mettre en œuvre les étapes d'une démarche, un protocole, un modèle ; - extraire une information d'un texte, d'un graphe, d'un tableau, d'un schéma, d'une photo ; - schématiser un dispositif, une expérience, une méthode de mesure ; - utiliser le matériel et les produits de manière adaptée en respectant les règles de sécurité ; - effectuer des représentations graphiques à partir de données ; - mener des calculs analytiques ou à l'aide d'un langage de programmation ; - effectuer des applications numériques ; - conduire une analyse dimensionnelle.
valider	- exploiter des observations, des mesures en estimant les incertitudes ; - confronter les résultats d'un modèle à des résultats expérimentaux, à des données figurant dans un document, à ses connaissances ; - confirmer ou infirmer une hypothèse, une information ; - analyser les résultats de manière critique ; - repérer les points faibles d'une argumentation (contradiction, partialité, ...) ; - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.
communiquer (écrit et oral)	- présenter les étapes de sa démarche de manière synthétique, organisée, cohérente ; - rédiger une synthèse, une analyse, une argumentation ; - utiliser un vocabulaire scientifique précis et choisir des modes de représentation adaptés (schémas, graphes, cartes mentales, ...) ; - écouter, confronter son point de vue.

2.2 Organisation des enseignements

Tout est basé sur votre travail et votre aptitude à être curieux, à avoir des initiatives : il n'y a pas de questions idiotes, toute remarque ou erreur faites sont utiles à la compréhension du cours. Se tromper nous enseigne beaucoup et nous permet d'être constructifs ! Par contre, ne pas participer, ne rien répondre, sont des attitudes à bannir et qui ne mènent à rien.

- **Les cours** sont dits magistraux mais le dialogue est essentiel : vous devez suivre et intervenir lorsque vous ne comprenez pas, ou lorsqu'un point vous semble devoir être éclairci ou approfondi. Une grosse partie du travail de l'étudiant est effectué en classe : il faut à la fois comprendre, suivre et prendre des notes efficacement.

Des couleurs et des logos permettent un repérage efficace dans le cours :

- définitions en vert ; lois, théorèmes, relations en rouge ; propriétés en jaune ; méthodes en bleu ;
-  : notion, définition, loi à connaître par cœur ;  : test ;
-  : astuce, idée à connaître ;  : erreur, piège à éviter ;
-  : exemples ;  : ordres de grandeur.

Une fiche de synthèse (introduction, rapide contexte historique, programme officiel, des conseils, les notions essentielles à connaître, des questions de cours) est distribuée au début de la première séance du chapitre.

• **Les Travaux Dirigés** sont des séances de 1 heure d'exercices destinées à mieux comprendre, s'approprier et assimiler les notions abordées en cours. Les énoncés des exercices sont distribués dès le début du chapitre. Certains énoncés peuvent cibler des capacités particulières. Les feuilles de TD sont organisées en différentes parties :

- *Tests* : énoncés des tests effectués en classe ;
- *Incontournables* : exercices classiques du chapitre, corrigés en priorité durant la séance, à savoir refaire à tout moment ;
- *Exercices* : les exercices de cette partie sont des applications directes des relations du cours (utilisation des définitions, des lois, calculs simples, unités, ...), ou des exercices nécessitant plus d'étapes de raisonnement ou des difficultés techniques pour répondre. Vous devez au minimum lire les énoncés de ces exercices avant la séance et réfléchir aux méthodes que vous utiliseriez ;
- *Approfondissements, résolutions de problèmes* : exercices où vous n'êtes pas guidés ou problèmes plus longs (issus parfois d'annales). Ils ne sont pas corrigés ; vous pouvez venir me voir à tout moment pour discuter. Il est indispensable de les aborder si vous visez des concours de niveaux élevés ;
- *Conseils et réponses* : je donne le résultat final pour quelques questions, pour que vous puissiez vérifier votre travail lors de la préparation de la séance, et quelques conseils parfois.

• **Les Travaux Pratiques** sont des séances de 4 heures (éventuellement 2 heures) durant lesquelles vous allez manipuler. Elles peuvent être de 2 types :

- TP - cours : cours axé sur des manipulations (avec nouveau matériel par exemple). Vous prenez des notes pour réinvestir les notions dans d'autres séances.
- TP : un énoncé proposant une ou des problématiques ainsi que la liste du matériel est donné à l'avance. Vous devez réfléchir aux protocoles, faire des calculs préliminaires, ... avant la séance. Durant la séance, vous devez manipuler et rédiger un compte rendu. La séance et le compte rendu sont notés à partir d'une grille d'évaluation fournie.

- Les documents (cours, énoncés, corrigés) sont déposés sur "Cahier de prépa".

2.3 Évaluations

• Une évaluation n'est pas une sanction mais un échange permettant de progresser !

- Les diverses évaluations ont pour **buts principaux** :

- de tester votre connaissance et votre maîtrise du cours ;
- d'apprendre à mieux vous connaître vous ;
- de progresser en affinant vos méthodes de travail ;
- d'utiliser vos erreurs (les analyser permet de comprendre beaucoup) ;
- de bien rédiger (clarté, rigueur).

• Des **interrogations de cours**, très courtes et hebdomadaires, vous permettent de savoir si vous connaissez les définitions, les lois, les théorèmes avec leurs conditions d'application. Elles sont notées.

• Des **Devoirs Maison** vous laissent le temps de la réflexion sur des exercices ou des problèmes, et d'améliorer votre rédaction. Ils sont corrigés et notés avec des lettres et commentés. J'en donne un entre deux DS environ et un pendant les vacances. Il ne faut pas rester bloqué : vous pouvez échanger avec moi sur le corrigé à tout moment.

• Des **interrogations orales ou colles** (ou khôlles) : vous répondez à une question de cours ou à un exercice classique, puis à des exercices nécessitant plus de réflexion, devant un colleur et dans le cadre d'un programme affiché. Il s'agit d'un échange entre vous et le colleur, qui voit votre manière d'aborder un exercice et de raisonner. Les colles sont notées et commentées. En physique, vous en aurez une toutes les 2 ou 3 semaines.

• Les **Travaux Pratiques** testent vos compétences d'initiatives, d'organisation, votre aptitude à manipuler, à résumer et rendre compte, à valider ou non des modèles. Ils sont notés et commentés (analyse, manipulations, critique/validation, compte-rendu). Il m'arrive de donner une correction succincte.

• Les **Devoirs Surveillés**, au nombre de 4 par semestre, vont vous montrer progressivement les liens à faire entre le cours et les épreuves écrites de concours.

• Les colles, DM, DS sont commentés à l'aide des lettres A (TB), B (Satisfaisant), C(Moyen), D(Insuffisant), E(non rendu ou manque flagrant de travail) pour les 3 thèmes :

- S pour Savoir (connaissez-vous le cours?) ;
- C pour Capacité (savez-vous utiliser le cours?) ;
- A pour Attitude (savez-vous rédiger, rendre un travail propre et clair, vous accrocher, écouter les conseils?).

2.4 Progression du cours de physique en PCSI

Optique (noté O)

- O1 : Modèle de l'optique géométrique, lois de Snell-Descartes
- O2 : Approximation de Gauss, miroir plan et lentilles minces
- O3 : Modélisations d'instruments d'optique

Électrocinétique (E)

- E1 : Lois générales et dipôles électrocinétiques dans le cadre de l'ARQS
- E2 : Étude de réseaux linéaires
- E3 : Circuits linéaires du premier ordre
- E4 : Oscillateurs harmoniques
- E5 : Circuits linéaires du second ordre
- E6 : Régime sinusoïdal forcé
- E7 : Diagramme de Bode, filtres
- E8 : Amplificateur Linéaire Idéal, filtres actifs

Signaux (S)

- S1 : Propagation d'un signal
- S2 : Phénomènes d'interférences
- S3 : Ondes stationnaires mécaniques

Mécanique (M)

- M1 : Cinématique du point
- M2 : Lois de Newton
- M3 : Énergies d'un point matériel
- M4 : Mouvements de particules chargées dans des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$
- M5 : Moment cinétique

- M6 : Mouvement dans un champ de force centrale conservatif
- M7 : Mouvement d'un solide (rotation autour d'un axe fixe)

Thermodynamique (T)

- T1 : Descriptions de systèmes thermodynamiques à l'équilibre
- T3 : Premier principe, bilans d'énergie
- T3 : Deuxième principe, bilans d'entropie
- T4 : Machines thermiques

Mécanique des fluides (F)

- F : Statique des fluides en référentiel galiléen

Induction et force de Laplace (I)

- I1 : Champ magnétique, actions d'un champ magnétique
- I2 : Lois de l'induction :
 - circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps ;
 - circuit mobile dans un champ magnétique indépendant du temps.

Mécanique quantique (MQ)

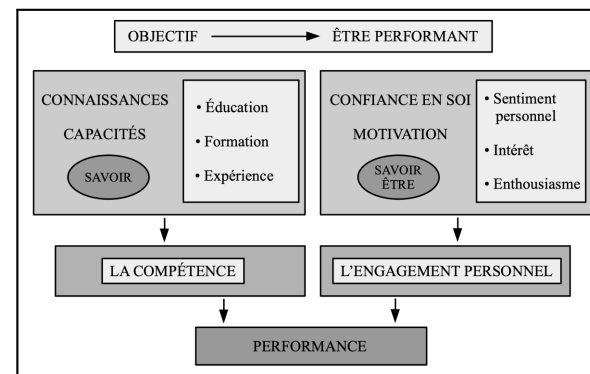
- MQ : Introduction au monde quantique

- équations : systèmes linéaires et équations polynomiales, équations différentielles ;
- trigonométrie : trigonométrie dans le triangle, cercle trigonométrique, formules de trigonométrie ;
- géométrie : périmètres, aires et volumes usuels, vecteurs, produit scalaire, projection, équation d'une droite, produit vectoriel, barycentre ;
- grandeurs algébriques ;
- nombres complexes : opérations, module, argument ;
- fonctions : fonctions polynomiales, puissances, trigonométriques (sinus, cosinus, tangente), logarithme, exponentielle, calculs de dérivées et de primitives usuelles, représentation graphique.

Occasionnellement nous utiliserons des programmes en langage Python.

3 Quelques notions sur l'apprentissage

3.1 Être performant et efficace



(schéma inspiré de "Le livre qui va faire de vous un chef", Max Schiavon, éd Pierre de Taillac)

3.2 Les grands principes de l'apprentissage

- **L'attention :**
 - elle est à la source de la connaissance et de l'action ;
 - il ne faut pas oublier l'objectif fixé.
- **L'engagement actif :**
 - un organisme passif n'apprend pas ;
 - il faut alterner périodes d'enseignement explicites et d'auto-évaluation ;
 - des tests répétés des connaissances permettent de voir ce que l'on ne sait pas ;

2.5 Les calculs

En physique on élabore des modèles permettant de décrire et d'interpréter des phénomènes. Ces modèles sont basés sur des hypothèses et des relations mathématiques : il est donc indispensable d'avoir des bases solides de calculs et de mathématiques.

Nous allons utiliser des notions dans les domaines suivants :

- calculs : fractions, puissances, développer et factoriser des expressions, savoir faire des calculs littéraux (avec des lettres) ;

- la curiosité joue un rôle moteur (source de motivation à apprendre).

- **Le retour d'information :**

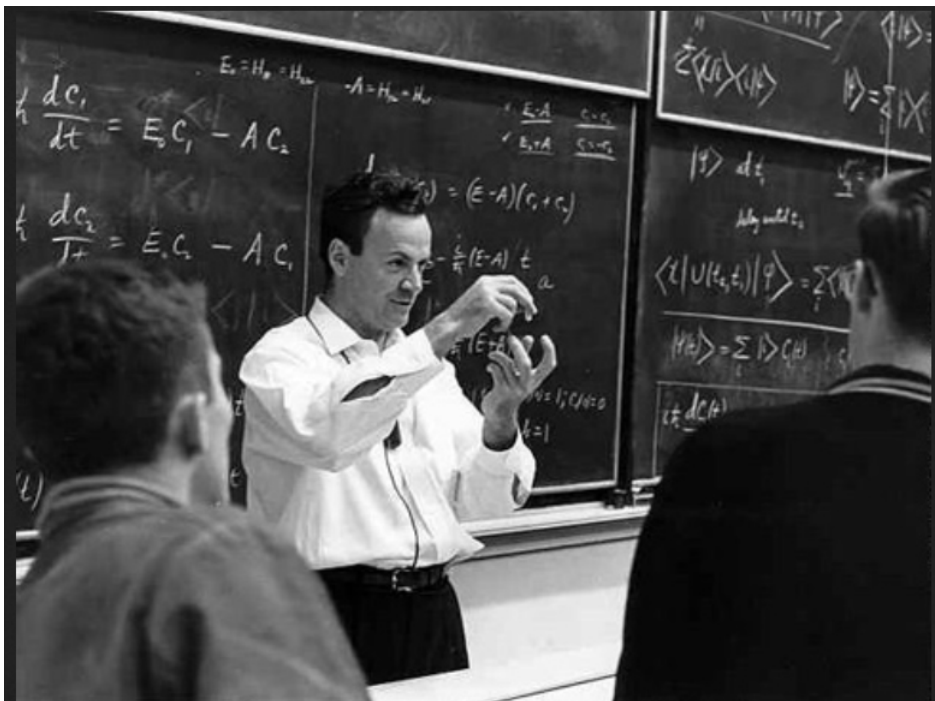
- l'erreur ou l'incertitude sont normales, et même indispensables. Elles n'impliquent ni sanction ni punition ;
- l'étudiant doit tirer profit de ce retour ;
- l'étudiant doit avoir conscience de ses progrès.

- **La consolidation :**

- l'automatisation transfère les connaissances vers des réseaux non conscients : elle permet de se concentrer sur autre chose ;
- le sommeil est important (améliore la mémoire, la généralisation, ...).

3.3 Richard Feynman

• Richard Feynman est l'un des plus grands physiciens du XX^{ème} siècle (prix Nobel de physique en 1965). Atypique et d'une intelligence exceptionnelle, Feynman est aussi connu pour son cours de physique prodigé au CalTech de 1961 à 1963.



Richard P. Feynman en discussion avec des étudiants à la fin d'un cours.

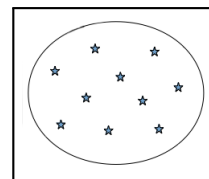
• Le texte suivant est extrait du "Cours de physique de Feynman", Dunod éditeur ; tome "Réviser la physique avec Feynman".

« Il ne suffit pas de mémoriser toutes les formules et de vous dire : " Je connais toutes les formules ; tout ce qu'il me reste à faire, c'est de savoir où les appliquer dans le problème !". Vous finirez par perdre le fil, parce que la physique est une chose infiniment étendue : il y a des millions de formules. Il est impossible de toutes les mémoriser - impossible !

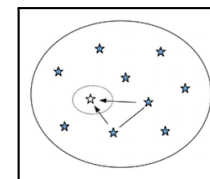
Il est donc indispensable que vous appreniez à "triangler", à reconstruire quelque chose à partir de ce que vous savez déjà. C'est absolument nécessaire !

Parce que l'utilité réelle des physiciens - à la fois pour découvrir des nouvelles lois de la nature et pour développer des nouveautés dans l'industrie, etc... - ce n'est pas de parler de ce qui est déjà connu, mais de faire quelque chose de nouveau à partir de choses connues : on effectue une "triangulation" que jamais personne n'a faite auparavant.

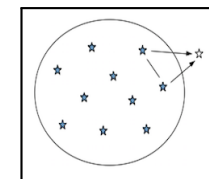
Pour apprendre à faire ça, vous devez oublier ces histoires de mémorisation de formules et apprendre à comprendre les relations mutuelles dans la nature. C'est beaucoup plus difficile au début, mais c'est la seule voie vers la réussite. »



Ensemble des relations de physique représentées par des étoiles.



Si l'on sait "triangler", on peut retrouver une relation oubliée.



Si l'on sait "triangler", on peut trouver une relation inconnue.