

## Annexe

# Programme de sciences physiques, complément des sciences de l'ingénieur de terminale générale

---

## Préambule

### Objectifs de formation

En classe terminale de la voie générale, les élèves qui suivent l'enseignement de spécialité de sciences de l'ingénieur bénéficient d'un enseignement de deux heures de sciences physiques. Cet enseignement de complément leur permet de se projeter dans des études supérieures relevant notamment des domaines de la technologie et de l'ingénierie.

L'enseignement de sciences physiques complétant l'enseignement de spécialité de sciences de l'ingénieur vise deux objectifs principaux : d'une part, apporter aux élèves un corpus de savoirs et de savoir-faire fondamentaux indispensables dans le cadre de l'apprentissage des sciences de l'ingénieur et d'autre part, les préparer à une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur scientifique et technologique.

Ce programme met l'accent sur la **pratique expérimentale** et l'activité de **modélisation** en proposant une approche concrète et **contextualisée** des concepts et phénomènes étudiés. Des exemples empruntés à la culture technologique des élèves sont privilégiés.

Dans le domaine de la mécanique, où les compétences des élèves sont déjà affirmées, un apport conceptuel est proposé pour les objets fondamentaux (cinématique et dynamique) ; un élargissement des domaines d'application leur permet de découvrir les capacités prédictives des lois de la mécanique pour l'étude de mouvements variés. Dans le domaine de l'énergétique, l'étude approfondie du premier principe de la thermodynamique vient structurer et renforcer les compétences des élèves en ce qui concerne les échanges et les bilans d'énergie. Le thème « Ondes et signaux » aborde, quant à lui, certaines caractéristiques des ondes : la diffraction et les interférences. Ces sujets ne sont pas traités dans le programme de sciences de l'ingénieur mais constituent un apport précieux, notamment lors de l'étude de l'échange d'informations. Enfin, la présentation de notions en relation avec la problématique de l'interaction lumière-matière peut être réinvestie, par exemple dans la partie « Expérimenter et simuler » du programme de sciences de l'ingénieur.

### Structure du programme

Le programme est structuré autour des trois thèmes : « Mouvement et interactions », « L'énergie : conversions et transferts » et « Ondes et signaux ».

**Chaque thème comporte une introduction spécifique indiquant les objectifs** de formation, les domaines d'application, notamment ceux abordés dans le programme de sciences de l'ingénieur. Elle est complétée par un tableau en deux colonnes identifiant, d'une part, les notions et contenus à connaître, d'autre part, les capacités exigibles ainsi que les **activités expérimentales** support de la formation. Par ailleurs, des capacités mathématiques et numériques sont mentionnées ; le langage de programmation conseillé est le langage Python.

La présentation du programme n'impose pas l'ordre de sa mise en œuvre par le professeur, laquelle relève de sa liberté pédagogique. Une attention particulière doit être portée par l'équipe pédagogique à la mise en place d'une progression commune de l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur et du complément de sciences physiques.

## Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Les compétences retenues pour caractériser la démarche scientifique visent à structurer la formation et l'évaluation des élèves. L'ordre de leur présentation ne préjuge en rien de celui dans lequel elles sont mobilisées par l'élève. Quelques exemples de capacités associées précisent les contours de chaque compétence, l'ensemble n'ayant pas vocation à constituer un cadre rigide.

| Compétences                       | Quelques exemples de capacités associées   |
|-----------------------------------|--|
| <b>S'approprier</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Énoncer une problématique.</li> <li>- Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.</li> <li>- Représenter la situation par un schéma.</li> </ul>  |
| <b>Analyser/<br/>Raisonnement</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formuler des hypothèses.</li> <li>- Proposer une stratégie de résolution.</li> <li>- Planifier des tâches.</li> <li>- Évaluer des ordres de grandeur.</li> <li>- Choisir un modèle ou des lois pertinentes.</li> <li>- Choisir, élaborer, justifier un protocole.</li> <li>- Faire des prévisions à l'aide d'un modèle.</li> <li>- Procéder à des analogies.</li> </ul> |
| <b>Réaliser</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre les étapes d'une démarche.</li> <li>- Utiliser un modèle.</li> <li>- Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.).</li> <li>- Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.</li> </ul>   |
| <b>Valider</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance.</li> <li>- Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence.</li> <li>- Confronter un modèle à des résultats expérimentaux.</li> <li>- Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.</li> </ul>                                  |
| <b>Communiquer</b>                | <p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ;</li> <li>- utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ;</li> <li>- échanger entre pairs.</li> </ul>  |

Le niveau de maîtrise de ces compétences dépend de **l'autonomie et de l'initiative** requises dans les activités proposées aux élèves.

La mise en œuvre des programmes doit aussi être l'occasion d'aborder avec les élèves des questions liées à la poursuite d'études dans le domaine des sciences et de la technologie, les spécificités et finalités de la physique-chimie, des questions à portée civique comme par exemple la responsabilité individuelle et collective, la **sécurité** pour soi et pour autrui, l'éducation à l'**environnement** et au **développement durable**.

Comme tous les enseignements, ce complément aux sciences de l'ingénieur contribue au développement des compétences orales à travers notamment la pratique de l'argumentation. Celle-ci conduit à préciser sa pensée et à expliciter son raisonnement de manière à convaincre. Elle permet à chacun de faire évoluer sa pensée, jusqu'à la remettre en cause si nécessaire, pour accéder progressivement à la vérité par la preuve. Elle prend un relief particulier pour ceux qui choisiront de préparer l'épreuve orale terminale du baccalauréat en l'adossant à l'enseignement de spécialité des sciences de l'ingénieur.

## Repères pour l'enseignement

Le professeur est invité à :

- privilégier l'activité des élèves en évitant tout dogmatisme ;
- permettre et encadrer l'expression par les élèves de leurs conceptions initiales et les prendre en charge ;
- valoriser **l'approche expérimentale** ;
- contextualiser les apprentissages pour leur donner du sens ;
- procéder régulièrement à des **synthèses** pour expliciter et structurer les savoirs et savoir-faire, et les réinvestir dans des contextes différents ;
- tisser des liens aussi bien entre les notions du programme qu'avec les autres enseignements, notamment les sciences de l'ingénieur et l'enseignement scientifique commun à tous les élèves de la voie générale ;
- favoriser l'acquisition d'automatismes et développer l'autonomie des élèves en proposant des temps de travail personnel ou en groupe, dans et hors la classe.

Dès qu'elle est possible, une mise en perspective des savoirs avec **l'histoire des sciences** et **l'actualité scientifique et technologique** est fortement recommandée.

Le recours ponctuel à des « **résolutions de problèmes** » est encouragé, ces activités contribuant efficacement à l'acquisition des compétences de la démarche scientifique.

## Mesure et incertitudes

L'objectif est avant tout d'exercer le discernement et l'esprit critique de l'élève à propos de valeurs mesurées, calculées ou estimées. Cette thématique est également à mettre en perspective avec l'analyse des écarts entre les performances observées et attendues, présente dans le programme de sciences de l'ingénieur.

| Notions et contenus  | Capacités exigibles   |
|--|---|
| <p><b>Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.</b></p> <p><b>Incertitude-type.</b></p> <p><b>Incertitudes-types composées.</b></p> <p><b>Écriture du résultat. Valeur de référence.</b></p> | <p>Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type.</p> <p>Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole.</p> <p>Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.</p> <p><b>Capacité numérique :</b> Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation.</p> <p>Définir qualitativement une incertitude-type.</p> <p>Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).</p> <p>Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).</p> <p>Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes-types associées sont connues.</p> <p><b>Capacité numérique :</b> Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire illustrant la détermination de la valeur d'une grandeur avec incertitudes-types composées.</p> <p>Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.</p> <p>Comparer, le cas échéant, le résultat d'une mesure <math>m_{mes}</math> à une valeur de référence <math>m_{ref}</math> en utilisant le quotient <math>\frac{ m_{mes}-m_{ref} }{u(m)}</math> où <math>u(m)</math> est l'incertitude-type associée au résultat.</p> |

## Contenus disciplinaires

### Mouvement et interactions

De très nombreux systèmes conçus par les ingénieurs comportent des mécanismes mettant en jeu des mouvements et des actions mécaniques qu'il est nécessaire de modéliser, en particulier pour prévoir la valeur des grandeurs associées aux performances attendues.

L'objectif principal de ce thème est d'introduire la seconde loi de Newton et de développer quelques-unes de ses conséquences. Il s'agit, à partir de cette loi, d'établir les équations générales du mouvement dans des situations variées et de les résoudre. L'étude des mouvements dans un champ uniforme permet d'appréhender de nombreuses situations relevant du quotidien et conduit à en analyser les aspects énergétiques. De même, l'étude des mouvements dans un champ de gravitation ouvre les domaines de la conquête spatiale et de l'observation de la Terre depuis l'espace.

Tout au long de cet enseignement de mécanique, le champ de validité des modèles utilisés est soigneusement précisé et les lois et concepts sont illustrés en s'appuyant sur les nombreux domaines concernés : transports, aéronautique, sport, géophysique, etc.

Lors des activités expérimentales, il est possible d'utiliser la variété des outils courants de captation et de traitement d'images vidéo, ainsi que les nombreux capteurs présents dans les objets connectés dont disposent les élèves. L'activité de simulation peut également être mise à profit notamment pour exploiter des modèles à des échelles d'espace ou de temps difficilement accessibles à l'expérimentation. Ce thème est l'occasion de développer des capacités de programmation, par exemple pour simuler et analyser le mouvement d'un système.

| Notions et contenus   | Capacités exigibles<br><i>Activités expérimentales support de la formation</i>  |
|---|---|
| <b>1. Décrire un mouvement</b>  |   |
| Vecteurs vitesse et accélération.<br>Coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet pour un mouvement circulaire.<br>Mouvement rectiligne uniformément accéléré.<br>Mouvement circulaire uniforme. | Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.<br><br>Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme.<br><i>Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie pour déterminer les coordonnées du vecteur position en fonction du temps et en déduire les coordonnées approchées ou les représentations des vecteurs vitesse et accélération.</i><br><b>Capacité numérique</b> : Représenter des vecteurs accélération d'un point lors d'un mouvement à l'aide d'un langage de programmation.<br><b>Capacité mathématique</b> : Dériver une fonction. |

## 2. Relier les actions appliquées à un système à son mouvement

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Deuxième loi de Newton</b></p> <p>Centre de masse d'un système.</p> <p>Référentiel galiléen.</p> <p>Deuxième loi de Newton.</p>  | <p>Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système, cette position étant donnée.</p> <p>Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.</p> <p>Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées pour en déduire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le vecteur accélération du centre de masse, les forces appliquées au système étant connues ;</li> <li>- la somme des forces appliquées au système, le mouvement du centre de masse étant connu.</li> </ul>  |
| <p><b>Mouvement dans un champ uniforme</b></p> <p>Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.</p> <p>Champ électrique créé par un condensateur plan.</p> <p>Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme.</p> <p>Aspects énergétiques.</p> | <p>Montrer que le mouvement dans un champ uniforme est plan.</p> <p>Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.</p> <p>Établir l'équation de la trajectoire.</p> <p>Discuter de l'influence des grandeurs physiques sur les caractéristiques du champ électrique créé par un condensateur plan, son expression étant donnée.</p> <p>Exploiter la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique dans le cas du mouvement dans un champ uniforme.</p> <p><i>Utiliser des capteurs ou une vidéo pour déterminer les équations horaires du mouvement du centre de masse d'un système dans un champ uniforme. Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique.</i></p> <p><b>Capacité numérique</b> : Représenter, à partir de données expérimentales variées, l'évolution des grandeurs énergétiques d'un système en mouvement dans un champ uniforme à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur.</p> <p><b>Capacités mathématiques</b> : Résoudre une équation différentielle, déterminer la primitive d'une fonction, utiliser la représentation paramétrique d'une courbe.</p> |
| <p><b>Mouvement dans un champ de gravitation</b></p> <p>Mouvement des satellites et des planètes. Orbite.</p> <p>Lois de Kepler.</p> <p>Période de révolution.</p> <p>Satellite géostationnaire.</p>   | <p>Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien.</p> <p>Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire.</p> <p><b>Capacité numérique</b> : Exploiter, à l'aide d'un langage de programmation, des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler.</p>   |



## L'énergie : conversions et transferts

Le dimensionnement des objets technologiques, étape essentielle du travail de l'ingénieur, inclut très souvent des problématiques d'échanges thermiques. En complémentarité avec l'enseignement de sciences de l'ingénieur, l'enjeu de ce thème est désormais d'effectuer des bilans d'énergie en s'appuyant sur le premier principe de la thermodynamique. Une fois le système clairement défini, il s'agit d'identifier les transferts d'énergie, de prévoir leur sens et enfin d'effectuer un bilan entre un état initial et un état final de ce système dans le cadre d'une démarche à adapter en fonction des informations disponibles. L'étude de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat est l'occasion de proposer une modélisation par une équation différentielle du premier ordre et d'introduire la notion de temps caractéristique.

Ce thème peut prendre appui sur un ensemble varié de domaines – transport, habitat, espace, santé – et permettre de sensibiliser les élèves à la problématique des économies d'énergie par une approche rationnelle, là encore en lien avec l'enseignement de sciences de l'ingénieur.

| Notions et contenus  | Capacités exigibles<br><i>Activités expérimentales support de la formation</i>   |
|--|--|
| <p>Énergie interne d'un système. Aspects microscopiques.</p> <p>Premier principe de la thermodynamique. Transfert thermique, travail.</p> <p>Capacité thermique d'un système incompressible. Énergie interne d'un système incompressible.</p> <p>Modes de transfert thermique. Flux thermique. Résistance thermique.</p> <p>Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.</p> | <p>Citer les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne d'un système.</p> <p>Prévoir le sens d'un transfert thermique.</p> <p>Distinguer, dans un bilan d'énergie, le terme correspondant à la variation de l'énergie du système des termes correspondant à des transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.</p> <p>Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique.</p> <p><i>Procéder à l'étude énergétique d'un système thermodynamique.</i></p> <p>Décrire qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement.</p> <p>Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant donnée.</p> <p>Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps.</p> <p><i>Suivre l'évolution de la température d'un système incompressible recevant un flux thermique donné. Modéliser l'évolution de sa température.</i></p> <p><b>Capacité mathématique</b> : Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant.</p> |

## Ondes et signaux

### 1. Caractériser les phénomènes ondulatoires

Cette partie concerne l'étude des phénomènes mis en jeu dans des systèmes que l'ingénieur conçoit et met en œuvre, en particulier lorsqu'il s'agit d'émettre et de recevoir un signal ou d'échanger des informations. En complément de l'enseignement de sciences de l'ingénieur, l'étude proposée permet de caractériser quelques propriétés des ondes qui interviennent lors de la conception de systèmes technologiques.

Ce travail, commencé dès la classe de seconde avec l'étude des signaux sonores, permet d'exploiter la modélisation des ondes en caractérisant des phénomènes qui leur sont propres : diffraction, interférences, effet Doppler. Tout en préparant à la poursuite d'études scientifiques, cette partie permet d'illustrer la variété des domaines d'application : télécommunications, santé, astronomie, géophysique, biophysique, acoustique, lecture optique, interférométrie, vélocimétrie, etc.

Même si certains de ces phénomènes peuvent échapper à l'observation directe, le recours à l'instrumentation et à la mesure permet de mener de nombreuses expériences pour illustrer ou tester les modèles. Il s'agit donc d'interpréter des observations courantes en distinguant bien le ou les phénomènes en jeu et en portant une attention particulière aux conditions de leur manifestation. Pour l'étude de la diffraction et des interférences, on se limite au cas des ondes sinusoïdales.

| Notions et contenus   | Capacités exigibles<br><i>Activités expérimentales support de la formation</i>  |
|---|---|
| Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore.<br>Atténuation (en dB).                               | Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.<br><i>Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.</i><br><b>Capacité mathématique</b> : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.  |
| Diffraction d'une onde par une ouverture : conditions d'observation et caractéristiques.<br>Angle caractéristique de diffraction. | Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.<br>Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.<br><i>Illustrer et caractériser qualitativement le phénomène de diffraction dans des situations variées.</i><br><i>Exploiter la relation donnant l'angle caractéristique de diffraction dans le cas d'une onde lumineuse diffractée par une fente rectangulaire en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.</i> |
| Interférences de deux ondes, conditions d'observation.<br>Interférences constructives,<br>Interférences destructives.             | Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.<br>Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.<br><i>Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses, en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.</i>  |



|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Effet Doppler.<br>Décalage Doppler. | Décrire qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.<br>Expliquer qualitativement l'effet Doppler.<br>Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension.<br>Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques.<br><i>Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.</i> |
|-------------------------------------|--|

## 2. Décrire la lumière par un flux de photons

Les dispositifs permettant d'émettre ou de capter des photons, en particulier pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique et réciproquement, sont très présents dans les systèmes technologiques. Les notions introduites dans cette partie sont importantes pour une poursuite d'études scientifiques, d'autant qu'elles ne sont pas abordées dans l'enseignement de spécialité de sciences de l'ingénieur.

La description de l'effet photoélectrique permet d'introduire le caractère particulière de la lumière, et conduit à effectuer un bilan énergétique. L'étude de l'absorption et de l'émission de photons concerne très directement le fonctionnement des capteurs et sources de lumière mis en jeu dans de nombreux systèmes technologiques.

Cette partie fournit également l'opportunité d'évoquer le processus de construction des connaissances scientifiques, en s'appuyant par exemple sur les débats scientifiques historiques à propos de la nature de la lumière.

| <b>Notions et contenus</b>   | <b>Capacités exigibles</b><br><b>Activités expérimentales support de la formation</b>  |
|--|--|
| Le photon : énergie, vitesse, masse.<br>Effet photoélectrique.<br>Travail d'extraction.<br><br>Absorption et émission de photons.<br>Enjeux énergétiques : rendement d'une cellule photovoltaïque. | Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique.<br>Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulière de la lumière.<br>Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.<br>Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.<br><br>Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et IR, etc.).<br><i>Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.</i> |