



Ministerium für  
Bildung und Kultur



MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION  
NATIONALE



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT

06/2017

# Programme

## LFA / DFG

## Physique

## Série SBC

## Première et Terminale

Travail validé par le ministère de la formation et de la culture du Land de la Sarre, le ministère de la culture de la jeunesse et du sport du Land du Bade-Wurtemberg et le ministère de l'Éducation nationale de la République française

# 1 Idées directrices

## 1.1 Caractère formateur de la physique

L'enseignement de la physique se donne pour but, outre l'acquisition par l'élève de connaissances disciplinaires concrètes, de l'initier aux méthodes et aux aspects fondamentaux de la discipline en tant que science. Dans le cadre d'un enseignement orienté sur le développement de compétences, l'élève découvre, notamment par la pratique expérimentale, les méthodes de travail essentielles de la discipline et apprend à les appliquer. Il acquiert en particulier la capacité à appréhender la physique en tant que science dans un contexte social et en cela à réfléchir de façon critique, sur la base de connaissances disciplinaires, aux aspects et aux questions de son évolution historique ou encore de son importance pour la société.

## 1.2 Les compétences

La formation au baccalauréat franco-allemand développe les compétences nécessaires aux élèves pour la poursuite d'études universitaires et constitue le bagage scientifique préalable et nécessaire à leur admission dans une formation de l'enseignement supérieur en France ou en Allemagne. Ceci est rendu possible par l'acquisition des compétences requises dans les deux pays. Ces compétences peuvent être d'ordre technique, scientifique ou plus général. Elles ont aussi pour objectif la formation civique ainsi que l'intégration sociale.

Le tableau suivant donne un aperçu de l'ensemble des domaines fondamentaux de compétences pour la discipline physique. Le programme d'enseignement présente ensuite les thèmes spécifiques dans le cadre desquels ils seront abordés.

| <b>Compétences Scientifiques (CS)</b>                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Formulation d'un problème</b>                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poser un problème, formuler des hypothèses de travail adaptées</li> </ul>                                                                                                                                                                               |
| <b>Stratégie de résolution de problème</b>                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaborer un protocole expérimental, exploiter et interpréter une expérience</li> <li>- Élaborer un modèle</li> <li>- Vérifier la validité de la solution d'un problème ainsi que ses limites</li> <li>- Établir des analogies et généraliser</li> </ul> |
| <b>Analyse dimensionnelle</b><br><br><b>Grandeurs, unités, précision</b><br><b>Grandeur physique et ordre de grandeur</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser une analyse dimensionnelle et une analyse d'incertitude (approche qualitative)</li> <li>- Nommer une variable et l'exploiter en fonction d'un contexte donné</li> <li>- Estimer un ordre de grandeur</li> </ul>                                |
| <b>Démarche expérimentale</b>                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaborer un protocole expérimental, exploiter et interpréter une expérience</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
| <b>Outils de résolution de problèmes scientifiques</b>                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectuer un traitement mathématique (graphique, fonction de base)</li> <li>- Employer du vocabulaire scientifique spécifique dans une argumentation</li> <li>- Utiliser des systèmes d'acquisition et de traitement de données.</li> </ul>             |

### **Compétences de communication (CC)**

- Travail en groupe : échange d'informations et discussion
- Utilisation d'un vocabulaire scientifique spécifique
- Argumentation scientifique rigoureuse, organisation de la pensée et de l'expression
- Argumentation déductive et inductive
- Rédaction un compte rendu organisé, détaillé, et démonstratif
- Exposés individuels ou collectifs utilisant des outils de communications modernes

### **Compétences méthodologiques (CM)**

- Efficacité dans l'organisation du travail (en temps libre, en temps limité) (élaboration de stratégies)
- Recherches complémentaires par les élèves
- Prise d'initiative
- Aptitude à travailler en groupe
- Recherche documentaire (choix des sources et esprit critique)

### **Sciences et Société (SS)**

- Applications pratiques dans la vie quotidienne
- Esprit critique
- Comportement responsable et citoyen
- Promotion de la culture scientifique

## **1.3 Réflexions didactiques**

En se fondant sur les compétences à acquérir évoquées plus haut, l'enseignement de la physique en classe de Première et de Terminale a pour objectif, d'une part, de permettre à l'élève de se faire une vue d'ensemble de certains domaines de la discipline, et d'autre part, de souligner les liens entre ces derniers. Ainsi, parallèlement à la transmission des éléments essentiels propres aux thèmes abordés, le raisonnement par analogie revêt un caractère essentiel. Il permet à l'élève de procéder de façon active à des comparaisons, dans différents domaines de la physique, entre des approches conceptuelles se faisant écho. L'élève n'appréhende ainsi pas la physique comme la juxtaposition de phénomènes ou de lois isolés, mais il réfléchit au contraire aux méthodes de travail fondamentales de cette science et à leurs similitudes, tant dans le domaine expérimental que dans le domaine de la formalisation mathématique. Les activités expérimentales permettent de pratiquer des démarches d'investigation.

## **1.4 Remarque concernant l'appréhension des thèmes au choix**

En l'absence d'indications dans le programme d'enseignement, tous les thèmes doivent obligatoirement être abordés. Les thèmes au choix sont une exception à cette règle : l'enseignant peut opter dans le domaine « physique moderne », soit pour le thème I « physique quantique (approfondissement) », soit pour le thème II « théorie de la relativité », sachant qu'au moins l'un des deux thèmes au choix doit être traité.

## 2 Les compétences

Dans le tableau suivant, les compétences énumérées pour chaque domaine soulignent les capacités essentielles à développer en lien avec les contenus. Les abréviations CS, CC, CM, SS (voir plus haut) explicitent le lien entre les champs de compétences sus-cités et les domaines abordés.

Dans la colonne « compétences et contenus », les éléments cités entre parenthèses servent à définir les sous-thèmes. Leur enseignement doit être considéré comme obligatoire.  
Les formules ne sont citées qu'à titre d'exemples pour expliciter certaines formulations (par exemple les formules vectorielles).

La colonne « remarques » délimite les contenus, donne des pistes pour leur mise en œuvre dans la perspective du baccalauréat et en souligne de façon explicite les aspects ne faisant pas l'objet de l'examen.

| Compétences et contenus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Remarques                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I INTERACTIONS ET CHAMPS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                |
| <p><b>1 Interaction gravitationnelle</b></p> <p><i>Compétences:</i></p> <p>(1) Rechercher et exploiter des informations sur l'histoire de la gravitation (CS, CM).</p> <p>(2) Définir les limites d'un modèle (CS).</p> <p>(3) Connaître la différence entre une loi empirique et une loi établie de façon théorique (CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expression vectorielle<br/> <math display="block">\vec{F}_G = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}</math></li> <li>• Champ gravitationnel<br/>           (Définition vectorielle et unité dans le cas d'un corps à symétrie sphérique)</li> <li>• Champs de pesanteur créée en un point de la surface S d'un objet sphérique de masse m <math>\vec{G}_0(S) = -\frac{G \cdot m}{R_0^2} \cdot \vec{u}_{0S}</math> et en un point P situé à l'altitude h <math>\vec{G}(h) = -\frac{G \cdot m}{(R+h)^2} \cdot \vec{u}_{0P}</math></li> <li>• Condition d'uniformité d'un champ de pesanteur (lois empiriques de Kepler)</li> </ul> | <p>Aspect historique</p> <p>Trajectoire elliptique</p> <p>Vérification de la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler</p> |
| <p><b>2 Interactions électriques</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Distinguer les grandeurs électriques scalaires et vectorielles et établir le lien entre la formulation utilisée en mathématique et celle en physique (CS).</p> <p>(2) Chercher les analogies dans le cas du concept de</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>champs et les expliquer (CS, CC).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expression vectorielle de la loi de Coulomb<br/> <math>(\vec{F}_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB}</math>, analogies et différences avec la loi de gravitation)</li> <li>• Champ électrique<br/> (définition vectorielle, intensité du champs électrique dans le cas d'une charge ponctuelle <math>\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \vec{u}_{OP}</math>, champ créé par deux charges, champ homogène)</li> <li>• Différence de potentiel<br/> (travail d'une force électrique, potentiel électrique, tension électrique, lignes équipotentielle, cas du champ homogène)</li> <li>• Énergie cinétique de particules soumises à un champ électrique<br/> (vitesse d'une particule chargée soumise à une différence de potentiel, électron-volt, unité de d'énergie)</li> </ul>                                                                                      | <p>Représentation des lignes de champ (dipôle également)</p> <p>Mécanisme d'un orage</p> <p>Canon à électrons</p> |
| <p><b>3 Interactions magnétiques</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Classer des matériaux en différenciant un matériau ferromagnétique d'un matériau paramagnétique en faisant un lien avec des applications (CS, SS).</li> <li>(2) Interpréter avec de l'aide une expérience en utilisant un modèle (CS).</li> </ol> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaction magnétique<br/> (aimant permanent, courant électrique)</li> <li>• Notion de champ magnétique<br/> (définition vectorielle et unité)</li> <li>• Lignes de champs magnétiques<br/> (aimant droit, aimant en U, fil rectiligne infini, spire, solénoïde, bobines de Helmholtz. Analogie entre les champs obtenus avec un aimant droit et un solénoïde)</li> <li>• Champs magnétiques créés par des courants<br/> (spire, bobine, solénoïde, bobine de Helmholtz, fil rectiligne infini, expression et calcul du champ magnétique crée par un solénoïde)</li> <li>• Champ magnétique terrestre</li> </ul> | <p>Aspects historiques</p> <p>Ferromagnétisme, domaine de Weiss</p> <p>Mesure d'un champ magnétique</p>           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                   |

| II LOIS DE LA DYNAMIQUE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1 Cinématique</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Utiliser et présenter les outils mathématiques adaptés à l'étude de la cinématique (CS, CM).</p> <p>(2) Identifier un référentiel et choisir un repère de manière à simplifier l'étude d'un mouvement (CS, CM).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Description d'un point mobile (référentiel, repère d'étude, trajectoire)</li> <li>Description vectorielle (vecteur vitesse: <math>\vec{v} = d\vec{OM}/dt</math>, vecteur accélération : <math>\vec{a} = d\vec{v}/dt</math>, composantes dans la base de Frenet : <math>a_t = \frac{dv}{dt}</math> ; <math>a_n = \frac{v^2}{R}</math>)</li> <li>Différents types de mouvement (mouvement uniforme, uniformément varié, accéléré et retardé, équation du mouvement, équation de trajectoire).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Construction du vecteur accélération à partir de relevé de trajectoire</p> <p>Utilisation d'un système d'acquisition de données</p>                                                      |
| <p><b>2 Les lois de la dynamique</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Formuler un problème de mécanique (identification du système, du référentiel et des lois utilisées) et exploiter les notions appropriées (CS, CC).</p> <p>(2) Choisir la loi la plus adaptée à la situation physique (conservation de l'énergie, théorème de l'énergie cinétique, équation fondamentale de la mécanique) (CS).</p> <p>(3) Formuler des hypothèses simplificatrices et en déterminer les conséquences sur la résolution du problème (CS)</p> <p>(4) Établir des analogies entre différents domaines de la physique et en exprimer les différences (CS, CC)</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rappels (centre d'inertie, principe d'inertie, référentiel galiléen)</li> <li>Principe fondamental de la dynamique (énoncés et formulations vectorielles <math>\Sigma \vec{F}_{ext} = \Delta \vec{p} / \Delta t</math>, application au solide, théorème du centre d'inertie, translation d'un solide sur un plan incliné avec ou sans frottement, avec force motrice, tension du fil d'un pendule, réaction de supports)</li> <li>Projectiles en mouvement dans un champ de pesanteur (chute libre, chute libre avec vitesse initiale avec équation de trajectoire)</li> <li>Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique (accélération d'une particule chargée, déviation électrostatique)</li> </ul> | <p>Expérience avec la table à coussin d'air</p> <p>Pendule pesant, pendule suspendu dans un wagon en mouvement, inclinaison lors des virages</p> <p>Mouvement de chute avec frottements</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>3 Mouvement des planètes</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Reconnaître le caractère approximatif d'un modèle : comparer les valeurs calculées aux valeurs expérimentales et identifier l'influence d'autres facteurs qui interviennent (CS).</li> <li>(2) Identifier des applications techniques des satellites en physique (SS).</li> </ol> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approximation du mouvement circulaire (vitesse, période)</li> <li>• Mouvement des satellites (satellite géostationnaire)</li> <li>• Expression de la constante de la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler:<br/> <math display="block">\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{M \cdot G}</math> </li> </ul>                              | <p>Utilisation d'un logiciel de simulation pour l'étude de trajectoires</p> <p>Apesanteur</p>                                                                        |
| <p>III SYSTEMES OSCILLANTS</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                      |
| <p><b>1 Systèmes oscillants</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Rechercher des phénomènes comparables dans différents domaines de la physique (CS)</li> <li>(2) Citer différents phénomènes oscillatoires de la vie quotidienne (SS).</li> </ol> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemples d'oscillateurs</li> <li>• Grandeurs physiques utilisées pour décrire les systèmes oscillants (période d'oscillation, fréquence, amplitude et énergie)</li> <li>• Évolution temporelle des oscillations (amortissement : régime pseudo-période, régime critique et régime aperiodique, approche qualitative des oscillations forcées et du phénomène de résonance, conditions d'obtention de la résonance)</li> </ul> | <p>Pendule élastique, pendule pesant<br/>Observation qualitative de différents types d'oscillation dans d'autres domaines</p> <p>Amortissement liquide et gazeux</p> |
| <p><b>2 Oscillations harmoniques pour le pendule simple et le pendule élastique horizontal</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Établir le modèle des oscillateurs harmoniques et en définir les limites (CS).</li> <li>(2) Raisonner à partir d'une représentation graphique (CM, CC).</li> </ol> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Étude expérimentale des deux pendules (fréquence propre, période, échange énergétique)</li> <li>• Étude théorique (équation différentielle pour des petites oscillations (sans frottement), solution de la l'équation différentielle, notion de phase et de pulsation propre)</li> </ul>                                                                                     | <p>Détermination de la constante de raideur d'un ressort</p>                                                                                                         |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspects énergétiques<br/>(énergie cinétique, énergie potentielle, énergie potentielle élastique et conservation de l'énergie)</li> <li>• Exemple d'oscillateurs non harmoniques<br/>(approche qualitative)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                         |
| IV LES ONDES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                         |
| <p><b>1 Notion d'ondes</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Reconnaître une onde dans différents contextes (CS)</p> <p>(2) Décrire qualitativement les phénomènes de propagation des ondes (CC).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondes mécaniques et électromagnétique (déformations longitudinales et transversales)</li> <li>• Chaîne de propagation (émetteur, milieu de propagation, vitesse de propagation, équation horaire de propagation et récepteur)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Mesure de la célérité d'onde dans différents exemples (à la surface de l'eau, dans un ressort, dans une corde, d'une onde sonore et ultrasonore)</p> |
| <p><b>2 Propagation d'une onde</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Identifier dans le cadre de la théorie des ondes, la signification des différentes études des dimensions spatiales en fonction du phénomène étudié (CS).</p> <p>(2) Différencier des sons perçus dans la vie quotidienne de ceux utilisés dans le cadre de mesures physiques (SS, CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notions de propagation (onde progressive, onde stationnaire, amplitude, période, longueur d'onde, lignes et surfaces d'onde)</li> <li>• Onde le long d'une corde (1 dimension)<br/>(onde transversale, aspect du milieu à différents instants)</li> <li>• Onde à la surface de l'eau (2 dimensions)<br/>(ondes transversales, circulaires, rectilignes, aspect du milieu à différents instants)</li> <li>• Les ondes sonores (3 dimensions)<br/>(onde longitudinale, onde sphérique, principe du modèle émetteur-récepteur, domaine audible, différenciation d'un son et d'un bruit (approche qualitative))</li> </ul> | <p>Analyse expérimentale de la propagation d'onde (oscilloscope, interface d'acquisition)</p> <p>Effet Doppler</p>                                      |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristique d'un son dans le domaine de la musique (hauteur, intensité, timbre)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Acoustique et musique                        |
| <p><b>3 Réflexion, réfraction, diffraction d'ondes</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Comparer le comportement des ondes mécaniques et lumineuses derrière des obstacles (CS).</p> <p>(2) Réaliser des expériences de diffractions pour découvrir de manière intuitive la dépendance entre l'ordre de grandeur des variables expérimentales choisies et les possibilités d'observation (CS, CM).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propagation à une dimension (corde, deux cordes mises à bout à bout)</li> <li>• Réflexion d'ondes à deux ou trois dimensions (lois de la réflexion, écho, sonar, échographie, miroir)</li> <li>• Réfraction d'ondes à deux ou trois dimensions (lois de réfraction, cas particulier : indice de réfraction pour la lumière, réflexion totale, lentilles, fibre optique)</li> <li>• Diffraction d'ondes planes (diffraction par un bord d'écran, par un trou, par une fente, angle de diffraction)</li> </ul> | Réflexion et réfraction d'ondes, échographie |
| <p><b>4 Les interférences</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Appréhender, à partir d'observations, un formalisme adapté à l'étude de la superposition des ondes. Établir des analogies entre les différents exemples d'ondes (CS, CC).</p> <p>(2) Utiliser des méthodes graphiques appropriées pour visualiser les phénomènes d'ondes constructives et destructives (CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superposition de deux ondes (corde, surface de l'eau, ultrasons)</li> <li>• Interférences constructives et destructives (conditions quantitatives pour la différence de marche, franges d'interférences)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Cuve à ondes, ultrasons                      |
| V Électromagnétisme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1 Particules chargées dans un champ électrique ou magnétique homogène</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Savoir que la physique introduit, dans le cadre de la théorie des champs, des grandeurs spécifiques et des outils de représentations pour décrire des phénomènes variables dans l'espace (CS).</p> <p>(2) Identifier les similitudes mais aussi les différences dans la structure des champs à partir des analogies entre les champs électrique et magnétique (CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Action d'un champ électrique uniforme sur une particule chargée (force électrique <math>\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}</math> pour un condensateur plan, travail <math>W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot (V_A - V_B)</math>)</li> <li>• Action d'un champ magnétique uniforme sur une particule chargée (force de Lorentz <math>\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}</math> ou encore en notation allemande <math>\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}</math>)</li> <li>• Étude de mouvements dans un champ magnétique et électrique (mouvement dans des champs croisés, modification de la direction et déviation sur un écran)</li> </ul> | <p>Canon à l'électron<br/>Bobines de Helmholtz, spectromètre de masse, cyclotron, accélérateur de particule, force de Laplace pour un conducteur rectiligne</p>                                                                                                              |
| <p>VI Les ondes électromagnétiques en optique</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>1 Les ondes électromagnétiques</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Relier, dans le cadre de l'introduction des ondes électromagnétiques le modèle des ondes et celui de la description de la théorie des champs (CS).</p> <p>(2) Identifier le caractère ondulatoire à partir de différentes expériences (CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation des ondes électromagnétiques</li> <li>• Grandeurs caractéristiques d'une onde (réflexion, réfraction, interférences, diffraction)</li> <li>• Polarisation (approche qualitative)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Illustration avec l'exemple du dipôle de Hertz, une expérience avec les microondes</p> <p><i>Les contenus suivants ne font pas partie de l'examen du baccalauréat :</i></p> <p>courte présentation des lois de Maxwell pour compléter les expériences du niveau lycée</p> |
| <p><b>2 Caractère ondulatoire de la lumière</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Citer les domaines de validité du modèle du rayon lumineux (optique géométrique) et ses limites (optique ondulatoire) (CS).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(2) Réaliser des expériences pour déterminer une longueur d'onde (CS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rappels d'optique géométrique (propagation rectiligne, limites de l'optique géométrique)</li> <li>• Mise en évidence du caractère ondulatoire de la lumière (vitesse, indice de réfraction <math>= \frac{c}{v}</math>)</li> <li>• Interférences à deux ondes (fentes doubles, notion de cohérence, différence de marche, conditions d'interférences constructive et destructives, distance entre les maxima)</li> <li>• Interférences à N ondes (réseau)</li> <li>• Diffraction par une fente</li> <li>• Spectre électromagnétique</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Polarisation,<br/>L'influence du plan de polarisation de la lumière (effet Kerr) et magnétique (effet Faraday) montre que la lumière est une onde électromagnétique</p> <p><i>Obligatoire:</i><br/>Détermination de la longueur d'onde de l'onde émise par un laser</p>                                           |
| VII Physique quantique : partie obligatoire                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>1 Caractère corpusculaire de la lumière</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Savoir que, selon la situation rencontrée, la lumière peut être décrite soit comme une onde, soit comme une particule (CS).</p> <p>(2) Appréhender les aspects historiques et expérimentaux de l'effet photoélectrique et les utiliser pour la détermination de la constante de Planck (CS, CC).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spectre de lampes à incandescence (spectre d'émission, spectre d'absorption)</li> <li>• Effect photoélectrique (présentation qualitative)</li> <li>• Interpretation d'Einstein de l'effet photoélectrique (photon, charge électrique nulle, masse nulle, énergie : <math>E = h \cdot f</math> (bzw. <math>E = h \cdot \nu</math>), relation de Planck-Einstein <math>h \cdot f = E_{kin,max} + E_{Ablöse}</math>, notion de fréquence limite)</li> <li>• Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène</li> <li>• Interpretation du spectre d'autres atomes</li> </ul> | <p>Mise en évidence de la correspondance des raies d'émission et d'absorption</p> <p>Confirmation expérimentale de l'effet photoélectrique (exemple: expérience de Hallwachs, effet photoélectrique externe)</p> <p>Détermination de la constante de Planck</p> <p>Exploitation de spectres (Soleil, étoiles...)</p> |

| IV Physique nucléaire                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1 Radioactivité</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Savoir que la radioactivité est un phénomène naturel dans l'environnement (SS).</p> <p>(2) Appréhender, à partir des connaissances acquises, les possibilités et les limites des applications médicales et des techniques de rayonnements radioactifs (SS).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le noyau atomique<br/>(composition, dimension, masse)</li> <li>• Généralités sur les transformations radioactives<br/>(histoire, définition, caractéristiques, lois de conservation (nombre de nucléons, charge électrique, énergie, impulsion))</li> <li>• Les rayonnements <math>\alpha</math>, <math>\beta</math>, <math>\gamma</math><br/>(exemples, lien avec la stabilité des noyaux (diagramme (N,Z)))</li> <li>• La décroissance radioactive<br/>(la loi <math>N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}</math>, la contante de temps (<math>\tau</math>) et la constante radioactive (<math>\lambda</math>), l'activité <math>A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N(t)</math>, la période radioactive d'un radionucléide, relation entre T et <math>\lambda</math> : <math>t = \frac{\ln 2}{\lambda}</math>)</li> <li>• Application des rayonnements radioactifs<br/>(exemple dans le domaine de la santé)</li> </ul> | <p>Utilisation d'un compteur de radioactivité : caractère aléatoire de la désintégration; mesure de la radioactivité naturelle</p> <p><i>Les contenus suivants ne font pas partie de l'examen du baccalauréat :</i></p> <p>découverte de la radioactivité naturelle et artificielle, application des rayonnements radioactifs : (méthode de datation, médecine, industrie, alimentations ...), effets des rayonnements dans le domaine de la santé (irradiation, contamination, dose, dose équivalente), accident et sécurité (Tchernobyl), fission (réacteur, arme nucléaire) et fusion nucléaire (étoile, projet de fusion artificiel)</p> |
| <p><b>2 L'énergie nucléaire</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Compétences :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Citer les ordres de grandeur, choisir l'unité adaptée à l'ordre de grandeur ou à l'application (CS).</li> <li>(2) Relier la précision d'une mesure avec la notion de chiffres significatifs pour les calculs de perte de masse (CS)</li> <li>(3) Porter un regard critique sur l'importance sociale et technique de l'énergie nucléaire avec une mise en perspective avec le contexte politique (SS, CC).</li> </ol> <p><b>Contenus :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de masse dans une réaction nucléaire<br/>(énergie libérée <math>\Delta E = \Delta m \cdot c^2</math>)</li> <li>• Défaut de masse d'un nucléide<br/><math>[Z \cdot m_0(p^+) + (A - Z) \cdot m_0(n^0)] - m_0({}^A_ZX)</math></li> <li>• Énergie de liaison<br/>(<math>E_l = (\text{défaut de masse}) \cdot c^2</math>, stabilité d'un noyau, courbe d'Aston)</li> <li>• Fission, fusion</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p><i>Les contenus suivant ne font pas partie de l'examen du baccalauréat : production de l'énergie nucléaire, lien avec le réchauffement climatique</i></p> |
| <p style="text-align: center;">V Physique moderne :<br/>Thème choisi I : Physique quantique (Approfondissement)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                              |
| <p><b>1 La lumière comme objet quantique</b></p> <p><b>Compétences :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Distinguer les expériences dans lesquelles la lumière a un caractère ondulatoire, des expériences dans lesquelles la lumière a un caractère particulaire (CS).</li> <li>(2) Appréhender pour la première fois la notion fondamentale de la physique quantique : deux modèles <i>a priori</i> différents sont applicables selon l'expérience. Appréhender et formuler cet aspect au travers de la « notion d'objet quantique » (CS, SS).</li> </ol> <p><b>Contenus :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le caractère ondulatoire de la lumière (rappels)<br/>(caractérisé par la longueur d'onde <math>\lambda</math> et la fréquence <math>f</math> (ou <math>\nu</math>, pulsation <math>\omega</math>))</li> <li>• Le caractère corpusculaire de la lumière<br/>(caractérisé par son énergie <math>E = hf</math> et sa quantité de mouvement <math>p</math>)</li> <li>• La lumière comme objet quantique<br/>(la lumière est plus qu'une onde ou une particule, c'est un véritable "microjet" qui se comporte comme une particule et une onde.<br/>Critères pour observer un comportement classique ou quantique):</li> </ul> | <p>Équation de Planck-Einstein, recherche de Franck-Hertz</p>                                                                                                |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E = hf = h \cdot \frac{\omega}{2\pi} = \frac{h}{2\pi} \cdot \omega = \hbar \cdot \omega$ $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{2\pi f}{c} = \hbar \cdot \frac{\omega}{c}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p><b>2 L'électron comme un objet quantique:</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Savoir, selon l'expérience, si les électrons ont un caractère particulaire ou un caractère ondulatoire (CS).</p> <p>(2) Appréhender pour la première fois la notion fondamentale de la physique quantique : deux modèles <i>a priori</i> différents sont applicables selon l'expérience. Appréhender et formuler cet aspect au travers de la « notion d'objet quantique » (CS, CC).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Électrons considérés comme une particule</li> <li>• La longueur de De Broglie d'un électron <math>\lambda = \frac{h}{p}</math></li> <li>• Interférence d'électrons</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Microscope électronique</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>3 Les idées fondatrices de la physique quantique</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <p>(1) Appréhender les phénomènes de la physique quantique et les interpréter sur un plan mathématique (CS).</p> <p>(2) Interpréter physiquement la signification nouvelle de la mesure dans le cadre de la physique quantique (CS, CC).</p> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les objets macroscopiques sont constitués de petites entités (quanta)</li> <li>• L'équation de Schrödinger (fonction d'onde, « le chat de Schrödinger »)</li> <li>• Principe fondamentaux de la mécanique quantique (les quanta donnent lieu à des « interférences », superposition des probabilités)</li> <li>• Comportement stochastique du quanta : (la probabilité de détection d'un objet quantique dans un élément de volume <math>P(x, t) \cdot \Delta V =  \Psi(x, t) ^2 \cdot \Delta V</math>)</li> <li>• Inégalité de Heisenberg (<math>(\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}</math> bzw. <math>\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}</math>)</li> </ul> | <p>La lumière est composée de photons; la matière d'atomes c'est à dire d'électrons et de noyaux (quarks, gluons).</p> <p>La fonction d'onde est la solution de l'équation de Schrödinger.</p> <p>Les quanta donnent lieu à des interférences, lorsqu'ils parviennent au niveau du récepteur, selon les différents chemins, et il n'est pas possible de définir le chemin qui a été emprunté.</p> <p>La procédure de mesure conduit toujours à un état final possible.</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le problème de la mesure en physique quantique</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Au niveau des fentes d'Young, la probabilité pour les objets quantiques de se retrouver derrière le dispositif n'est pas égale à la somme des probabilités que l'on obtiendrait avec chaque fente prise indépendamment. Cela conduit à des figures d'interférences</p> <p>Simulation d'une expérience avec les fentes d'Young avec un logiciel</p> |
| <p>V Physique moderne:<br/>Thème choisi II: La théorie de la relativité</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p><b>Notion fondamentale de la théorie de la relativité</b></p> <p><i>Compétences :</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Appréhender la notion d'espace-temps du point de vue de la relativité comme un tout nouvel aspect et en poser les limites avec des expériences de la vie quotidienne (CS, CC, SS).</li> <li>(2) Citer les limites de validité de la mécanique classique (CS).</li> <li>(3) Distinguer l'approche classique de l'approche relativiste pour différencier des problèmes physiques (CS).</li> </ol> <p><i>Contenus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes de relativité galiléenne<br/>(invariance des lois de la mécanique dans les référentiels galiléens (transformations de Galilée (position, vitesse relative) et ses conséquences : notion de temps et d'espace absolu, séparation du temps, invariance de la masse et de la force))</li> <li>• Les limites de la mécanique classique</li> <li>• Postulats d'Einstein<br/>(les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels galiléens, la vitesse de la lumière « c » est invariante, validité des lois de la mécanique pour des faibles vitesses et ses conséquences : la perte de la notion de temps absolu et de la notion de simultanéité)</li> <li>• Découverte de l'espace-temps</li> </ul> | <p>Expérience de Bertozzi: les ondes électromagnétiques n'obéissent pas aux lois galiléennes pour l'établissement de la vitesse, hypothèse de l'Éther, expérience de Michelson-Morley</p> <p><i>Les contenus suivants ne font pas partie de l'examen du baccalauréat:</i><br/>Transformation de Lorentz (position, vitesse)</p>                       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>(le cône de lumière (passé, présent, futur))</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nouvelle représentation de l'espace et du temps (référentiel propre (temps propre, longueur propre), dilatation du temps <math>t = \gamma \cdot t_0</math> et vérification expérimentale (désintégration de muons), contraction des longueurs <math>L = \frac{L_0}{\gamma}</math>)</li><li>• Notion de masse relativiste, observateur dans une référentiel galiléen (relativité restreinte), prolongement sur les référentiels non-galiléens (relativité générale)</li></ul> |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|



### 3 Opérateurs et verbes d'action

Les 29 « opérateurs » de la Conférence des ministres de l'Éducation des Länder (Kultusminister Konferenz, février 2013) retenus ici par les ministères de l'éducation du Bade-Wurtemberg et de la Sarre pour la physique, sont traduits à titre informatif et se distinguent des 17 opérateurs retenus pour la chimie. Il convient de se reporter à la version allemande du tableau. Les opérateurs sont les verbes d'action à utiliser dans la formulation des consignes permettant à l'élève de comprendre la tâche qu'il doit effectuer et le niveau de complexité qui est attendu dans sa réponse. Ils correspondent plus ou moins à un des trois niveaux d'exigence I, II ou III de la KMK : I. Restitution et mobilisation de connaissances, récapitulation et description d'un phénomène, réutilisation de techniques/de savoir-faire appris en classe ; II. Analyse d'un problème et son explication, application de savoir et de savoir-faire à une problématique similaire, justification avec recours à une loi ou à une règle ; III. Transfert de savoir et de savoir-faire vers une problématique nouvelle et complexe, conception en autonomie d'une stratégie pour résoudre un problème, capacité d'évaluation de la démarche choisie en adoptant différentes perspectives. En regard de ces opérateurs, voir en annexe le tableau fourni par l'inspection générale de physique-chimie sur les « verbes d'action » qui n'a pas vocation à être modélisant mais atteste du fait que la préoccupation de rationalisation de la KMK est partagée par le MEN.

| Opérateur                           | Description des capacités attendues                                                                                                             |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimer                             | indiquer des ordres de grandeur en se fondant sur un raisonnement                                                                               |
| analyser / examiner                 | pour une problématique donnée, mettre en évidence des éléments ou des propriétés importants ; l'analyse implique parfois une partie pratique    |
| appliquer                           | utiliser des données ou une méthode connue pour étudier une situation nouvelle                                                                  |
| construire (expériences)            | organiser et combiner des objets et des appareils en fonction d'un objectif                                                                     |
| exploiter                           | mettre en relation et le cas échéant interpréter des données, des résultats isolés ou d'autres éléments                                         |
| justifier / montrer                 | expliquer des faits par des règles, des lois ou des relations de causalité                                                                      |
| calculer / déterminer               | déduire des grandeurs physiques à partir d'autres valeurs de grandeurs ou d'ordres de grandeur                                                  |
| décrire                             | rendre compte de structures, de faits ou de relations à l'aide de ses propres mots et en ayant recours à un langage scientifique adapté         |
| valider                             | vérifier à travers une expérience la validité d'une hypothèse, d'une représentation ou d'une loi                                                |
| présenter                           | exposer une solution et formuler un résultat                                                                                                    |
| juger                               | émettre et justifier un jugement autonome quant à des données en utilisant des connaissances et des méthodes disciplinaires                     |
| évaluer                             | évaluer des faits, des objets, des méthodes, des résultats etc. à l'aide de critères, de normes et de valeurs                                   |
| représenter                         | rendre compte de faits, de relations, de méthodes et de rapports de façon structurée et en ayant recours à des formes de communication adaptées |
| discuter / débattre                 | confronter et analyser des positions ou des arguments au sujet de faits, de déclarations ou de thèses                                           |
| documenter                          | représenter toutes les explications, déductions et schémas nécessaires                                                                          |
| conduire (expériences)              | procéder dans le cadre d'une expérience à des mesures et à des adaptations en fonction d'un objectif visé                                       |
| concevoir / organiser (expériences) | pour un problème donné, concevoir une expérience                                                                                                |

| Opérateur                     | Description des capacités attendues                                                                                           |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| développer / établir          | mettre en relation des faits et des méthodes ; poursuivre et améliorer une idée, une hypothèse, une expérience ou une théorie |
| expliquer                     | rendre des faits compréhensibles                                                                                              |
| clarifier                     | illustrer et expliquer des faits à l'aide d'informations complémentaires                                                      |
| résoudre                      | trouver un lien ou une solution et formuler un résultat                                                                       |
| déduire                       | déduire d'ordres de grandeur une grandeur physique à l'aide de l'outil mathématique                                           |
| interpréter                   | analyser et examiner des liens de causalité en prenant en compte des modèles d'explication                                    |
| nommer / indiquer             | citer sans explications des éléments, des faits, des concepts ou des données.                                                 |
| schématiser                   | représenter de façon synthétique des faits, des structures ou des résultats                                                   |
| structurer / ordonner         | catégoriser et hiérarchiser des objets donnés                                                                                 |
| contrôler / vérifier / tester | confronter des données ou des propositions à des faits ou à une logique intrinsèque et révéler d'éventuelles contradictions   |
| comparer                      | déterminer des points communs, des similitudes et des différences                                                             |
| tracer                        | procéder à la représentation graphique la plus exacte possible de structures observables ou de données                        |