

## フランスの高等学校3年生理系 物理・化学の学習指導要領

角島 誠\*

(令和元年8月6日受付)

(Received Aug. 6, 2019)

### 翻訳文献

Bulletin officiel spécial n° 8 du 13 octobre 2011  
Enseignement spécifique et de spécialité de physique-  
chimie de la série scientifique - classe terminale  
NOR : MENE1119475A  
arrêté du 12-7-2011-J.O. du 20-9-2011  
MEN-DGESCO A3-1

Annexe

Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité  
de physique-chimie Classe terminale de la série  
scientifique  
pp. 1-15 の全文

### 翻 訳

#### 特化した教育 ENSEIGNEMENT SPÉCIFIQUE

#### 説明

あらゆるレベルの情報が瞬時にいかなる場所にも到着する社会では、この情報がある認識に変換するための精神の訓練 formation に優先順位が与えられる。特に理系においては、指導 didactique の基礎と目的であり、知識 connaissances なくして操作できないコンピテンス compétences を習得する際に、教師は各生徒の付き添い者でなければならない。精神の訓練と知識獲得は、教育活動の不可分の2つの側面である。

したがって、高校3年Sコースの物理・化学の学習指導要領 programme は、科学的アプローチ démarche scientifique の訓練を深める高校2年Sコースの延長に位置する。そして、すでに扱ったコンピテンスをより良く定着させかつ完全なものとし、そして新しい知識を獲得させることを可能とする。

学年末に期待されかつバカロレア試験に求められる要件の平明さと正確性を変更することなく、高校2年のSコー

スのように、内容、概念、およびコンピテンスを軽減した編集がなされた。

高校3年においては2つのコンピテンスが中心的な位置を占める：情報を「抽出する extraire」と「活用する exploiter」。これらは、特に学習指導要領の右側の欄で特定された状況において、科学的アプローチの精神を尊重しながら、頻繁に実施されるものである。

「抽出する」のコンピテンスについて生徒に提案された活動と彼らが獲得する知識が、情報の科学的価値、それらの考慮の妥当性を批判的に疑問に導かなければならず、また、情報がしばしば過剰となり時には誤っているような場面、そして客観的で合理的な知識が意見や信念と区別されなければならない場面では、議論によって取り上げるべきものを生徒が選択できるよう導かなければならない。

生徒に提供される情報資料は多種多様である：フランス語そして実際には外国語での通俗的な文献や科学的文献 textes scientifiques、データ表、グラフ、ビデオ、センサーから得られる信号、スペクトル、分子モデル、実施された実験またはシミュレーションなど。その活用は、関連する物理量または化学量を同定していく段階や識別モデル化の段階を通して導かれる。この形式化 formalisation は、モデルの方程式の構築とその数学的、数値またはグラフの処理につながり得る。

生徒は、このように方法を伴って推論することや、課された課題 problème posé への解を見だし得る全ての手順を厳密に実施するよう導かれる。しかし、数学ツールはある学習 étude を導くために必要なこともあるが、教師は、数学ツールに頼ることが生徒の物理・化学における生徒の訓練の主たる目的ではないことを念頭に置かなければならない。場合によっては、教師は、扱う内容の複雑さのために、グラフないしは数値、そして実践的な解決方法をますます頻繁に、使用することとなる。また、そのことは、研究作業がしばしば学際的なチームによって行われることを強調する機会となる。

教師はまた、厳密に実施される定性的な活用

exploitations qualitatives も用いる。このやり方は、計算的な展開に訴えなくとも学習の意味を直接的に引き出す場合に特に適切である。次元解析、問題の様々な現象の予備調査、大きさのオーダーの比較は、状況の概念的枠組みの効率的な簡素化を可能にし、複合的な問題にエレガントで迅速な解決をもたらすことができる。

生徒に定性的な推論を実践させることや、「手で」物理と化学を習得させることに親しませることは、科学者同様に科学者でない者とコミュニケーションをとる方法を知ること慣れることでもある。

ある解決のアプローチによって得られた結果は特別な注意の対象となる。特にパラメーターの変更に起因して予想される効果と実際に観察される効果を比較する場合に、ある結果の批判的分析が、その結果に一層の意味をもたらし得る。結果の活用は、モデル化の際に行われた仮説を検証する手段とも、また見直し réinvestissement の出発点ともなる：そして、それは学習指導要領によって強調された「理解する」と「行動する」の間の蝶番である。

教師が指導上のリソースや作業や問題の教材を求める場合、国民教育省が運営するサイト Eduscol を参照して、高校3年用の様々なリソースを見ることができる。

また、中学校で学習したことや高校1年、2年の学習指導要領で学習したことにもっと寄ることも適切であろう。

バカロレア試験の最終時に評価されるコンピテンスは、高校1年と高校2年のもの、特に実験的な性質のものを排除することなく、主として高校3年の学習指導要領に焦点を当てる。彼らの問題提起 problématique を文脈化する努力を継続しながら、これらの試験では科学的方法論 méthodologie scientifique の獲得に強調が置かれる。高校3年の生徒にとって、バカロレア試験はそれ自体がゴールではなく、科学的アプローチへの精神の訓練を継続しながら、より高い学習のために生徒を準備するための一つのステップである。

もし、学習指導要領の右の欄に表示されず要求されていないコンピテンスの発揮が評価試験の解題に求められるなら、この方法論に重点を置くことは、その解題に必要な知識 savoir (公式、特性、物理化学的データ、図など) のすべての要素を提供することにつながる。

高校2年のものと同様に理系コースの高校3年の学習指導要領は、科学的アプローチに主軸を置いて編成されている：観察する observer、理解する comprendre、行動する agir。そして質問から導かれ発展が見込まれかつ現代的な内容に基づいている。

## 観察する：波と物質

「観察」の単元 partie は、電磁波の全スペクトル、物

質中の波、ならびに粒子にまで拡張される。

## 波と粒子

宇宙は、(宇宙線、星間雲、固体など)の「冷たい」ソースから、より「高温の」(星や関連するソース)まで、銀河のような複合的なソースを介して、地球の大気と相互作用する全スペクトルにわたる電磁放射で満たされている。対象とするスペクトル領域に因るこの相互作用が、観測機器の性質や、その技術的支援および高度(地表から大気の外へ)を条件付ける。

人間はまた、可視光のみならず全スペクトル、特にラジオ波、赤外線、紫外線の領域の全てのスペクトルの線源を作り出すことができる。

網羅的ではないものの、大気に吸収されている線源についての資料を活用した学習 étude documentaire が行われる。同様に、音波に関する特定の音色についてと共に、地球上の物質波に関しても扱われる。尚、この学習の継続は専門的教育 enseignement de spécialité でも行われ得る。

電磁波、素粒子(電子、陽子、ニュートリノなど)、または複合体(核、原子、分子)に関する光子は、電磁波や力学的な波とともに、情報の貴重な媒体である。

波と粒子のすべてのソースの中で、特定の観測装置に特化した学習からの選択も可能である。この選択が、検出装置の必須の実験にも関わってくる。

## 波の特性と性質

波を記述し、関連する物理量を定義し、使用方法を知ることが大切である。スペクトルのすべての領域における波の回折が、特に観測の結果として強調される。

干渉の学習は、単色波の強めあうおよび弱めあう干渉条件に焦点を当てる。

回折および干渉と同様に、ドップラー効果は実験的な利用に適している。その学習は、天体物理学(物体の運動、間接的な検出と太陽系外の惑星、宇宙の拡大)と速度測定 of 学習にまで拡張される。

## スペクトル分析

分光法とは、天体から人間が作る有色光源まで、ソースの物理化学的性質(温度、組成)を調べる特権的な手段である。

これは、紫外-可視、赤外、または NMR スペクトルを扱い、様々な起源の化学種の分析、特に生物分野の分析にとって置き換え不可能な装置である。高校3年の教育で扱うのは主としてこの側面である。

分子内でのエネルギーの移動を支配する規則に手をつけることなく、スペクトルと分子構造を関連付けるために、表とソフトウェアを使用して異なる性質のスペクトルを活用することが大切である。さらに、種を特徴付けることを意図した実験的アプローチを導くために、ある有色の化学

種を選択することが大切である。

学習指導要領全体として、教師はこの単元「観察する」で順を追って展開する必要はなく、3つのテーマの中から自分が選んだ順にそれを扱うことができる。また、高校2年の学習指導要領のように、「重要度」によって学習指導要領の「理解する」と「行動する」の2つの単元間を回リ道することも可能である。

### 理解する：法則とモデル

この単元の各テーマに関連する詳細の長さは、それらの教育に費やす時間を示すものではないが、現代物理学（相対性理論、量子物理学）の最新の概念に関する補足的な正確な事実を提供することを意図している。

### 時間、運動と変化

時間とその測定、その定義と単位の進化は、周期的現象の学習と利用に基づいている。

この測定の歴史は、(日時計の)古来のプロセスにまでさかのぼることができ、(地球の回転と自転、機械式および電気式振り子、原子時計)など精度、安定性、普遍性に対する絶えざる大きな懸念によって進められた進歩の研究の資料を活用した学習のための教材を提供する。

変化する現象の自然な変数として時間を加えるために、ニュートンの運動学と力学を用いる機会が与えられる。エネルギーの他に、運動量の導入は、変化の際に保存される量の物理にとって非常に有益な学習の幅を広げ得る。

特に現象の再現性や時間の基準の質を変える散逸の原因を分析するために、エネルギー的な側面がこの枠組みに関わってくる。

原子時間の定義および関連する時計の実現が、特殊相対性理論の基礎である時計と観測者との相対速度に関する時間の相対的性質を直接的に証明するような精密なスケールへのアクセスを可能とする。

この基礎を構成するアインシュタイン(1905)の公準は、真空中の光速はいかなる慣性座標系においても同じであることを認めるものである。それは物理学の基本定数である。

教育の枠組みの中でこの基本的な特性の学習は、科学的アプローチの巧妙さ *subtilité* に直面した指導法 *didactique* の選択の問題提起をよく示している。アインシュタインの答えがマイケルソン・モーリーの実験のような実験的事実から着想を得ることができたかどうかを実際に知ることなく、この巧妙さは、この場合、系から独立した真空中の波の伝搬速度を示す電磁気学と、速度の加算性をとるニュートン力学との間における物理学の統合の問題をもたらすアインシュタインの疑問のことを指す。

公準という形の下でのアインシュタインの答えは、ニュートン力学の枠組みを覆す。すなわち光の相対速度と

絶対時間に挑戦し、光の絶対速度と相対時間に有利に働く。

真空中の光の速度の不変性は、(アラゴのプリズム実験1810、マイケルソンとモーリー1887、アルヴェジェ Alväger1964、ホールとブリエ Brillet1979、二重星、等)の実験によって十分に確認されている。教師の指導法の自由裁量とは選択することにある。公準を示し実験的なテストでそのことを追うことができる歴史的アプローチと、より自然な進め方として実験結果から始めて続いてアインシュタインの仮説という「教育的な *pédagogique*」アプローチの選択である。この意味で、学習指導要領は、規定的ではない順序によって、また活性化する一般的な精神に従って提示されている。

それは、(事象、固有時間、測定時間、時間の遅れ)といった関連する概念とその実験的な確認または特定の状況(大気中でのミューオンの崩壊、加速器内の不安定な粒子、搭載された原子時計、GPSなど)との間の時間の相対的な性質についても同じことがあてはまる。このように、時間の遅れが定量的な分析のために役立つことに留意されたい。計測時間と固有時間の間の  $\Delta t_m = \gamma \Delta t_p$  と  $\gamma = 1/(1 - (v/c)^2)^{1/2}$  の関係は容易に正当化される(光時計、船上の光の「実験」)。

(古典的アプローチでの)時間の計測は、特に化学変化の速度と経過時間に影響を与える因子を介して、物質の変換の研究にも適用される。動力学と触媒作用はこの問題の一部をなし、自然界同様産業界での実験的アプローチと説明によく役立っている。

### 物質の構造と変換

高校3年の学習指導要領は、このテーマを、様々な説明を用いながら、化学反応を通じた物質変化にあてている。これは、生物学的環境における立体配座および立体配置の重要性に言及する機会であり得る。

反応性に対する第1のアプローチが提示される。目的は、有機化学における反応の大きな分類を導入し、求核部位と求電子部位との間の相互作用が有機化学におけるほとんどの反応の基礎を形成することを明らかにすることである。反応メカニズムによるそれらの解釈の詳細に入ることなく、このアプローチは、理系の学習を継続する際に関わる反応の基礎の理解を準備することを可能にしなければならない。

学習する諸々の変化は、有機化学と陽子交換による化学反応という2つの大きな括りで扱われる。これら事例の古典的な側面を超えて、特に生物学的環境に留意して、可能な限り学習を文脈化することが重要である。

例えば溶液のように、同じ学習の対象に対する実験的アプローチには、測定結果を分析する方法で生徒を訓練するという場面においては、統計分析がよく適していることに

留意すべきである。

### エネルギー・物質・放射線

このテーマは、実際の量子的な振舞いに関する入門として、特に放射線を扱い、本質的にエネルギーと物質の関係に焦点を当てている。

資料を活用した学習によって、特に（アボガドロ定数）の算出または対象の大きさを扱う場面に関して、巨視的から微視的に移動するときの大きさのオーダーの変化を捉えることを可能としなければならない。この学習はまた、多数の微視的なものからなる系に関する我々の認識の統計的必然性を明らかにしなければならない。極小スケールでの観測結果は、このレベルで物質の大きさと構造に関わる原子と分子の画像を用いた描写を提供する（「視覚化する」という言葉の意味について慎重であるべきである）。

巨視的な系の中のエネルギーの移動の学習は、熱力学（内部エネルギー、熱伝達、作業、熱容量）の基礎を扱い、その原理の将来の学習に向けた第一歩である。扱う系の定義、エネルギーの移動の性質と方向の同定、得られた結果の批判的分析と実際のデバイスでの予想といった熱力学のいくつかの方法論的要素が扱われなければならない。

熱移動の多様性は、特に拡散過程における関連現象の不可逆性に言及し、エネルギー問題に関わる日常生活の側面を扱い得る。エネルギー収支については、教師にとって「行動する：21世紀の挑戦」のエネルギー課題に関するテーマとのリンクを作る機会となり得る内容である住環境分野（住居の暖房、地熱、ヒートポンプ、空調、冷蔵庫など）、ならびに輸送分野（エンジン、摩擦による熱の影響など）あるいはエネルギー生産の分野を扱うことができる。

量子レベルでは、レーザーは、エネルギーの移動についての特権的な学習の対象でありツールである。量子的な放射と吸収の学習は、その原理のレベルでのみ行われるものとし、より定量的で理論的な学習（アインシュタイン係数）は学習指導要領を超える。光共振器内での光ポンピングの原理と入射単色光のコヒーレントで指向性ある増幅と原理の理解を唯一の目的として説明がされなければならない。

レーザーの利用は容易に学習指導要領（電磁波、分光学、量子的な遷移原理、情報処理、等）の重要な部分となり得る。

波動-粒子の2重性は、扱う実験の文脈に応じて、波動または粒子のいずれかとして振る舞う光子発現に適用される定式化である。しかし、それは波動でも粒子でもないが、科学者によって「quanton」と呼ばれることもある量子物体の原型という光子そのものの本質を記述してはならない。

この機会に、電子やX線の場合のように、物質波と電磁波の特性の類似性を知らしめることができなければならない。自然かつ求められる例証は、回折現象に関する  $p=h/\lambda$ 、 $\lambda=h/p$  の電子顕微鏡のことであり、観察対象物

の大きさより小さい波長の粒子または放射線によって物質を調べる必要性を説明する。

光子による光子放射、粒子による粒子物質の放出によって得られる干渉パターン（ビデオ）観察は、常識に対する量子現象の実際の奇異さを強調する。これは、放射性崩壊（前述したミューオンの場合）のように、量子的な現実の確率的な側面の中での事例である。崩壊が起こる瞬間のような量子現象に関連する不確かさをもって、このレベルのすべての物理的な測定が不確かであることを示唆してはならない。安定した量子レベルのエネルギーは、例外的な精度（例えば水素原子の第1エネルギー準位のためには  $10^{-13}$  のオーダーで）で知り得る。

個々の量子現象の発生を正確に知ることができなくとも、大数の法則によって、全体、すなわち巨視的な系の挙動を正確に予測することができる。量子的現実の確率的な性質のために、知ることの精度の限界は、測定行為自体にあることがはっきりとわかるはずである。

学習指導要領の「法則とモデル」のこの単元を扱うにあたって、教師は、自分が選択したテーマの順序で概念のモデル化に注力できるなど、教え方の自由 *liberté pédagogique* を発揮する。

### 行動する：21世紀の挑戦 défis

社会の歴史は、経験的に確立された技術的事実を理解し、効率的に再投資し、理論を正式化し、再投資する普遍的な概念的基礎を科学が与えたときに科学が「市民権」を獲得したことを示している。

ライフスタイルの根本的な変化を除いて、科学的活動とその技術的応用は、人間に課せられた挑戦、特に高校3年のSコースで扱う内容に対する信頼できる回答であることが明らかとなる：資源を節約し、環境を尊重し、分子を合成し、新しい材料を作り、送信し、情報を蓄積すること、それは高校2年の内容の延長であり拡張でもある。

21世紀の課題は、地球と全人類に関わる。この全体性 *globalité* を扱う国際的なコミュニケーションは、ますます英語で頻繁に行われる。したがって、情報源や授業の言語的な文脈に応じて他の外国語を除外することなく、実験プロトコル *protocoles expérimentaux*（例えば有機合成）に関連するものなどの資料を読むことは、この言語の科学的使用に慣れる機会を提供し得る。

テーマ「創造と革新」は、教師にとって自由の領域である。教師は、生徒と自分自身がそこで見つけた興味、地方の資源、特定の研究職を発見する機会、または科学技術文化を促進するための行動に参加する可能性によって1つまたは2つの研究の主題を選択することができる。この件に関

し、教師はこの分野に特有の活動例を国民教育省が展開する「学校での科学」の事例の中に見つけることができる。

このように、「行動する：21世紀の挑戦」の単元は、研究と科学的進歩の現在の傾向を生徒が知覚するように導く。

学習指導要領のこの単元において求められるコンピテンス *compétences exigibles* は、分析、批判的精神、総合の能力、ならびに訓練を通して獲得される学びの方法を実際に動員することとなる資料のまとめの作成においてもたらされる。

学習指導要領は次の2つの列に表示される。

- 概念と内容：これらは学習されるべき概念である。
- 求められるコンピテンス：これは、動員されるべき知識 *connaissances à mobiliser*、実装すべき能力 *capacités à mettre en oeuvre*、および獲得されるべき態度 *attitudes à acquérir* と、学年の終わりにその習熟が要求されるものである。斜体で書かれた場合、これらの能力は実験的性質のものを指している。それらの獲得には、高校2年以來の正確性ならびに測定の不確かさ（付録「測定と不確かさ」）に関連するコンピテンスを統合する真にそして確実な各生徒の実験活動に不可欠な条件での指導実践 *pratique pédagogique* が不可分である。

高校2年の理系Sコースの学習指導要領と同様に、科学的アプローチは、学習指導要領の3つの大単元のそれぞれにおいて、またはこれらの主要な部分の1つを構成するそれぞれのテーマにおいても実施され得る。教師は、重要度に応じて、（異なる単元に属するテーマの継続による）垂直方向の展開も（同じ単元での）テーマの広がりを選択する水平的な展開も進めることもできる。

生命の「ブロック」の研究は、分光学的観察、化学変換のメカニズム（理解する）および合成の戦略（行動する）を容易に関連付ける。アミノ酸のタンパク質のブロックや酵素の例が進められる。またプリン（アデニン、グアニン）やピリミジン（ウラシル、チミン、シトシン）といったRNAやDNAの構成成分を伴った隕石（マーチソン）のような場所に、ある程度の数の（アラニン、グリシン、アスパラ酸など）を認める。現象の普遍性（強調されなければならない）のこういった事例の扱いは、教師の自由選択に委ねられている。したがって、バカロレア試験のために生徒に要求される知識の一部とはなり得ない。

他に重要なものとして、波の一般的なテーマ（特性、波源、検出、情報処理）や方法としての分光法（原理、実験、結果、活用）などがある。唯一の制約は、学習指導要領で説明されているすべての概念と内容が、科学的アプローチの精神を尊重しながら、指定されたコンピテンスをすべての生徒が獲得するという観点から処理されることである。教科の伝統的な区切りとつながった、そして科学教育の教

条的かつ学術的な実践の再構成につながる教え方の自由というバイアスによって、このことを歪めることはできない。

教師の自由は、研究者の知的自由の指導計画に則った解釈であり、生徒にとっての科学的アプローチの精神を示すものでなければならない。

### 測定と不確かさ

#### 教師向けの情報

以下の表は、高校の教育を終える段階で生徒が習熟しなければならない測定 *mesures* とその不確かさ *incertitudes* に関連する特有な概念とコンピテンスをまとめたものである。

それらは、高校3年の理系の物理・化学の専門の教育の枠の中で深められ得る。

高校2年と高校3年の学習指導要領の右側の欄で、斜体で書かれたすべての実験活動が、その実装と取得のための機会を漸次提供しなければならない。

情報学は、使用されている数学的なツールの詳細に入ることなく、不確かさを評価するために必要なツールを生徒に提供する上で非常に特殊な役割を果たすことができる。重点は、精度の限界の原因（誤差の発生源）を意識し、測定の本質に対するそれらの持つ意味合いを意識することに置かれなければならない。

計量学 *métrologie* の基礎の理解という意味で、教師はこれらの基礎の意味と一般的な意味合いに配慮しなければならない。後者について、真実とは疑う余地のないものであり、不確かさとは確かでないものであり、誤差とは我々が行うことができないものである。

計量学の言葉では、それは（無限の精度の）完全な測定で得るだろう真の値の問題である。したがって、この値は未知であり、現象のばらつきのために、現実的根拠のないものである。それゆえ人間は、現実には平均であり、誤差に起因する不確かさ（実際には標準偏差）を伴った測定の最終結果としての測定値を手にする。：ここでは、不確かさと誤差は厳密な科学的概念である：この二つは、（質量と重さのように）混同されるものであり、教師が強調すべきものである。

概念と内容	実験で求められるコンピテンス
誤差と関連する概念	測定における（精度の限界の）さまざまな誤差の発生源を特定する：現象ならびに測定行為（操作者や機器に関する要因）の変動性。
不確かさと関連する概念	各誤差の原因に関連する不確かさを評価して比較する。 提供された評価の式を使用して、再現性の不確かさを評価する。 測定機器を使用して得られた単一の測定値の不確かさを評価する。 提供された式を使用して、いくつかの誤差の発生源が内在するプロトコルを実行するときに得られる測定値の不確かさを評価する。
結果の表現と許容範囲	有効数字の使用と科学的記述に習熟する。不確かさをこの記述に関連付ける。

	平均の値や信頼度が付された不確かさによる値によって測定操作の結果を示す。相対精度を評価する。所定の基準に従って行うべき測定を決定する。測定操作の結果を基準値と比較してコメントする。プロセスを改善するための提案をする。
--	--

**観察する**

波および粒子は情報のキャリアである。

それらをどのように検出するか？ 波の特性や性質は？

原子と分子を識別するためにスペクトルをどのように実現し、利用するか？

**波動と物質**

**波動と粒子**

概念と内容	求められるコンピテンス
宇宙の放射線 地球大気による放射線の吸収。	地球大気による放射線の吸収とその結果、ならびに宇宙における放射線源の観測に関する情報を抽出し extraire 活用する exploiter。 ラジオ波、赤外線および紫外線の線源を認識する connaitre。
物質中の波動 うねり、地震波、音波。 リヒタースケールでの地震の大きさ。 音の強さのレベル。	物質中の力学的波動の振る舞いについての情報を抽出し活用する。 音の強さと音の強さのレベルの間の関係を認識し活用する。
(力学的かつ電磁氣的) 波動と (光子、素粒子) 粒子の検出器。	以下の情報の抽出と活用： - 波動および粒子の源およびその利用； - 検出装置 センサーまたは検出デバイスを実装して、実験的アプローチ démarche expérimentale を実行する pratiquer。

**波動の特性と性質**

概念と内容	求められるコンピテンス
波動の特性 進行波、関連する物理量。 遅れ。	一次元の進行波を定義する。 遅延、距離、伝播速度の関係を理解し活用する。 定性的かつ定量的に波の伝播現象を学習することを目的とした実験的アプローチを実行する。
周期的進行波、正弦波。	正弦波進行波の周期、周波数、波長を定義する。周期または周波数、波長、および伝播速度の関係を認識し、活用する。 正弦波進行波の周期、周波数、波長、および伝播速度を決定するために実験的アプローチを実行する。
音波と超音波。 スペクトル分析、高さや音色。	楽音のスペクトル分析を行い、それを活用して音の高さと音色を特徴付ける。
波動の性質 回折。 回折現象における開口または障害物の大きさや波長の相対的影響。	回折現象の重要性は、開口部または障害物の寸法に対する波長の比率に関連すること知る $\theta = \lambda / a$ の関係を認識して活用する。
単色光の場合、白色光の場合。	回折現象に関連する物理的状況を特定する。光波の回折現象を定量的に学習することを目的とした実験的アプローチを実行する。
干渉。	単色光に対する強めあうおよび弱めあう干渉の条件を認識し、活用する。
単色光の場合、白色光の場合。干渉色。 ドップラー効果。	光波の干渉現象を定量的に学習することを目的とした実験的アプローチを実行する。 ドップラー効果を使用して速度を測定するための実験的アプローチを実装する mettre en oeuvre。 低速の場合の周波数のドップラーシフトの表現を活用する。

	天体物理学における調査手段としてのドップラー効果の使用を説明するためにスペクトルデータと画像処理ソフトウェアを利用する utiliser。
--	---

**スペクトル分析**

概念と内容	求められるコンピテンス
紫外線・可視光スペクトル 有機または無機物質の最大吸収時の可視光と波長の間の関係。	単色光を特徴付けるための実験プロトコルを実装する。 紫外線-可視光スペクトルを活用する。
赤外線スペクトル 対応する波数を使用した結合の識別：特性基の決定。 水素結合の実証。	IR スペクトルを活用して、データ表またはソフトウェアを使用して特性基を決定する。 アルコール、アルデヒド、ケトン、カルボン酸、エステル、アミン、アミドについて特性基を官能基と関連付ける。 これらの化合物の命名法ならびにアルカンおよびアルケンの命名規則を認識する。
陽子の NMR スペクトル 以下の方法による有機分子の同定： - ケミカルシフト； - 積分 (インテグレーション)； - シグナルの多重度：(n+1) 組のルール。	データ表またはソフトウェアを使用して、特定の有機分子と単純な NMR スペクトルを関連付ける。 等価な陽子を識別する。信号の多重度を近傍のルール。 スペクトルのさまざまな種類とその活用に関する情報を抽出し活用する。

**理解する**

**法則とモデル**

時間測定のために周期的な現象をどのように活用するか？

時間の概念は相対性において重要な役割を果たしているか？

どのようなパラメーターが化学変化に影響を与えるか？

分子の構造はどのようにその特性の解釈を可能とするか？

有機化学での反応と陽子交換による反応は、どのように物質変化にかかわっているか？

異なるスケールでのエネルギー移動はどのように行われているのか？

量子的な事実は、特に光に対してどのように出現するか？

**時間、運動と変化 (evolution)**

概念と内容	求められるコンピテンス
	高校1年の定義の変化を正当化するために、時間の測定に関連する情報を抽出し活用する。
時間、運動学とニュートン力学 時間に沿った点の動きの記述。 位置、速度、加速度ベクトル。	系を選択する。 (一様な直線運動、一様に変化する直線運動、一様な円、一様でない円運動)の運動を定義し認識するとともに、各場合での加速ベクトルの特徴を与える。
慣性系。 ニュートンの法則：慣性の原理、 $\Sigma F = dP/dt$ 、相互作用の原理。	質点の運動量 P を定義する。 ニュートンの3法則を理解し、活用する：一様な重力場と電場における運動を考えるためにそれらを用いる。ある運動を調べるための実験的アプローチを実装する。
孤立系での運動量の保存。	運動量の性質を利用して、反作用による推進方法を解釈するための実験的アプローチを実装する。
衛星の動き。 太陽の周りの地球の公転。 ケプラーの法則。	円軌道の近似において、惑星と衛星の動きが一様であることを示す。速度と周期の表現を確立する。 ケプラーの3つの法則を認識する：円運動における第3法則を活用する。
時間測定と発振器、減衰	以下のことを明らかにするために実験的アプローチを実行する。

力の仕事。 保存力：ポテンシャルエネルギー 非保存力：摩擦の例。	<ul style="list-style-type: none"> <li>力学的振動子の周期に影響を与えるパラメータ。</li> <li>その減衰</li> <li>一定の力（一様な場における重力と電気力）の仕事の表現を確立し、活用する。</li> <li>直線軌道での一定な摩擦力の仕事の表現を確立する。</li> <li>質点の運動中のエネルギーの変化を分析する。</li> <li>振動子の運動エネルギー、位置エネルギー、および力学的エネルギーの変化を調べるための実験的アプローチを実行する。</li> <li>時間測定の問題と高校1年の定義に対する散逸現象の影響に関する情報を抽出して活用する。</li> <li>時間の測定における原子時計の使用を正当化するための情報を抽出して活用する。</li> </ul>
力学的エネルギー。 ある力学系での自由振動のエネルギーの学習。 エネルギー散逸。 原子時の定義。	
時間と特殊相対性理論 光の速度と時間の相対的性質の不変性。 アインシュタインの仮説。光速の不変性の実証実験。 事象の概念。固有時。 時間の遅れ。 実験的証拠。	<ul style="list-style-type: none"> <li>真空中の光速がすべての慣性系で同じであることを知る。</li> <li>固有時の概念を定義する。</li> <li>固有時間と測定期間の関係を活用する。</li> <li>時間の相対性を考慮する必要がある具体的な状況に関する相対性の情報を抽出して活用する。</li> </ul>
時間と化学の進化：反応速度論と触媒作用 ゆっくりとした反応。化学反応の持続時間。 反応速度論的因子。時間の経過に伴う物質の変化。 半反応の時間。 均一系、不均一系、酵素触媒反応。	<ul style="list-style-type: none"> <li>TCLによる有機合成を経時的に追跡し、その継続時間を推定する実験的アプローチを実行する。</li> <li>化学反応の時間的変化に影響を与えるいくつかのパラメータを明らかにするための実験的アプローチを実行する。：濃度、温度、溶媒。</li> <li>半反応の時間を決定する。</li> <li>触媒の役割を明らかにするために実験的アプローチを実行する。</li> <li>興味を引き出すために、特に生物学的および工業的環境における触媒作用に関する情報を抽出して活用する。</li> </ul>

物質の構造と変化

概念と内容	求められるコンピテンス
分子の空間的な表現 キラリティー：定義、歴史的アプローチ。 クラム (Cram) の表現。 不斉炭素。 $\alpha$ -アミノ酸のキラリティー 鏡像異性体、ラセミ混合物、ジアステレオ異性体 (Z/E、2つの不斉炭素原子)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>それらの表現からキラリ種を理解する。</li> <li>Cramの表現を使う。</li> <li>特定の分子の不斉炭素原子を特定する。</li> <li>分子モデルまたは表現から、分子が同一であるか、鏡像異性体であるかジアステレオ異性体であるかを理解する。</li> <li>ジアステレオ異性体の異なる特性を強調するための実験的アプローチを実行する。</li> <li>分子モデルまたはシミュレーションソフトウェアから、分子のさまざまな立体配座を可視化する。</li> </ul>
立体配座：単結合の周りの回転；最も安定した立体配座。 有機分子のトポロジカルな表現 (構造式)。 生物学的特性および立体異性。	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機分子のトポロジー表現を利用する。</li> <li>自然界における立体異性の重要性を明らかにするために、以下の情報を抽出して活用する： <ul style="list-style-type: none"> <li>立体異性体の生物学的性質</li> <li>生体分子の立体配座</li> </ul> </li> </ul>
有機化学における変換 巨視的側面： - (炭素) 鎖の変換、特性基の変換。 - 有機化学における主要な反応：置換、付加、脱離。 微視的側面： - 極性結合、電子の双極子のドナー部位とアクセプター部位。	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルコール、アルデヒド、ケトン、カルボン酸、エステル、アミン、アミドの中の特徴的な基を理解する。</li> <li>特徴的な基と炭素鎖を決定するために有機化学種の体系的な名前を使用する。</li> <li>鎖の変換と特性基の変換を区別する。</li> <li>試薬および生成物の性質の検査から反応のカテゴリー (置換、付加、除去) を決定する。</li> <li>電気陰性度に関連して結合の分極を決定する (提供された表)。</li> <li>電子ダブルレットのドナーサイト、アクセプターサイトを特定する。</li> </ul>

電子の双極子のドナーとアクセプター部位間の相互作用；反応のメカニズムの段階を曲線矢印を使用して電子の双極子の動きの表現。	ある反応メカニズムの1つまたは複数の段階に対して、結合の形成または切断を説明するために曲線の矢印でドナーサイトとアクセプターサイトをつなぐ。
陽子の交換による化学反応 pH：定義、測定 ブレンステッドの理論：弱酸、弱塩基；平衡の概念；酸・塩基のペア；酸解離定数Ka。水中のpKaの尺度、水中のイオン生成物；安定存在域 (カルボン酸、アミン、 $\alpha$ -アミノ酸の場合)。 生成物に有利なほぼ全体の反応： - 水中の強酸、強塩基； - 水中の強酸と強塩基の混合。 強酸と強塩基の反応：；反応の熱的側面。安全。 pH制御：緩衝液；生物環境における役割。	<ul style="list-style-type: none"> <li>水溶液のpHを測定する。</li> <li>ブレンステッドの理論での酸と塩基を再認識する。</li> <li>観察された状況を説明する化学反応の記述に<math>\rightarrow</math>、<math>\leftarrow</math>の記号を利用する。</li> <li>pHとpKaを知っている酸・塩基のペアの安定な組を特定する。</li> <li>酸解離定数を決定するための実験的アプローチを実行する。</li> <li>よく使われる濃度の強酸または強塩基の水溶液のpHを計算する。</li> <li>観測された温度上昇に関わる物質の影響を明らかにする。</li> <li>生物学的環境におけるpH制御の重要性を示すための情報を抽出して活用する。</li> </ul>

エネルギー、物質と放射線

概念と内容	求められるコンピテンス
巨視的視点から微視的視点へ アボガドロ数。	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子や分子を可視化するための実験装置に関する情報を抽出して活用する。</li> <li>微視的および巨視的領域に対する大きさのオーダーを見積もる。</li> </ul>
巨視的な系の間でのエネルギー移動系と内部エネルギーの概念。微視的な解釈。 熱容量。 熱伝達：伝導、対流、放射。 熱流束。熱抵抗。 不可逆の概念。 エネルギー収支。	<ul style="list-style-type: none"> <li>巨視的系の内部エネルギーが微視的な寄与から成っていることを知る。</li> <li>凝縮状態にある物体の内部エネルギーの変動と温度の変動との間の関係を知り、活用する。</li> <li>微視的スケールで物質内の熱伝達を解釈する。</li> <li>平らな壁を通る熱流束とその2つの面の間の温度差との関係を活用する。</li> <li>熱伝達と仕事に関するエネルギー収支を作成する。</li> </ul>
量子的なエネルギー移動 量子的な放出と吸収。 光波の誘導放出および増幅。 光発振器：レーザーの原理。	<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導放出の原理とレーザーの主な特性 (指向性、単色性、エネルギーの空間的および時間的集中) を認識する。</li> <li>調査あるいは情報を送信するためのツールとしてレーザーを使用した実験プロトコルを実装する。</li> <li>関連する遷移の性質とスペクトル領域を関連付ける。</li> </ul>
波動と粒子の二重性 光子と光の波。 物質的な粒子と物質波；ド・ブロイの関係。 光子による光子の干渉、物質の粒子ごとの物質の粒子。	<ul style="list-style-type: none"> <li>光には波と粒子の側面があることを認識する。</li> <li>物質波ならびに波-粒子の双対性に関する情報を抽出して活用する。</li> <li><math>p=h/\lambda</math> の関係式を理解し使用する。</li> <li>物質の波動特性が重要となる物理的状況を特定する。</li> <li>確率論的側面を明らかにするために量子現象に関する情報を抽出して活用する。</li> </ul>

行動する

21世紀の脅威

地球を守りながら、開発を進めようとする人間が直面している課題に科学はどのように対応しうるか？

資源を節約し環境を大切にす

概念と内容	求められるコンピテンス
エネルギー問題 新しいエネルギーチェーン。	現代のエネルギー問題に取り組み成果または科学的プロジェクトに関する情報を抽出して活用する。
省エネルギー。	住宅や輸送の分野でエネルギー収支を作成する。省エネルギーを達成するための解決策について議論する argumenter。
環境に配慮した化学の貢献 持続可能な化学：	

-アトムエコノミー； -廃棄物の制限； -農業資源； -自然環境を汚染しない化学； -溶媒の選択； -リサイクル。 二酸化炭素の有効化	環境への配慮の観点から合成プロセスの長所と短所を比較するために、以下に関連する情報を抽出して活用する： -持続可能な化学 -二酸化炭素の回収
秤量による品質管理 キャリブレーションによる秤量： -分光測光法。ランベルト・ベールの法則。 -電気伝導度測定；ランベルト・ベールの法則の類推によるコールラウシュの法則の定性的説明。 直接滴定による秤量。 滴定による補助反応；定量的な性質。 滴定における等価；pH測定、電気伝導度測定、および反応終了指示薬を用いた滴定のための等価の同定。	分光光度計と導電率を使用した校正曲線を使用して、健康、環境、または品質評価の分野における化学種の濃度を決定するための実験的アプローチを実行する。 実験プロトコルからの滴定の反応支持の方程式を確立する。 物理的な量を追いつき、色の変化を可視化することによって、健康、環境または品質評価の分野における化学種の濃度を決定するための実験的アプローチを実行する。 電導度滴定における傾き変化を定性的に解釈する。

分子を合成し、新素材を作る

概念と内容	求められるコンピテンス
<b>有機合成の戦略</b> 有機合成プロトコル： -試薬、溶媒、触媒、生成物の識別。 -関係する種の量の決定、制限試薬。 -実験パラメータの選択：温度、溶媒、反応の持続時間、pH； -段取り、純化技術、生成物の分析の選択； -収量の計算。 -セキュリティ面。 -コスト。	関与する種、それらの量と実験パラメータを識別するために実験プロトコルの批判的な分析を行う。 使用した合成および分析手法の選択を正当化する。 2つのプロトコルの長所と短所を比較する。
<b>有機化学における選択性</b> 多官能性化合物：化学選択性試薬、機能の保護。	反応が選択的であるかどうか明らかにするため、以下の情報を抽出して活用する： -化学選択的試薬の使用について -ペプチド合成の場合の機能の保護について プロトコルから生物学的に関心のある有機分子を合成するための実験的アプローチをスペクトルと与えられた表から試薬と製品を識別する。

情報を伝達し保存する

概念と内容	求められるコンピテンス
<b>情報伝達のつながり (chaîne)</b>	情報伝達のつながり要素を特定する。 情報のつながりの要素とそれらの最近の発展に関する情報を収集して活用する。
<b>デジタル画像</b> デジタル画像の特性：ラスターサイズ、RGBエンコーディング、グレースケール。	数値の配列をデジタル画像に関連付ける。 光学現象を研究するためにセンサー（例えばカメラまたはデジタルカメラ）を使用して実験プロトコルを実行する。
<b>アナログ信号とデジタル信号</b> アナログ信号からデジタル信号への変換。 サンプリング；定量化；スキャン。	アナログ信号とデジタル信号を再認識する。 サンプルホールドデバイスおよび/またはアナログ-デジタル変換器(ADC)を使用して、(たとえば音源の)信号のデジタル化に対するさまざまなパラメータの影響を調べる実験プロトコルを実装する。
<b>伝送の物理的プロセス</b> 自由伝播および誘導伝播。 -ケーブルで； -光ファイバーによって；モードの概念； -地上波伝送。 ビットレート。 減衰。	さまざまな種類の伝送を比較するために情報を活用する。 デジタル伝送をそのビットレートで特徴付ける。 減衰係数を使用して信号の減衰を評価する。 データ伝送装置(ケーブル、光ファイバ)を実装する。

光ストレージ 光ディスク上のデータの書き込みおよび読み出し。 記憶容量。	干渉法による読み込みの原理を説明する。 記憶容量とその進化を回折現象と関連づける。
--	--

創造し革新する

概念と内容	求められるコンピテンス
科学技術文化；科学-社会の関係。 科学的な活動の専門職(研究機関、企業などとのパートナーシップ)。	以下に関連する可能性ある文書を要約する： -科学技術ニュース； -科学技術職または教育； -科学と社会の間の相互作用。

専門的教育 ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

物理・化学の専門的教育は、生徒の進路選択を固めつつ、生徒に対してこの分野での科学的学習 études scientifiques を継続していくことを準備する。この教育は生徒が実験の実践 pratiques expérimentales の習熟と同じように科学的アプローチ démarche scientifique を習熟したと明言できるようにするものであり、生徒の意欲とコンピテンスをテストするための手段を提供する。

生徒を研究 recherche ならびに行動 action せざるを得ない状況に置くことで、この教育は、科学的アプローチに関連するコンピテンスを強固なものとする。したがって、生徒は科学者にとって3つの本質的な活動を伸ばすよう導かれる：

- 実験の実践；
- 科学的資料 documents scientifiques の分析と総合
- 科学的な課題の解決

そのためには、専門的教育の学習指導要領は、化学のテーマ(水)、物理のテーマ(音と音楽)そして化学と物理を組み合わせたテーマ(物質)の3つのテーマの学習を行う。

3つのテーマのそれぞれについて、教員は、学習指導要領の右の列から選ばれたいくつかのキーワードから自分の教育を開発することによって、すべての学習分野を扱う。

これらのキーワードは、特化した教育 enseignement spécifique を補完する新しい知識の基底を成す。学習内容を理解していくために必要な諸々のことが、バカロレア試験で要求されるものではない。

実験の実践は、支援されかつ多様化されなければならない、また生徒のイニシアチブを尊重する必要がある。テーマごとに、生徒の関心の中心を考慮することが重要である。

科学的資料の分析と総合は、特化した教育において実施される「抽出し活用する」コンピテンスを拡張する。「抽出し活用する」コンピテンスは、客観的かつ批判的で、構造化されかつ明確な方法で、扱っている科学的資料から抽出されかつ活用される要素を生徒が提示できるように導く。

科学的な問題 problèmes scientifiques を解決するプロセスにおいて、生徒は、その意味を理解するために提起された問題を分析し、解決のステップを構築し、それらを実装する。大きさのオーダーの評価を通して、あるいは均質

性を考慮することによって、生徒は、結果を批判的に捉える。生徒は、考案した解決ステップの妥当性を吟味し、最終的にはそのステップを修正する。生徒にとっては、ある練習課題 *exercice* として課された解決のステップに従うことは重要ではなく、提起された科学的な問い *question scientifique* に答えるために生徒自身が1つ以上の手がかりを想像することが大切である。すなわち、科学的な問いの把握の仕方についてであり、解決方法の合理的選択についてであり、問題解決のプロセスの間に生徒のトレーニングが中心となる検証の手段についてである。

授業中やバカロレア試験で生徒が遭遇する状況は、専門の教育の3つのテーマの研究分野に限定される。教師は、実験が行われる状況を広く利用するものとする。

### テーマ1：水

学習領域	キーワード
水と環境	海、海洋：気候；化学トレーサー 侵食、溶解、凝結 汚染の監視および物理化学的制御；酸性雨
水と資源	飲料水の生産；水処理 海洋の鉱物および有機性資源；ガスハイドレート

水とエネルギー	燃料電池 水素の製造
---------	---------------

### テーマ2：音と音楽

学習領域	キーワード
楽器	弦楽器、管楽器、打楽器 電子楽器 音楽音響；音階；ハーモニー サウンド処理
音の発信機と受信機	生理学的音響 マイク；音響スピーカー；ヘッドフォン 音声認識
音と建築	オーデトリウム；無響室 遮音性；アクティブ音響；残響

### テーマ3：物質

学習領域	キーワード
ライフサイクル	生成、エージング、腐食、保護、リサイクル、廃棄
構造と特性	導体、超伝導体、液晶 半導体、太陽光発電 膜 接着剤 界面活性剤、エマルジョン、発泡体
新素材	ナノチューブ、ナノ粒子 ナノ構造材料 複合材料 セラミックス、ガラス 生体適合性材料、革新的な繊維