

LE PROBLÈME DE PHYSIQUE AUX XIX^e ET XX^e SIÈCLES

Forme, rôle et objectifs

par Nicole HULIN

En physique l'exercice scolaire peut revêtir plusieurs formes fondamentales : *l'exercice d'application* où, étant donnée une situation physique, on demande d'en déduire des informations sur le (ou les) phénomène(s) observé(s). Il s'agit de repérer la loi physique impliquée, de la traduire mathématiquement et, ainsi par « application des formules », d'obtenir la valeur des grandeurs observées ; *la question de cours* où est exposée une partie déterminée du corpus enseigné ; il s'agit en quelque sorte d'une dissertation de « philosophie naturelle » ; *la manipulation* dans laquelle l'élève doit réaliser une expérience donnée, effectuer des mesures, vérifier une loi physique.

Ce dernier type d'exercice est apparu plus tardivement que les autres. Ce n'est qu'au milieu du XIX^e siècle que les exercices pratiques constituent une épreuve d'agrégation et au début du XX^e que les travaux pratiques sont introduits dans les études secondaires lorsqu'avec la réforme de 1902, une nouvelle orientation est donnée aux études scientifiques. La nature des divers travaux proposés en physique est liée au caractère de la discipline, science expérimentale – peu formalisée au XIX^e siècle – dont les lois sont traduites mathématiquement.

Dans l'étude présentée ici, nous nous intéresserons au problème de physique qui a pris, en particulier dans les examens et concours, une grande importance. Nous entendons par problème un enchaînement un peu structuré de questions, le distinguant en cela du simple exercice d'application. Mais nous opposons exercice et problème, qui nécessitent de savoir appliquer à une situation donnée les connaissances acquises dans le cours, à la question de cours qui consiste en un exposé de ce qui se trouve dans tous les traités. Ces

deux formes étaient déjà bien distinguées dans la première moitié du XIX^e siècle, les questions de physique se composant de « théories » et de « problèmes » (1).

Quels objectifs assigne-t-on au problème ? Dans la première moitié du XIX^e siècle est déjà affirmé l'intérêt de la résolution des problèmes qui « sert en même temps à constater le savoir des élèves et à développer leur intelligence » (2). E. Bary, publiant en 1838 un recueil de problèmes de physique, juge que des ouvrages de ce type sont très utiles pour « assurer le succès de l'enseignement » ou « en étendre les limites », et montrer les « nombreuses applications qu'on peut faire des théories physiques » (3). Avec la circulaire de Victor Duruy, du 7 octobre 1865, concernant l'enseignement scientifique dans les lycées, l'insistance est mise sur l'importance de « la discussion des problèmes, parce que cet exercice est le plus profitable de tous pour familiariser les élèves avec les vraies méthodes scientifiques et pour donner à leur esprit de la souplesse et de l'activité inventive » (4). Et ces arguments se retrouvent dans la conférence que G. Lippmann consacre en 1904 à l'enseignement des sciences expérimentales ; après avoir affirmé que « le problème, c'est la recherche », il explique que « la question de cours est pour les élèves une question de mémoire » alors que le problème, c'est-à-dire la « question qui exige quelque initiative, de la réflexion et de l'invention [...] seul peut apprendre à l'élève ce qu'est l'esprit scientifique » (5).

Pour déterminer comment s'est constitué peu à peu le problème de physique, quand et comment ce type d'épreuve est apparu dans les examens et les concours, quel type d'évolution effective il a subi, nous envisagerons successivement le cas du baccalauréat, du concours général et de l'agrégation de sciences physiques.

1. E. Bary : *Nouveaux problèmes de physique*, Paris, 1838, p. XI.

2. *Ibid.*, p. V.

3. *Ibid.*, p. V.

4. *Circulaires et instructions ministérielles relatives à l'instruction publique, 1863-1869*, Paris, pp. 287-288.

5. *Recueil de conférences*, Paris, 1904, pp. 33-36. Ces conférences au Musée pédagogique se situent dans le cadre de la très importante réforme de 1902.

I. L'ÉPREUVE DU BACCALAURÉAT

Au début du XIX^e siècle, on ne pouvait être reçu bachelier ès sciences qu'après avoir obtenu le baccalauréat ès lettres et en répondant à des questions de mathématiques. C'est en 1840 (règlement du 14 juillet) qu'une composition écrite est introduite au baccalauréat ès lettres : il s'agit d'une version latine d'une durée de deux heures. Avec le régime de la « bifurcation des études » (6) de 1852 est institué un baccalauréat ès sciences parallèle au baccalauréat ès lettres. Le règlement du 7 septembre 1852 concernant le baccalauréat ès sciences prévoit un écrit constitué de deux épreuves : la version latine d'une part, une composition sur un ou plusieurs sujets de mathématiques *ou* une composition sur un ou plusieurs sujets de physique, d'autre part. Puis le règlement du 7 août 1857 impose pour la deuxième épreuve écrite deux compositions, une en mathématiques *et* une en physique (durée : quatre heures). Nous ne pouvons donc parler des sujets de composition de physique qu'à partir du Second Empire.

Cependant, le « problème » était déjà utilisé dans l'enseignement au début du XIX^e siècle pour préparer les élèves au concours général (dont nous traitons plus loin). Il existait même des recueils de problèmes, certes fort rares, comme celui de E. Bary qui définit dès le début l'objet du problème de physique (7) qui est « soit l'explication d'un fait observé, soit la prévision des faits qui doivent naître d'un ensemble de circonstances données, soit la découverte des lois qui régissent un phénomène », soit l'évaluation d'une grandeur demandée, soit l'invention d'une méthode expérimentale. Mais on notera aussi l'encouragement donné à utiliser l'outil mathématique par l'affirmation que le calcul n'est pas un embarras, mais un secours pour le physicien qui l'applique à ses recherches et se laisse conduire par la géométrie ou l'analyse dès qu'il a trouvé la construction ou l'équation d'un problème ; ainsi, la recommandation est faite aux physiciens de se livrer avant tout à une étude approfondie des mathématiques.

6. Nicole Hulin-Jung : *L'Organisation de l'enseignement des sciences – la voie ouverte par le Second Empire*, Paris, C.T.H.S., 1989.

7. *Op. cit.* n° 1, pp. 1-2. E. Bary avait été nommé professeur au collège royal Charlemagne, en juin 1829, en remplacement de Chevreul et était répétiteur à l'École polytechnique. Les problèmes réunis dans l'ouvrage (réédité en 1867) tirent, pour la plupart, leur origine de l'enseignement de E. Bary.

Après l'instauration d'une épreuve au baccalauréat, très rapidement apparaît la référence au « problème type » et aux « formules nécessaires ». Ainsi E. Tarnier, présentant un recueil de problèmes proposés au baccalauréat qu'il publie en 1864, note que « les deux cents problèmes servant de *types*, faciles à imiter ont été coordonnés de manière à embrasser presque tous les sujets de compositions qui pourront être proposés » et que « chaque chapitre [...] renferme les *définitions*, les *principes* et les *formules* nécessaires pour l'intelligence des questions » (8).

Si on considère les sujets de composition de physique proposés en 1853 à la Faculté des sciences de Paris (9), on remarque qu'ils comprennent deux parties :

– une « question théorique », telle que : « Décrire et expliquer le phénomène de la rosée » ou « Dilatation des corps par la chaleur » ou encore « Lois de la réfraction de la lumière ; leur démonstration par l'expérience » ;

– un « problème », qui est en fait un exercice dans notre terminologie. On demande, par exemple, de chercher combien de kilogrammes de vapeur d'eau sont nécessaires pour porter un bain de 246 kg d'eau de 13 à 28 degrés, connaissant la chaleur latente de la vapeur d'eau.

Les différents sondages que nous avons effectués – sujets de 1867 et 1868, sujets de 1871 à 1891 (10) – montrent que, pendant la deuxième moitié du XIX^e siècle, ce type d'exercice perdure en s'étouffant cependant peu à peu. Par exemple – sujet posé en 1884 et 1889 – on demande de calculer la profondeur d'un puits à partir de l'étude de la chute d'un corps, connaissant l'intervalle de temps séparant le début du mouvement de chute libre et la perception du bruit du choc de ce corps contre le fond du puits. Un autre exemple – sujet posé en 1885, 1887, 1890 – est l'étude du mouvement d'un projectile lancé verticalement vers le haut ; on demande ici de déterminer le temps mis par le projectile pour atteindre le point le plus haut de sa trajectoire, la hauteur maximum atteinte et le temps nécessaire pour qu'il revienne à son point de départ. On remarquera que des questions identiques (pour le fond, parfois un peu différentes dans la forme) sont posées à diverses reprises.

8. E. Tarnier : *Problèmes de physique mathématique proposés au baccalauréat ès sciences avec les solutions raisonnées*, Paris, 1864.

9. A. Ganot : *Traité élémentaire de physique*, Paris, 1854, pp. 675-685.

10. *Ibid.*, 20^e éd. 1887 ; Ch. Drion et E. Fernet : *Traité élémentaire de physique*, Paris, 3^e éd. 1869, 6^e éd. 1877 et 8^e éd. 1881 ; E. Bouant : *Problèmes de baccalauréat*, Paris, 1892.

À partir du début du XX^e siècle – et cette modification est certainement liée à l'importante réforme de 1902 (11) qui tendait à instaurer un nouvel esprit dans l'enseignement scientifique – on note une structuration de la composition avec un enchaînement de questions marquant une évolution vers le problème tel qu'on l'entend aujourd'hui classiquement. Ceci apparaît nettement en étudiant la suite continue de sujets entre 1909 et 1947 pour diverses académies (12).

Les remarques sur les problèmes, les conseils pour les résoudre qui sont présentés dans les manuels sont très significatifs des changements de conception. Ainsi, au XIX^e siècle, trouve-t-on (13) un paragraphe introductif sur l'objet et la résolution des problèmes de physique dans lequel est affirmé que «les problèmes de physique proposés dans les examens sont, en général, de véritables problèmes d'algèbre», la nature de l'exercice venant du fait qu'ici c'est «une loi physique qui lie les quantités connues à l'inconnue». Ainsi la résolution d'un problème, est-il affirmé, se compose-t-elle toujours de deux opérations distinctes : la mise en équation du problème qui «demande avant tout la connaissance des lois de la physique» et la résolution de l'équation. Nous avons donc ici une vue très réductionniste du problème de physique qui a peut-être son origine dans une certaine conception de la physique, considérée comme science d'application, qui prévalait en 1852.

Dès la première moitié du XX^e siècle, l'importance du problème de physique s'accroît, marquée par les recommandations des auteurs de manuels ou la publication d'ouvrages «pour réussir le problème de physique au baccalauréat» (14). Certains auteurs (15) soulignent l'utilité du problème «à la compréhension de la physique». Un accent particulier est mis sur les applications numériques, on insiste sur la nécessité de «réfléchir à la grandeur du nombre trouvé» pour essayer de «se rendre compte s'il correspond aux faits expérimentaux».

11. Voir par exemple l'article de B. Belhoste publié dans le numéro spécial de la *Revue d'histoire des sciences* consacré à l'enseignement scientifique (n° 4 de 1990).

12. M. Ginat : *Physique*, classe de mathématiques, Paris, 1935 ; G. Ève : *Physique*, classe de mathématiques, Paris, (programme du 18 avril 1947) ; G. Rumeau, A. Bertran, A. Guéraud : *Physique*, classe de mathématiques, Paris, 1948 (programme du 18 avril 1947) ; G. Dumesnil, J. Liferman : *Physique*, classe de mathématiques élémentaires et sciences expérimentales, 1957.

13. *Op. cit.* note 9, éd. 1887, p. 1395.

14. F. Charron : *Pour réussir le problème de physique au baccalauréat*, Paris, 1930.

15. L.-J. Olmer : *Physique*, classe de 1^{re}, Paris, 1929, préface pp. V-VI.

taux connus» et on recommande de recommencer le problème si le résultat est manifestement faux. Ainsi, dit-on, se développera «l'esprit critique, le souci de la réalité, le bon sens».

La différence est grande avec l'auteur du XIX^e siècle précédemment cité ; il y a désormais incitation à la réflexion sur le résultat obtenu à partir des calculs, et ceci va dans le sens de ce que recommandait G. Lippmann dans sa conférence au Musée pédagogique en 1904. Celui-ci illustre cette nécessité sur un exemple :

«Il s'agit de calculer la température finale d'une masse d'eau à laquelle on a mélangé de la glace. Le candidat fait une faute de signe et trouve 125°2398. L'eau est devenue plus que bouillante. Ignore-t-il les propriétés de la glace à rafraîchir ? Non ; il n'en est pas là. Voici quelle est exactement la psychologie du candidat. Il arrive inquiet dans la salle de composition. Aux premiers mots du problème, il se dit : «chaleur latente, je sais la formule» et il se sent rassuré. Il écrit sa formule, puis il fait de son mieux l'application numérique, qui a peu d'importance parce que l'on est rarement refusé pour une erreur numérique. Enfin il s'en va assez tranquille, sans avoir réfléchi une seconde au sens de son résultat » (16).

Tout en insistant aussi sur l'intérêt des applications numériques, d'autres auteurs (17) dénoncent le caractère inadmissible des résultats donnés avec un grand luxe de chiffres significatifs sans rapport avec les précisions obtenues expérimentalement. Dans ces conseils généraux pour résoudre les problèmes, apparaît maintenant la recommandation importante de «ne pas abuser des formules de cours» que «les débutants utilisent machinalement» (18). On sent peu à peu s'affiner la conception du problème et s'accroître son importance à travers les recommandations. Ainsi, en 1935 (19), trouve-t-on détaillé un processus opératoire : lecture de l'énoncé, exécution d'un schéma et analyse de l'expérience, explicitation des lois et des principes, expression du résultat numérique en précisant l'unité employée. Cette référence à l'unité constitue une exigence nouvelle.

Vers le milieu du XX^e siècle, les conseils se précisent, toujours dans le sens du développement du sens physique ; ainsi, le choix de

16. *Recueil de conférences...*, *Op. cit.* note 5, pp. 40-41.

17. F. Ollive : *Physique*, classe de 1^{re}, Paris, 1928 (programme du 3 juin 1925), p. 435.

18. *Ibid.*, p. 437.

19. M. Ginat ; *op. cit.* note 12, pp. 560-561.

l'unité « pour exprimer le résultat final doit être conforme au bon sens » et il faut évaluer l'ordre de grandeur du résultat cherché (20). Mais, d'autre part, s'opèrent alors des « réaménagements » dans les structures de la physique (21), et l'évolution de la discipline amène dans les années 1960-70 un grand mouvement de réforme de l'enseignement de la physique, ne se limitant pas à la France ; en France, ce furent les travaux de la Commission Lagarrigue (22). Des réflexions sont alors menées sur la forme et le rôle du problème de physique. On retrouve un discours sur l'utilité de la résolution des problèmes pour le développement de la créativité en physique, auquel s'ajoute une insistance sur la nécessité de faire évoluer la forme du problème pour une meilleure adéquation à un enseignement en train de se rénover. En 1972, le président de l'Union des physiciens, P. Marck, fait quelques propositions (23) pour le « remodelage de la forme du problème de physique », y incluant l'étape de modélisation. En effet, un phénomène réel étant toujours très complexe, un acte essentiel de l'analyse physique est « la conception d'un modèle simple » et « il est fondamental qu'elle ne soit pas totalement absente dans le libellé même du sujet de physique », pour éviter que tout se ramène à des calculs effectués à partir de formules, plus ou moins bien comprises. De plus, les exercices devraient être de type très varié (description d'expériences, interprétation de phénomènes décrits, exploitation de résultats fournis...)

Après avoir élaboré quelques grandes lignes directrices, la Commission Lagarrigue élabore des programmes et les soumet immédiatement à l'expérimentation. Celle-ci commence en seconde dès l'année 1972-73. Des épreuves spéciales du baccalauréat sont tout naturellement organisées ; elles sont structurées sous forme d'exercices ne demandant que des calculs très simples mais exigeant une argumentation pour justifier les réponses. Renonçant à la forme traditionnelle de l'épreuve qui « récompensait peut-être davantage un effort de mémoire qu'une réflexion sur les phénomènes chimiques

20. M. Eurin, H. Guimiot : *Physique*, classe de mathématiques, Paris, 1953, p. 492.

21. Michel Hulin : « De l'activité scientifique au paradigme de l'enseignement », *Revue du Palais de la Découverte*, n° spécial 40, mai 1991, pp. 101-113.

22. Au sujet de cette commission voir Michel Hulin : *Le Mirage et la Nécessité – pour une rédéfinition de la formation scientifique de base*, Paris, Presses de l'ENS et Palais de la Découverte, 1992. Voir aussi Nicole Hulin : « La constitution et les débuts de la Commission Lagarrigue ou du rôle moteur des sociétés savantes », *Bulletin de l'Union des physiciens*, janvier 1991, pp. 11-29. Créée en novembre 1970 par Olivier Guichard, alors ministre de l'Éducation nationale, elle commence ses travaux en mai 1971 ; son activité prend fin en septembre 1976.

23. *B.U.P.*, février 1972, p. 645.

ou physiques», le choix s'est donc porté sur «plusieurs questions indépendantes (afin de ne pas entraîner une note médiocre sur un faux départ), mettant en jeu des aptitudes diverses des candidats, et qui ne devaient pas se limiter à une pure application numérique», comme cela se faisait dans divers pays étrangers de niveau scientifique élevé (24). Par exemple (bac. S1, 1975), on demande d'expliquer pourquoi un mobile animé d'un mouvement circulaire uniforme a une accélération bien que le module de sa vitesse soit constant et de donner des précisions sur cette accélération. Autre exercice (bac. S1, 1976), on indique que la trajectoire d'un électron soumis à un champ magnétique uniforme est circulaire ; cinq affirmations sont alors énoncées sur les caractéristiques du mouvement de l'électron, à accepter ou récuser en justifiant les réponses. Dans l'encadré est présenté un texte intégral de ce type d'exercice (posé au baccalauréat expérimental en 1976) dans lequel on notera la part d'initiative qui est laissée au candidat, se distinguant en cela des énoncés traditionnels où toutes les données nécessaires sont fournies ; ici, le candidat doit montrer qu'il maîtrise les ordres de grandeur et que, dans une certaine mesure, il a quelque sens physique. Un ensemble de cinq exercices, choisis parmi ceux proposés au baccalauréat expérimental, a servi de test en 1986 pour des étudiants présentant le baccalauréat ; la courbe de répartition des notes, pour les quelque 900 copies, est tout à fait satisfaisante : excellent étalement effectif des notes de 0 à 20, présence d'un pic un peu en dessous de la moyenne, allure générale d'une gaussienne.

Dans une chambre à bulles, un proton (masse m , charge e), se déplaçant dans un champ magnétique uniforme B , décrit une trajectoire circulaire de rayon R .

On désigne par c la célérité de la lumière dans le vide et l'on sait qu'il faut appliquer la mécanique relativiste pour étudier ce proton. Calculer, en fonction de tout ou partie des données précédentes (mais sans en introduire d'autres), la valeur de la quantité de mouvement du proton.

Se donner soi-même une application numérique simple, vraisemblable, et calculer numériquement, en MeV/c par exemple, la quantité de mouvement du proton. (Certaines valeurs numériques doivent être connues du candidat, ne serait-ce que par leur ordre de grandeur.)

24. Archives de la Commission Lagarrigue, compte rendu du groupe de travail de physique des 22 février 1974 et 7 février 1975.

Cette évolution du sujet de baccalauréat se poursuit (25) au-delà de l'existence de la Commission Lagarrigue. Dans le début des années 1980, l'épreuve de sciences physiques est structurée en cinq questions, deux de chimie et trois de physique : des propositions diverses sont émises au sujet d'une situation expérimentale à accepter ou à réfuter en justifiant les réponses ; des références sont faites à des montages expérimentaux précis, liés par exemple à l'emploi de l'oscillographe cathodique ; la détermination du contenu d'une « boîte noire » est demandée à partir d'indications expérimentales ; travail à effectuer sur un cliché de chambre à bulles...

La conception de la question de physique au baccalauréat a donc subi une transformation très nette depuis le XIX^e siècle. Mais la nécessité de préparation à l'examen, dont l'influence sur les études était déjà dénoncée par A. Cournot (26) au milieu du XIX^e siècle, fait que toute tentative de renouvellement de l'épreuve s'accompagne de l'élaboration de nouveaux problèmes « types ». Samuel Johsua a montré, sur les programmes de terminale d'avant la réforme Lagarrigue, que sept ou huit sujets types rendaient compte de 85 % au moins des épreuves, le système en classe terminale devenant celui d'un entraînement à chaque sujet type (27).

II. L'ÉPREUVE DU CONCOURS GÉNÉRAL

Nous nous intéressons ici à cette épreuve en raison de son existence antérieure à celle de la question de physique au baccalauréat. Nous développerons peu cette partie et centrerons notre intérêt sur la structure de la question de concours général en physique : question de cours et/ou exercices, problèmes. Nous considérerons donc, essentiellement, la période allant du début du XIX^e siècle jusque vers la fin du Second Empire, de 1805 à 1867 (28).

25. En particulier sous l'influence de Michel Hulin qui a appartenu à la Commission Lagarrigue et qui préside, de 1980 à 1983, la commission restreinte des sciences physiques du baccalauréat de l'enseignement du second degré des académies d'Ile de France.

Quelques unes de ses réflexions sur le problème de physique ont été publiées sous le titre « Faire évoluer le problème de physique » (*B.U.P.*, n° 728, novembre 1990).

26. « On doit rapporter aux dernières années de la Restauration le commencement de la grande maladie du *baccalauréat* qui a eu et qui aura sur les études de notre pays une si fâcheuse influence », A. Cournot : *Souvenirs*, Paris, 1913, p. 192.

27. Cité par M. Hulin, *op. cit.* note 22.

28. On trouve les textes rassemblés *op. cit.* note 1, 2^e éd., 1867.

Au XIX^e siècle, la situation est un peu complexe. En effet, de 1805 à 1826 il n'y a qu'un seul concours de physique dans les lycées, mais l'arrêté du 16 septembre 1826 (art. 7) établit le cours de physique pendant les deux années de philosophie (2 leçons par semaine la première année et 5 leçons la deuxième année) ce qui donnera lieu à un concours général en physique élémentaire et un concours général en physique spéciale à partir de 1827. La situation se complique nettement sous le Second Empire avec la création de deux sections et l'introduction de la physique dès la classe de troisième (29), ce qui va donner lieu à de nouveaux concours (règlement du 14 septembre 1852). Évoquons d'abord rapidement ces éphémères concours.

– Dans le concours général en *classe de philosophie* sur les matières du baccalauréat ès lettres (de 1853 à 1867), l'épreuve comporte systématiquement un exercice d'application. Par exemple, en 1856, l'exercice consiste à déterminer le volume d'un corps et son poids apparent dans un liquide dont le poids spécifique est donné connaissant son poids et son poids apparent dans l'eau.

– Le concours général en *rhétorique* dans la section des sciences (de 1855 à 1865 – c'est-à-dire jusqu'à l'abandon de la réforme de la « bifurcation ») comprend des questions de mécanique et de physique associées (30) ; à partir de 1859, une place est faite aux exercices à côté des questions de cours. Ainsi, en 1861, l'exercice porte sur le mouvement parabolique d'un projectile lancé vers le haut avec une vitesse oblique et on demande l'altitude maximum atteinte, le temps mis pour revenir toucher le sol et la portée du tir.

– Dans le concours général en *seconde* de la section des sciences (de 1854 à 1865), le sujet comporte toujours au moins un exercice, sauf en 1860 où il est constitué de trois questions de cours. En 1855, deux exercices composent l'intégralité du sujet.

– Le concours général en *troisième* de la section des sciences a lieu de 1860 à 1863 (la « bifurcation » qui intervenait en troisième est repoussée d'une année en 1863). En 1860 et 1861, la « triade » physique, chimie, histoire naturelle, dont les notions figurent au programme de la classe de troisième, constitue le sujet, alors qu'en 1862 et 1863, seules la physique et la chimie interviennent. Dans tous les cas, il s'agit de questions de cours.

29. *Op. cit.* note 6.

30. On notera la place particulière faite à la mécanique dans cette réforme.

Revenons aux autres concours qui ne sont pas liés à l'éphémère réforme de la « bifurcation ». Une première remarque s'impose : ce sont des savants de renom qui s'en occupent, en particulier pendant les premières années ; non seulement ils donnent les sujets (Francoeur, Haüy, Gay-Lussac...) mais ils sont aussi chargés de la correction des copies (Biot, Thenard, Poisson...) (31). De 1822 à 1827 inclusivement, Dulong propose toutes les questions de physique du concours ; après sa mort, en 1838, Pouillet assure un suivi à peu près équivalent du concours jusqu'en 1851.

Nous l'avons dit, de 1805 à 1826, il y a un seul concours de physique. Le premier sujet proposé par Biot en 1805 est constitué de deux exercices. Ensuite, les sujets donnés sont uniquement des questions de cours jusqu'en 1821, où la composition est constituée d'un unique problème posé par Biot. Avec l'arrivée de Dulong, il y a une alternance de questions de cours et exercices avec des questions de cours seules.

De 1827 à 1867, on distingue deux concours. Il y a, d'une part, le concours en *physique spéciale*. L'épreuve y est constituée soit de questions de cours, soit d'un ensemble question de cours et exercice (exception faite de l'année 1828 où le sujet comporte deux exercices uniquement) jusqu'à l'arrivée de Pouillet qui mélange assez systématiquement question de cours et exercice, les quelques exceptions sont groupées dans le temps (1847, 1848, 1849, 1851) et comprennent des questions de cours seulement. On notera qu'au début de la réforme de la « bifurcation », il n'y eut pas de concours en 1853 et 1854, et qu'en 1855 et 1856 les sujets posés comportaient deux parties, l'une de physique, l'autre de chimie. D'autre part, il existe un concours en *physique élémentaire* où, à partir de 1841, une place est faite dans le sujet à un exercice (sauf à quelques reprises sous le Second Empire).

Durant cette période s'opère un lent glissement du sujet, des questions de cours posées seules à une association avec l'exercice. Trois tentatives sont faites pour une élimination complète de la question de cours : lors du premier concours en 1805 par Biot qui réitère en 1821, puis en 1828 par Dulong. C'est ce type de structure en problème qui va s'imposer au XX^e siècle où la question de physique va devenir un ensemble de questions qui s'enchaînent et s'organisent pour constituer un problème très charpenté comportant

31. *Op. cit.* note 1, éd. de 1867, p. 217.

plusieurs parties et dont la longueur s'accroît, comme le montre l'ensemble des sujets consultés de 1922 à 1953 (32). Et, bien entendu, ces problèmes sont beaucoup plus étoffés que ceux posés au baccalauréat.

III. LE PROBLÈME DE PHYSIQUE À L'AGRÉGATION

Concours de recrutement de ceux qui transmettent le savoir et participent à l'élaboration des épreuves de contrôle des connaissances, l'agrégation est un domaine d'étude tout à fait intéressant pour suivre le cheminement vers l'établissement du problème de physique traditionnel. Disons tout de suite que l'année 1897 semble devoir être une date charnière puisqu'elle correspond à l'introduction officielle d'une composition de physique « portant sur des problèmes et des applications » (33). Avant cette date, le processus d'évolution (34) est celui que l'on a constaté pour la composition de physique du concours général avec d'abord des questions de cours et ensuite leur association à des exercices.

C'est en 1853, au moment de l'instauration du régime de la « bifurcation », qu'apparaît l'exercice aux côtés de la question de cours dans l'agrégation de sciences réunifiée après la spécialisation qui avait été établie par V. Cousin en 1840 (35). On demande combien il faut de kilogrammes de vapeur d'eau prise à une température donnée pour un nombre fixé de kilogrammes de glace pour convertir le tout en eau à une température imposée. On notera la grande parenté et le niveau semblable de cet exercice avec celui que nous citons plus haut pour le baccalauréat de la même année 1853.

Lorsque la double agrégation des sciences est rétablie (1859-1868), le sujet de physique à l'agrégation de sciences physiques et naturelles, comprend dans 50 % des cas un exercice. Puis le statut de 1869 distingue trois agrégations et jusqu'en 1875 l'épreuve de physique (durée : sept heures) est une question de cours. En 1880,

32. Pour les textes voir, A. Béthencourt : *Physique*, classe de mathématiques, Paris, 1932 (programme du 30 avril 1931) ; M. Ginat, G. Rumeau..., G. Dumesnil... ouvrages cités note 12 ; *op. cit.* note 20.

33. Article 33 de l'arrêté du 19 janvier 1897.

34. On trouve les sujets dans les annales publiées par Ch. Corneille : *Agrégation de l'enseignement secondaire, Recueil de sujets de composition données dans les concours jusqu'en 1875*, Paris, 1876, t. 3 ; le document manuscrit conservé à l'E.N.S. donne des informations complètes de 1869 à 1960 et se termine en 1971.

35. *Op. cit.* note 6.

l'exercice associé à la question de cours est la mise en équation d'un problème ; après avoir décrit une expérience avec une balance électrique de torsion « on demande de former l'équation par laquelle la déviation éprouvée par l'aiguille mobile est liée aux données » et d'examiner ce que devient cette équation pour de faibles déviations. En 1885 (statut du 29 juillet) est introduite une seconde épreuve de physique (sur les matières de la licence) d'une durée de sept heures. Cette dernière épreuve est constituée d'une question de cours et d'un problème ; l'autre épreuve de physique comprend un exercice, déjà un peu structuré, associé à la question de cours à partir de 1892 et comporte, exclusivement, deux exercices en 1891. C'est donc en 1897 qu'est établie l'épreuve du problème, et jusqu'en 1906 le concours va comprendre en outre une composition de physique élémentaire (qui est une question de cours) et une composition de physique supérieure (qui est aussi une question de cours). À partir de 1907 ne subsisteront que deux épreuves dont le problème.

Cette épreuve du problème va prendre rapidement de l'importance comme en témoigne le rapport (36) du jury de 1902 qui en précise les objectifs. Notons qu'un tel document est fort rare et très précieux par les indications qu'il peut fournir sur le concours et les réactions des candidats. Soulignons aussi que ce rapport est écrit au moment de la réforme majeure de 1902, déjà évoquée. En voici un extrait :

« Le jury attache une importance particulière à l'épreuve du problème, car il la considère comme le moyen le plus efficace de forcer la méditation dans le sens qu'il désire. Le problème proposé n'est jamais un rébus à déchiffrer, ni une découverte à faire, mais une simple application analytique et numérique ayant trait à une expérience faite, fondamentale, on peut même dire banale, n'exigeant que la connaissance des principes les plus sûrs de la science. Cette épreuve ne demande point de préparation spéciale ; le candidat s'y trouve tout naturellement préparé, s'il veut bien s'habituer, en étudiant une théorie, à en faire des applications à des exemples particuliers et à chercher à se rendre compte, on ne saurait trop insister sur cette idée, de l'ordre de grandeur des phénomènes. Aussi le jury tient-il beaucoup à la solution numérique à laquelle doit aboutir le problème. La plupart des candidats professent une sorte de mépris pour les calculs numériques... Ils disent qu'il sera facile de faire tel ou tel calcul ; quand ils essayent, presque toujours le résultat est

36. *Bulletin administratif*, 1902, n° 72, pp. 806-819 ; J. Joubert est président du jury de 1893 à 1909.

faux et follement faux, avec des déplacements de virgule fantastiques, qui montrent combien ils ont peu le sentiment des réalités physiques ».

Pour discuter de manière pertinente de l'épreuve il est nécessaire de disposer non seulement de l'énoncé du problème, mais aussi d'un certain nombre d'informations complémentaires : contenu des ouvrages dont disposaient les candidats, meilleures copies dans cette épreuve et annotations du correcteur, rapport d'ensemble du jury sur cette composition. Insistons sur l'importance de pouvoir disposer de copies portant les commentaires du correcteur car, autant que la justesse de la solution présentée par le candidat, nous intéressent l'appréciation qui en est faite par le correcteur.

Le problème posé au concours de 1902 portait sur les adiabatiques de la vapeur d'eau, sujet qui était traité « tout au long dans plusieurs ouvrages classiques » comme la *Thermodynamique* de Joseph Bertrand (37). Un « corrigé type » figure dans le *Cours de physique générale* d'Ollivier (38) qui le propose pour illustrer son cours (Ollivier avait été reçu 2^e à ce concours de 1902). Grâce à des copies conservées à la bibliothèque de l'INRP, nous disposons d'informations tout à fait intéressantes. Parmi les copies conservées se trouvent celles de :

– Farge (étudiant libre à Paris, reçu 5^e), note 18.

« Serait une excellente copie, indique le correcteur, si les calculs n'étaient pas faux ».

– Commanay (normalien de la promotion 1898, chargé de cours à Coutances, reçu 3^e), note 18.

« Très bonne copie. Le candidat possède Bertrand dont il exploite les notations. Quelques erreurs de calcul ».

– Ascoli (normalien de la promotion 1896, préparateur adjoint en chimie à la Sorbonne, reçu 1^{er}), note 15.

« Bonne copie, malheureusement très incomplète. La première partie seule est traitée. Méthode ingénieuse pour le calcul du travail ; malheureusement elle conduit à une expression impossible à calculer... ». En fait, le candidat arrive à une intégrale portant sur un logarithme, tout à fait calculable, mais il ne termine pas le calcul. Le correcteur note dans la marge : « Tout cela est fort bien en théorie. Mais il y a loin entre écrire une intégrale et la calculer » et il renvoie à une autre méthode. En fait, la solution attendue faisait appel à une

37. Paris, 1887.

38. T. 2, 3^e éd. 1928, pp. 152-155.

méthode d'interpolation en utilisant le tableau de chiffres fourni, mais sans le dire explicitement dans l'énoncé. Si la méthode « ingénieuse » choisie par le candidat est correcte, le seul reproche recevable est de ne pas avoir achevé le calcul. Comment interpréter exactement les affirmations un peu surprenantes du correcteur ? Dans le rapport du jury (comprenant les inspecteurs généraux J. Joubert et L. Poincaré, H. Bouasse...) quelques indications sont données sur les performances des candidats et ce que souhaitait le correcteur :

« À un très petit nombre d'exceptions près, les candidats étaient incapables d'aller jusqu'à la solution complète. Plus de la moitié ignoraient, non seulement l'intérêt, mais l'existence des adiabatiques de la vapeur d'eau et la manière de les calculer. La plupart de ceux qui sont arrivés, tant bien que mal, à l'équation de ces courbes, se sont efforcés de faire alors des éliminations impossibles, au lieu d'utiliser tout bonnement le tableau de nombres qu'on leur donnait, montrant combien ils sont peu habitués aux procédés des sciences expérimentales, à l'emploi des interpolations et des solutions graphiques » (39).

Dans son évolution jusque dans cette deuxième moitié du XX^e siècle, l'épreuve du problème va présenter une croissante difficulté et un surenchérissement d'une année à l'autre, tendant à la rendre fortement disjointe des préoccupations des futurs professeurs de lycée. Et, parallèlement, la composition de physique qui est une question de cours s'agrémenté d'exercices d'application et se structure en une suite de questions réduisant ainsi « l'effort d'exposé synthétique d'un thème, initialement caractéristique de ces épreuves » (40).

Pour se rendre compte de l'évolution du concours, il est intéressant de suivre un thème d'étude donné dans des sujets pris à différentes époques. Nous disposons d'un tel exemple avec l'étude du transfert de matière entre deux gouttes d'eau ou une goutte et un liquide présentant une surface plane. De l'existence de forces de tension superficielle qui maintiennent une goutte en équilibre résulte une surpression à l'intérieur de la goutte dépendant de son rayon. Le calcul de cette surpression pouvait se trouver dans les traités classiques de la fin du XIX^e siècle (41) et son application à l'équilibre

39. *Op. cit.* note 36.

40. Lettre de 1982 du président du jury d'agrégation, Michel Hulin, *Archives personnelles*.

41. H. Pellat : *Cours de physique à l'usage des élèves de mathématiques spéciales*, t. 1, Paris, 1883, p. 539.

des gouttes d'eau dans l'atmosphère était signalée. Voyons diverses occurrences de ce thème.

En 1895, l'étude du transfert de matière entre deux gouttes d'eau de rayons différents (chacune étant en équilibre avec la vapeur saturée du liquide) est abordée dans le petit « problème » qui accompagne la question de cours « Dispersion. Spectroscopie ; ses applications » de la première composition de physique. On s'intéresse au travail fourni dans l'opération qui est effectuée avec un dispositif proposé. Notons qu'à une température donnée, la pression de vapeur saturante est fonction de la courbure de la surface de séparation vapeur-liquide. Si le dispositif expérimental est indiqué, le mode opératoire n'est pas précisé dans le détail et les approximations de calcul ne sont pas suggérées. Dans le lot de sept copies conservées (42) celle de Cauro (reçu 6^e) montre la méconnaissance du phénomène. Ce candidat écrit au début de sa rédaction : « Je n'ai pas bien compris l'énoncé – en particulier je ne vois pas comment une vapeur saturée peut avoir deux tensions maximum à la même température – à moins qu'elle ne soit en contact avec une solution saline, mais alors le phénomène se complique. Néanmoins je vais essayer de le traiter ». Leroy (normalien, reçu 4^e), comme Cauro, décrit les opérations qu'il envisage pour traiter la question. Darzens (reçu 3^e) montre, dès le début de sa copie, qu'il connaît le sujet en affirmant « Pour bien comprendre cet énoncé il faut avoir présent à l'esprit que la tension d'une vapeur à une température donnée et en présence de son liquide générateur, dépend essentiellement de la forme de cette surface », mais à la fin il écrit qu'il ne comprend pas bien l'énoncé.

En 1948, le thème est repris à l'agrégation féminine pour l'épreuve du problème dont il constitue l'une des trois parties ; il s'agit ici du transfert de matière entre une goutte et un liquide présentant une surface plane. Le cycle de transformations à envisager est indiqué, des hypothèses simplificatrices sont proposées, et on s'intéresse à la pression d'équilibre de la goutte avec la vapeur ainsi qu'à la chaleur latente de vaporisation. Ce sujet est en partie traité dans l'édition de 1968 de l'ouvrage classique de G. Bruhat (43).

En 1983, la pression d'équilibre de la goutte d'eau avec sa vapeur est l'objet de l'une des huit questions de la première des trois parties de l'épreuve portant sur la question de cours. Il s'agit d'un

42. Copies conservées à la bibliothèque de l'INRP.

43. G. Bruhat : *Thermodynamique*, revu par A. Kastler, Paris, Masson, 6^e éd. 1968, pp. 360-363.

exercice d'application proposé en illustration des propriétés du potentiel chimique dont l'utilisation permet de donner une solution élégante et rapide grâce à l'emploi de la relation de Gibbs Duhem. Cette méthode est proposée dans un ouvrage d'enseignement anglo-saxon publié en 1966 (44).

Ce thème d'étude devient donc banal, traité complètement dans les ouvrages classiques. Il n'est pas alors étonnant de le voir apparaître en 1988 dans un concours de niveau nettement inférieur (concours d'entrée à l'Institut national agronomique) où il constitue environ le tiers d'une épreuve d'une durée de trois heures trente : le texte posé correspond exactement à la solution proposée dans l'ouvrage de Bruhat précédemment cité.

Le problème de physique est l'occasion d'aborder des sujets d'étude non enseignés dans les cursus de formation. Citons par exemple le texte posé à l'agrégation masculine de 1958 concernant l'étude de quelques accélérateurs de particules ; l'énoncé donne les principales formules de la dynamique relativiste qui auront à être utilisées pour la résolution du problème.

Mais comme le remarquait, dans une lettre d'octobre 1982 (45), le président du jury d'agrégation (option physique), Michel Hulin, l'extrême longueur et les difficultés du problème, déjà dénoncées par H. Bouasse vers 1900, font que trop peu de candidats réussissent à tirer leur épingle du jeu. En effet, sont reçus au concours des candidats « qui n'ont pas réussi à glaner plus de trois ou quatre points sur vingt dans cette épreuve » et il en résulte que le problème n'est efficace que pour classer les tout meilleurs candidats. Devant ce constat, il fixe des orientations pour faire évoluer le problème en divisant l'épreuve en deux parties. L'une comptant pour deux-tiers des points resterait du type des problèmes traditionnels (un peu raccourcis), l'autre comporterait des « questions plus "simples", du type de celles auxquelles un professeur peut être amené à réfléchir, dans une classe du secondaire ou du premier cycle universitaire, pour répondre à des questions d'élèves, ou pour illustrer l'enseignement par des analyses de phénomènes quotidiens ou des dispositifs d'usage courant », sans « souffler » la modélisation. « On demanderait donc aux candidats de davantage "sentir" ce qui est en jeu, de définir les variables importantes, et de formaliser eux-mêmes ».

44. G.-H. Wannier : *Statistical physics*, New York, John Wiley and Sons, 1966, pp. 150-151.

45. *Archives personnelles*.

L'espoir était de réactiver ainsi l'épreuve pour la majorité des admissibles. Le projet est mis à exécution pour le concours de 1984 où l'épreuve est divisée en deux parties. « La première est constituée par un problème de formulation classique » (environ 70 % des points), la deuxième propose un thème d'étude, « en l'occurrence un appareil de mesure des vitesses verticales, utilisé en aéronautique, et connu sous le nom de "variomètre" ». Contrairement aux problèmes traditionnels, il est ici demandé aux candidats d'analyser eux-mêmes le dispositif en question, d'en offrir une modélisation mathématique simple, puis de tirer de celle-ci diverses conséquences quant au fonctionnement de l'appareil et à l'influence sur ses performances de diverses grandeurs qui le caractérisent. Un tel exercice demande donc des candidats de manifester un certain esprit d'initiative dans la conduite de leur étude ». Le vice-président du jury, Hubert Gié, raconte le résultat de l'expérience (46) :

« Les quelques bribes de réponses obtenues révélèrent une inaptitude assez générale à utiliser les connaissances acquises, même élémentaires, pour expliquer le rôle et le fonctionnement des divers organes du dispositif proposé. À l'inverse, les lois de la physique se trouvèrent souvent quelque peu amendées pour se plier aux exigences supposées de l'appareil. Il y avait dans cette démarche comme une sorte de négation de l'esprit scientifique... ».

Cette tentative ne fut pas renouvelée. Mais cet exemple, s'il montre la nécessité qui est ressentie de faire évoluer l'épreuve du problème de physique, montre aussi la difficulté de l'entreprise (47).

*

46. *Supplément aux Bulletins de la S.F.P. et de l'U.d.P.*, février 1989, p. XIX.

47. Une importante question, mais délicate à résoudre, est celle de l'évolution du niveau des concours. Nous l'avons effleurée pour le problème d'agrégation pour le niveau des épreuves, en repérant un même thème à différents moments. Pour le concours général, nous disposons de renseignements ponctuels mais intéressants, fournis par V. Duruy. En 1864 (lorsque la réforme de la « bifurcation » des études est abandonnée, réforme que V. Duruy jugeait responsable de l'abaissement du niveau des études), il présente un bilan (Discours du 8 août 1864 dans *L'Administration de l'Instruction publique de 1863 à 1869*, Paris, p. 100.), expliquant qu'il a eu « la curiosité d'établir comme un nouveau concours entre les lauréats de la Sorbonne depuis 1830 » tant pour les sciences que pour les lettres :

« Les devoirs couronnés ont été relus, comparés et classés... De 1830 à 1840, oscillations sans caractère déterminé ; de 1841 à 1851, marche ascensionnelle ; de 1852 à 1859, décadence générale dans les sciences aussi bien que dans les lettres, sauf pour une faculté, l'histoire. À partir de 1859, la courbe abaissée se relève, et l'on commence à gagner une partie du terrain perdu ».

Le constat est donc celui d'une baisse au début des années de la « bifurcation » puis d'un redressement avant l'abandon de la réforme mais à un moment où sont assouplies ses modalités d'application.

Nous avons vu que l'épreuve du problème s'est constituée peu à peu. La composition de physique est d'abord une question de cours d'une manière générale, à laquelle sont ensuite adjoints des exercices. C'est par cette association question de cours – exercices que l'on commence à percevoir le processus d'évolution, tant au niveau du concours général qu'au niveau de l'agrégation, qui mène à l'institution du problème traditionnel. Puis la critique du problème traditionnel amène à reconcevoir l'épreuve. On a vu au baccalauréat l'éclatement en questions disjointes mais tentant de faire place à une certaine réflexion. On a vu aussi la tentative effectuée au niveau de l'agrégation, mais qui se solde par un échec.

Une fois instituée l'épreuve du problème, les essais d'innovation pour le faire sortir du « canevas habituel d'un ensemble de questions arrangées en séquence », laisser place à une certaine initiative de la part des candidats et varier le type de questions, sont très difficiles. La forme adoptée pour les problèmes est directement liée à la conception existante de l'enseignement de la physique. La résolution de problèmes permet de vérifier les connaissances, mais aussi d'apprendre à appliquer les connaissances théoriques aux problèmes pratiques (48). Pour Kapitza (49), les exercices proposés au niveau de l'Université doivent pouvoir être résolus par différentes voies, permettant ainsi à l'étudiant, par son choix, de manifester sa personnalité ; un souci de se rapprocher de la démarche du scientifique est tout à fait perceptible ici.

Depuis les années 1970, une tendance s'est affirmée pour faire évoluer l'enseignement de la discipline, comme nous l'avons déjà souligné plus haut. La nécessité est alors ressentie de tenter de faire intervenir certains traits essentiels de l'analyse physique. Ceci apparaît nettement dans les travaux de la Commission Lagarrigue. Mais la nécessité de préparation au baccalauréat et l'importance attachée à cet examen freinent l'évolution ; l'enseignement tend à définir « ses propres objectifs, indépendamment des réalités de la discipline et des besoins du monde extérieur » (50) et à recréer de nouveaux problèmes « types » adaptés aux nouveaux programmes. Pour la physique, caractérisée par un double aspect expérimental et théorique,

48. P.-L. Kapitza : *Le Livre du problème de physique*, Paris, Cedic, 1977, pp. 65-66.

49. Physicien russe, né en 1894, connu par ses recherches sur le magnétisme et la physique des basses températures. Après ses études, il travailla en Angleterre au laboratoire Cavendish avec Rutherford.

50. Michel Hulin : « La physique ou l'enseignement impossible » dans *op. cit.* note 22.

une réforme docimologique des examens et, tout particulièrement du baccalauréat, est dès lors jugée nécessaire par certains (51). Et, puisque la physique est une science expérimentale, il est tout à fait naturel d'insister sur la nécessité d'applications numériques bien menées et conduisant à des ordres de grandeur qui ne soient pas ridiculement faux. Il est d'une certaine manière significatif de noter que ce discours est tenu depuis un siècle. On en perçoit les raisons grâce à un exemple, donné en 1988, qui montre le peu d'importance attachée à l'application numérique dans le barème de notation et la non pénalisation pour un résultat complètement stupide :

« Un candidat à Polytechnique qui calcule le rayon d'un noyau atomique et trouve dix fois le rayon de l'Univers perd un point sur cent ; un apprenti qui perd un centième de millimètre sur le rayon d'un mandrin est recalé au CAP » (52).

*

Le problème de physique constitue un indicateur privilégié de compétences, de connaissances et de savoir-faire, et de la façon dont on exerce les élèves à les acquérir. Mais, nous l'avons vu, cet horizon d'attentes dépend lui-même de nombreux facteurs, tels que la place de la physique dans les programmes, les examens et les concours, le rapport entre la science enseignée et celle qui se fait, mais aussi l'écart entre les réformes et l'application qu'en fait le corps professoral, en fonction d'exigences qui lui sont propres. Prendre la mesure de tous ces facteurs constitue un détour indispensable avant toute tentative d'évaluation des performances des élèves.

Nicole HULIN
Centre Alexandre-Koyré
Université Pierre-et-Marie-Curie

51. *Ibid.*

52. *Op. cit.* note 46, p. V.