

Ce que nous dit la copie d'Évariste Galois sur l'enseignement de la physique à la fin des années 1820

Aurélien Gautreau (aurelien.gautreau@universite-paris-saclay.fr)
Université Paris-Saclay, IUT de Cachan, 9 avenue de la division Leclerc, 94230 Cachan

Pourquoi étudier la copie de physique du mathématicien Évariste Galois au concours d'entrée de l'École préparatoire, ancêtre de l'École normale supérieure ? Parce que cette archive inédite est une sonde pour comprendre comment la physique était enseignée dans le secondaire en 1829. Cette copie, insérée dans son contexte, illustre un moment charnière pour la physique comme discipline scolaire : l'introduction du formalisme mathématique dans les modélisations, qui s'ajoute à la méthode expérimentale. Notre étude de cas implique certains des acteurs de cette transition qui interviennent dans les champs savant et scolaire, comme Péclet, un des cofondateurs de l'École centrale, ou Ampère.

La mathématisation de la physique, dans laquelle la modélisation à l'aide d'équations vient compléter la méthode expérimentale, progresse rapidement entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle. La physique, comme discipline savante, excluait alors l'astronomie et la mécanique, rattachées aux mathématiques. La tendance à sa mathématisation, déjà en germe dans le domaine de l'électricité et du magnétisme, et notamment dans le *Premier mémoire sur l'électricité et le magnétisme* de Charles-Augustin Coulomb en 1785, se poursuit au début du XIX^e siècle, avec par exemple *Mémoire sur la double diffraction de la lumière* d'Augustin Fresnel en 1822 et *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* d'André-Marie Ampère en 1826. Dans les années 1820, l'accélération est manifeste et gagne le domaine de la physique des gaz et de la chaleur, comme en témoigne les *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* de Sadi Carnot en 1824 (même si l'importance de cet ouvrage pour la modélisation de la transformation de la chaleur en travail ne sera pleinement comprise que des années plus tard). Cette tendance à la mathématisation de la physique

savante se manifeste avec retard dans son enseignement comme discipline scolaire. L'enseignement de la physique connaît une transition dans les années 1820-1830 : d'une sorte de « leçons de choses » constituées de descriptions détaillées d'expériences

célèbres et de listes de propriétés qualitatives de la matière, il progresse vers une modélisation mathématique préalable qui donne du sens à la méthode expérimentale.

De manière surprenante, l'étude de cas de la copie de physique d'Évariste Galois au



Évariste Galois à l'âge de quinze ou seize ans.

source wikipedia.

>>>

concours de l'École préparatoire en 1829 illustre, parmi beaucoup d'autres exemples, l'introduction de la modélisation mathématique dans l'enseignement de la physique à la fin des années 1820.

Le concours de l'École préparatoire

En août 1829, Évariste Galois, élève du collège royal Louis-le-Grand, compose les épreuves écrites du concours de l'École préparatoire, ancêtre de l'École normale supérieure déjà destinée à former des enseignants. Cet examen est le seul de cette décennie à comporter une question écrite de physique dont les archives sont disponibles.

La question posée (voir figure p. 29) porte sur la physique des gaz : « Une cloche cylindrique pleine d'air repose sur une cuve à mercure ; le niveau du métal intérieur est situé sur le prolongement du niveau extérieur, de sorte que la force élastique de l'air de la cloche est égale à celle de l'air environnant ; la hauteur de la cloche est H , la pression est P ; on demande la valeur de la force élastique de la cloche quand on la soulève d'une quantité A . »

Galois ne s'intéresse pas à la physique. L'appréciation négative de son professeur à Louis-le-Grand, Louis Jacques Sylvestre Thillaye, a fait florès pour entretenir la légende romantique du jeune mathématicien présenté comme brillant mais peu scolaire : « travail nul ». À première vue, sa copie (voir figure p. 30), la plus courte parmi celles qui sont classées, confirme cet état d'esprit. Galois semble cependant se prendre au jeu de la modélisation : il introduit des variables supplémentaires, énonce la loi de Mariotte sans la nommer, mais l'applique au mercure qui n'est pas un gaz.

Il combine trois équations pour éliminer des variables – mais commet une faute de calcul facilement repérable au fait que son résultat n'est pas homogène. Il termine sans donner le résultat algébrique mais par un commentaire sur la résolution d'une équation du second degré.

La question est posée et corrigée par Eugène Péclet, cofondateur la même année de l'École centrale des arts et manufactures, première école de formation d'ingénieurs civils. Il classe Galois septième en précisant : « Il s'est trompé avec intelligence. »

Les épreuves scientifiques du concours sont organisées et supervisées par André-Marie Ampère, inspecteur général de l'instruction publique. L'étude des questions posées de 1826 à 1829, lors des quatre années d'existence du concours, mais aussi des copies commentées et classées par les correcteurs, est une sonde partielle pour appréhender l'enseignement de la physique dans les collèges royaux qui deviendront bientôt les lycées. L'élève Galois présente l'avantage d'être une figure connue dont les œuvres ont été publiées et les historiens ont travaillé la biographie. Le jugement de Galois sur l'enseignement qu'il reçoit en physique donne un éclairage particulier, une perspective qu'il faut bien sûr corriger de toutes les différentes phases de construction postérieures de Galois comme icône.

La copie de philosophie du même concours, étudiée par Norbert Verdier et Charles Alunni (voir la bibliographie), est l'occasion pour Galois de développer une philosophie des sciences avant la lettre. Le sujet, « définir l'induction, donner les règles de la méthode inductive », permet à Galois d'introduire une classification des savoirs savants assez proche de celle formulée par Auguste Comte dans la même période. Dans son développement, Galois se livre à une véritable hiérarchisation des sciences, au critère de l'usage qu'elles sont tenues de faire de la méthode inductive. Ce long passage, qui constitue l'essentiel de sa copie, sort des sentiers battus scolaires et indique donc une pensée personnelle construite, confirmée par ses écrits ultérieurs.

« Ce que les physiciens appellent physique expérimentale n'est autre chose que l'application de l'induction : tous les corps étant à notre connaissance inertes et pesants, il n'y a aucune raison de croire qu'ils ne le seront pas à l'avenir. » De sorte que « l'induction paraît être la seule voie de communication de l'esprit avec le monde extérieur. [...] Pour presque toutes les connaissances, l'induction est notre unique guide. Mais il est une classe de vérités qu'il est impossible d'en déduire. Ce sont les vérités mathématiques [...] Faut-il enfin juger l'induction ? Loin de la regarder comme une méthode qui fasse honneur à l'esprit humain, elle est plutôt faite pour nous rappeler la faiblesse de notre nature. Nous ne saurions nous en passer mais c'est un véritable pis-aller. »

Ce point de vue subjectif aide l'historien à comprendre l'attitude de Galois à propos de la physique et à mieux cerner les contours de son enseignement. Cette discipline, cantonnée à l'induction, y est réduite à une description de phénomènes réguliers, dénuée de pouvoir explicatif, faute de raisonnement. Ce que Galois méprise n'est pas représentatif de la physique savante qui articule déjà depuis des années la modélisation mathématique avec la méthode expérimentale, mais la physique en tant que discipline scolaire telle qu'elle lui est enseignée par son professeur Thillaye, qui applique les consignes et les programmes de l'inspecteur général Ampère.

Ironie de cette (petite) histoire, le sujet de physique sur lequel Galois est interrogé en 1829 et qui semble – pour la première fois – attirer son attention, est posé par Péclet, une des figures qui théoriseront et mettront en pratique l'évolution vers la modélisation mathématique de l'enseignement de la physique, en fondant une nouvelle méthode et une nouvelle école.

Vingt-et-une années d'enseignement de la physique sous l'inspecteur général Ampère

De 1808, date où il est nommé inspecteur général de l'Université, à 1829, lorsque Galois passe le concours, l'enseignement de la physique a été façonné par Ampère. Dans une archive non datée mais qui ne peut pas avoir été écrite après 1810, Ampère indique sa vision : l'enseignement de la physique « se compose de deux parties absolument distinctes. L'une est la physique proprement dite, elle comprend la théorie du calorique et de la vaporisation des fluides, la météorologie, l'électricité, le magnétisme et le galvanisme. L'autre est presque entièrement mathématique, on s'y occupe des lois du mouvement, du choc des corps, de la force centrifuge, de l'usage du baromètre pour la mesure des montagnes et autres appareils destinés à élever les eaux. La première partie est intimement liée à la chimie et se place naturellement dans le même cours. La seconde ne peut être bien faite que par un mathématicien. »^(a)

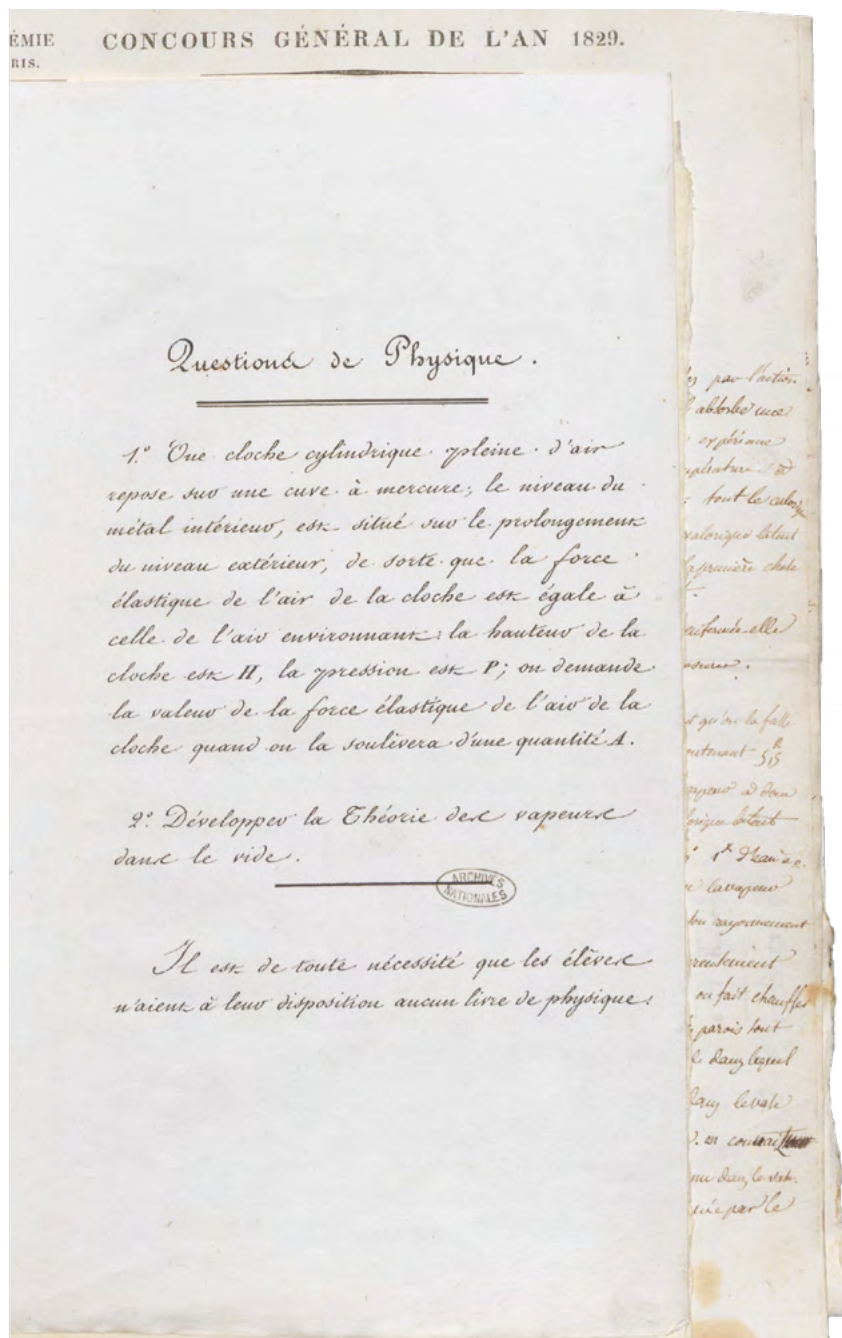
Cette conception, qui distingue deux parties de la physique, non pas suivant

les objets d'étude mais par la possibilité de mathématisation, est déjà dépassée dans le champ savant puisque Ampère n'est pas sans savoir que Coulomb a mathématisé l'électricité dès la fin du siècle précédent. Mais elle subsiste dans le champ scolaire, bien qu'elle soit vouée à en disparaître aussi.

Les archives de l'inspecteur général Ampère sont numérisées mais pas encore toutes exploitées : elles comprennent les rapports d'inspection d'enseignants de collèges royaux de toute la France, les notes de synthèse sur les résultats du concours de l'École préparatoire chaque année et les critiques argumentées de manuels scolaires soumis à l'approbation du ministère. Celles que nous avons étudiées montrent une évolution entre la fin des années 1800 et la fin des années 1820.

L'étude des manuels « recommandés par le ministère de l'Instruction publique » confirme cette évolution en cours de la méthode expérimentale vers la mathématisation. Les phénomènes physiques étaient d'abord introduits par des généralités sur leurs manifestations courantes, comme la météorologie mobilisée pour illustrer la physique des gaz. Puis ils étaient précisés sous la forme de longues descriptions d'expériences dans lesquelles chaque partie technique du dispositif est décortiquée. Les résultats numériques étaient donnés avec plusieurs chiffres après la virgule, censés être mémorisés par les élèves. La physique sous cette forme s'apparentait à une leçon de choses descriptive de la matière inerte. Les calculs mathématiques qui relèvent d'une forme de modélisation, jusqu'alors absents, sont apparus peu à peu dans les manuels, d'abord dans les notes de bas de page puis partiellement dans le corps du texte à la fin des années 1820.

Louis Thillaye, le professeur de physique de Louis-le-Grand, est agacé par le désintérêt total de son élève Galois. Mais Ampère, lorsqu'il l'inspecte quelques années plus tard, signale que Thillaye « fait bien, dit-on, les expériences, mais n'emploie pas aussi heureusement le calcul ». Le cours de physique prenait la forme d'un enseignement magistral devant une centaine d'élèves, structuré autour de descriptions précises d'expériences sur la base de démonstration à l'aide de nombreux dispositifs expérimentaux. Une circulaire de 1821



La question écrite de physique du concours de l'École préparatoire en 1829

impose aux collèges royaux de posséder 102 dispositifs pour ces démonstrations de physique, en y joignant le nom du fabricant et le prix d'achat conseillé. Les collèges royaux sont loin de tous acquérir cette centaine d'instruments mais nous avons pu vérifier qu'ils étaient effectivement présents au lycée Louis-le-Grand, qui les a conservés dans son *Musée scientifique* Pierre Provost.

Thillaye n'a visiblement pas fait évoluer son enseignement vers la modélisation mathématique de la physique et son inspecteur Ampère (ainsi que l'élève Galois, mais pour d'autres raisons) le lui reproche.

La lecture de ces archives, ainsi que celle des manuels des années 1820 et des copies du concours de 1829, montre un écueil dans lequel l'enseignement de la physique était tombé, et qui sera résumé des années plus tard en 1854 par le chimiste Jean-Baptiste Dumas (1800-1884), cofondateur de l'École centrale des arts et manufactures avec Péclet : « Presque toujours, les appareils [étudiés] offrent des dispositions accessoires compliquées, sur lesquelles l'attention des élèves s'égare et qui les distraient de l'objet essentiel de la démonstration. On en est venu parfois à subordonner à la pensée qu'il s'agit de faire entrer dans

>>>

(*) Indiquer ici les nom
et prénoms.

(*) Galois

né le an à département d

(**) Les élèves de la
classe de Rhétorique indi-
queront s'ils sont vété-
rans.

Élève du Collège

(**)

(***) Placer ici la de-
vise.

(***)

ARCHIVES
NATIONALES

7607.

ou l'autre. Une cloche cylindrique pleine d'air repose sur une cure à mercure, le niveau du métal intérieur est situé sur le prolongement du niveau exté-
rieur, de sorte que la force élastique de l'air de la cloche est égale à celle
de l'air environnant. la hauteur de la cloche est H , la pression est P ;
on demande la valeur de la force élastique de l'air de la cloche, quand on la presse
sur d'une quantité A .

Soit h la hauteur ^{primitive} de la cure à mercure, s et t les surfaces respectives
des parties de la cure sous la cloche & hors de la cloche.

Appelons x la force élastique cherchée, y & z les hauteurs sous la
cloche & hors de la cloche du mercure après l'opération indiquée.

La quantité d'air comprise sous la cloche après cette opération aura pour
hauteur $A + H + h - y$. On aura donc la proportion

$$A + H + h - y : H :: P : x \quad (1)$$

puisque les volumes sont en raison inverse de pressions.

Ensuite, comme après l'opération, la pression supportée par le mercure
sous la cloche, x , est hors de la cloche, toujours P , on aura

$$y : z :: P : x \quad (2)$$

Enfin le volume du mercure devant être le même avant & après l'opé-
ration on aura nécessairement

$$sy + tx = h(s + t) \quad (3)$$

Éliminant entre ces trois équations y & z , on aura l'équation
qui déterminera x . Cette équation est

$$(A + H + h)t x^2 + [(A + H + h)s + tPH]x = P^2 sH + Ph(s + t)$$

et comme ses termes extrêmes sont de signes contraires, elle aura
deux racines de signes contraires, dont la positive sera la valeur cherchée.

Répétition du numéro
et de la devise.

>>>

l'esprit des élèves l'appareil qui devrait en être seulement la traduction matérielle ou la vérification. »^(b)

Une transition incarnée entre autres par Péclet

Les quatre épreuves de physique de l'éphémère concours de l'École préparatoire confirment cette transition : les trois premières sont exclusivement des questions de cours qui impliquent une restitution agrémentée de schémas précis, mais sans aucun raisonnement ni application numérique originale. Péclet pose le dernier énoncé, avec deux exercices. L'un est une simple restitution du cours, « Développez la théorie des vapeurs dans le vide », volontairement bâclée par Galois, mais qui occasionne de longues réponses chez d'autres candidats. L'autre est un problème de physique qui implique une modélisation dont les variables sont proposées dans l'énoncé, puis la résolution d'une équation. C'est la première question de ce type dans le concours et elle semble, à la lecture de leurs copies, avoir désarçonné y compris les candidats les mieux classés, preuve qu'elle ne relevait pas des exercices « classiques ».

L'œuvre de Péclet confirme qu'il ne s'agit pas juste d'un hasard ou d'une variation dans un sujet posé, mais bien d'une orientation réfléchie. Nommé professeur de collège royal à Marseille par Ampère, Péclet fonda en 1818 l'un des premiers « cours municipaux » destinés au personnel des ateliers. C'est ainsi qu'il a « doté l'industrie d'une Physique à son usage et fait profiter la Science à son tour des notions qu'il recueillait dans les ateliers »^(c).

En août 1829, alors qu'il rédige ce sujet de physique si particulier à la demande d'Ampère, il prépare la première rentrée de l'École centrale qui se donne pour objectif de former des « ingénieurs civils » pour les besoins de l'industrie naissante, par opposition au cadre régalien de l'École polytechnique. Cette formation doit introduire une véritable science industrielle, qui n'est réductible à aucune autre car « les arts industriels ne sont pas de simples applications des sciences théoriques »^(d).

Péclet a un rôle fondateur dans l'enseignement de cette nouvelle « science industrielle ». Il est notamment chargé du cours de « physique générale » en première année,

à propos duquel les témoignages sont éloquents. Dumas le décrit comme un « esprit libre et ouvert ; cœur chaud, affectueux ; sachant unir dans ses leçons entraînantes les résultats de ses fortes études aux séductions de la spontanéité de son âme contribuant ainsi à donner à l'enseignement de l'École son nouveau caractère »^(e).

Conclusion

La copie de Galois nous a donc servi de sonde pour étudier un enseignement de physique en pleine transition. La méthode expérimentale, que le jeune inspecteur général Ampère a travaillé à faire pénétrer dans les collèges royaux, se voit complétée par la modélisation mathématique des phénomènes. Cette transition est déjà largement en cours dans le champ savant et apparaît avec retard dans le champ scolaire. Ce sont des figures comme Péclet qui l'introduisent, sans d'ailleurs que cela n'occasionne de conflit avec Ampère. La fondation de l'École centrale est emblématique de cette évolution dans les méthodes.

Notre sonde pour l'étude de cette transition est certes significative car étayée par

de nombreuses sources primaires et archivistiques. Elle gagnerait néanmoins à être confirmée par un programme de recherche systématique vers les autres concours écrits, comme l'agrégation, la consultation des archives d'Ampère comme inspecteur général et vers une biographie de Péclet comme savant et enseignant. Il semble notable que le changement n'est pas intrinsèque aux institutions scolaires (ministère, rectorats, inspection générale, université, collèges royaux) mais vient de l'extérieur ou du moins de la circulation entre des mondes différents : en témoignent les « cours municipaux » ou conférences à un milieu de jeunes ouvriers qui ont inspiré Péclet et Dumas, ou encore la nécessité de fonder une nouvelle institution pour former les ingénieurs civils de la révolution industrielle.

Cet article est issu d'une communication donnée le 6 juillet 2023 lors de la session d'histoire des sciences du congrès des 150 ans de la Société Française de Physique.

Les conclusions présentées ici sont développées dans un article paru dans la *Revue d'histoire des sciences* (2024-1, tome 77, pages 133-169). ■



• Aurélien Gautreau, « La copie de physique d'Évariste Galois au concours de l'École préparatoire en 1829 : une sonde pour explorer la physique en tant que discipline scolaire », *Revue d'histoire des sciences* 77 (2024-1) 133-169.

• Caroline Ehrhardt, « Évariste Galois, un candidat à l'École préparatoire en 1829 », *Revue d'histoire des mathématiques* 14-2 (2008) 289-328.

• Évariste Galois, « La Copie d'Évariste Galois Au Concours d'entrée à l'École Préparatoire », *Revue de Synthèse* 138 1-4 (2017) 367-391.

• Charles Alunni, « Évariste Galois et Sa Dissertation de Philosophie : Analyse Textuelle », *Revue de Synthèse* 138 1-4 (2017) 393-402.

• Charles Alunni, « La dissertation d'Évariste Galois. Un peu d'histoire philosophique », *Revue de Synthèse* 138 1-4 (2017) 403-418.

• Norbert Verdier, « Entrer à l'École Préparatoire en 1829 », *Revue de Synthèse* 138 1-4 (2017) 419-444.

• Bruno Belhoste, *Les sciences dans l'enseignement secondaire français – Textes officiels. Tome 1 : 1789-1914* (Paris : Institut national de recherche pédagogique, 1995).

• Francis Gires (dir.), *Encyclopédie des instruments de l'enseignement de la physique du XVIII^e au milieu du XX^e siècle* (Niort : ASEISTE, 2016)

(a) Archives Ampère, carton 20, chemise 308, images 7-8.

(b) Cité par Nicole Hulin, « De l'enseignement de la physique » in Francis Gires (dir.), *Encyclopédie des instruments de l'enseignement de la physique du XVIII^e au milieu du XX^e siècle* (Niort : ASEISTE, 2016), p. 28.

(c) Discours de Dumas aux funérailles de Péclet le 9 décembre 1857.

(d) *École centrale des arts et manufactures*, prospectus, (Paris, 1829), p. 14.

(e) Allocution de Dumas le 20 juin 1879 dans Charles de Comberousse, *Cinquantième anniversaire de la fondation de l'École centrale des arts et manufactures*, ministère de l'Agriculture et du Commerce (Paris : 1879), p. 29.