# COURS 1: HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES

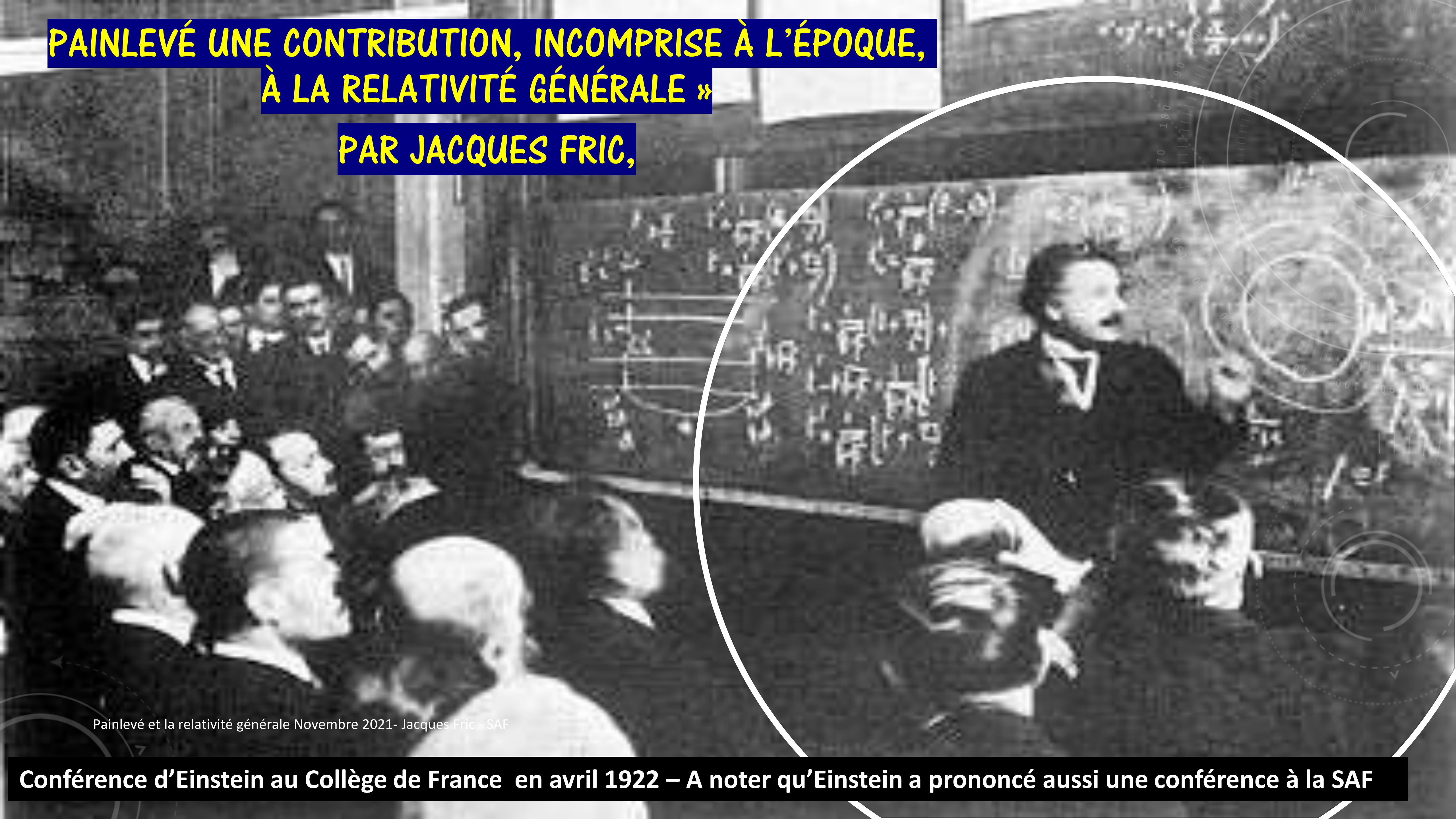
EN 1921, PAUL PAINLEVÉ QUI AVAIT ÉTÉ, ENTRE AUTRES, CHEF DU GOUVERNEMENT (PRÉSIDENT DU CONSEIL DE LA 3$^{\text{IÈME}}$ RÉPUBLIQUE) EN 1917 (PENDANT LA GUERRE DE 1914-1918) A CONTRIBUÉ AU DÉVELOPPEMENT DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE, À SES HEURES PERDUES!

Painlevé en 1923

http://www-cosmosaf.iap.fr/

# PAINLEVÉ UNE CONTRIBUTION, INCOMPRISE À L'ÉPOQUE, À LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE »

## PAR JACQUES FRIC,



Conférence d'Einstein au Collège de France en avril 1922 – A noter qu'Einstein a prononcé aussi une conférence à la SAF

# Naissance de la cosmologie scientifique

- Fin 1915, Einstein publie ses équations de la relativité générale qui propose une représentation géométrique de la gravitation.
- Comme en relativité générale l'espace-temps est « déformé » par les masses et l'énergie, l'univers (l'espace-temps) n'est plus un contenant indépendant de ce qu'il « contient » et on ne peut plus séparer contenant et contenu!
- Il peut alors être appréhendé par les objets le constituant:
    - **La cosmologie scientifique était née!**

Fallait oser le faire!

# PAINLEVÉ ET LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE : RÉSUMÉ

- L'examen des contributions de Painlevé, révèle une incroyable richesse créative allant bien au-delà de la forme originale qu'il a proposée en 1921 et 1922, mais le débat qui a suivi à l'Académie des sciences, comme son analyse le montrera, même s'il a produit des contributions magistrales, sombrera dans l'oubli sans sauvegarder l'essentiel.
- Painlevé, lui-même, malgré une tentative de clarification louable a, sous la pression de la communauté scientifique, trop vite renoncé.

# Paul Painlevé, (1863-1933), mathématicien et homme politique

Painlevé-vers 1917

Homme politique important, diverses fonctions ministérielles sous la III$^{e}$ république dont, entre autres, deux fois président du Conseil (1917, 1925) et président de l'Assemblée (1924-1925). Il meurt en octobre 1933. Après des funérailles nationales il est inhumé au Panthéon.

Elève de l'école normale supérieure, agrégé de mathématiques en 1886, Il enseignera en France comme professeur (Université de Paris, Polytechnique, Collège de France, ENS). Elu à l'Académie des Sciences en 1900 (à 37 ans) pour ses travaux sur les équations différentielles.

# Parcours politique: Entrée en politique à propos de l'affaire Dreyfus

- « Paul Painlevé dépose au procès [de Dreyfus] de Rennes. En mathématicien il démontre que les arguments de Bertillon [le manuscrit soi-disant authentifié, seule preuve de l’accusation de Dreyfus] sont irrecevables.
- Argument confirmé par Poincaré où dénonce l’usage farfelu des probabilités par Bertillon.

## Parcours politique: 1910-1915 : député, ministre de l'Instruction

Il est élu député en 1910, il sera réélu à trois reprises.

Mathématicien, rare théoricien de l'aviation naissante, il obtient du Parlement, en 1910, le vote des premiers crédits pour l'achat d'avions.


LE MINISTRE DE LA

Prisonniers arrivant dans un camp. – M. Painlevé et le général Nivelle sur le front

Au moment de l'offensive du 16 avril, en Champagne, qui nous a valu le nettoyage de la rive nord de l'Aisne, l'accès au Chemin-des-Dames et la conquête des points dominants de Moronvilliers, M. Painlevé, ministre de la guerre, s'est rendu sur le front. Ces instantanés ont été pris durant sa visite. On voit sur le premier des prisonniers dont l'un, blessé, est porté par un camarade, arrivant au camp transitoire d'I....., où sont 10.000 Allemands; sur le second : le ministre et, à droite, le général Nivelle.

# 1917 : Ministre de la guerre, président du Conseil

Nommé, ministre de la Guerre en mars 1917, pour sa clairvoyance dans le domaine militaire qui est alors appréciée.

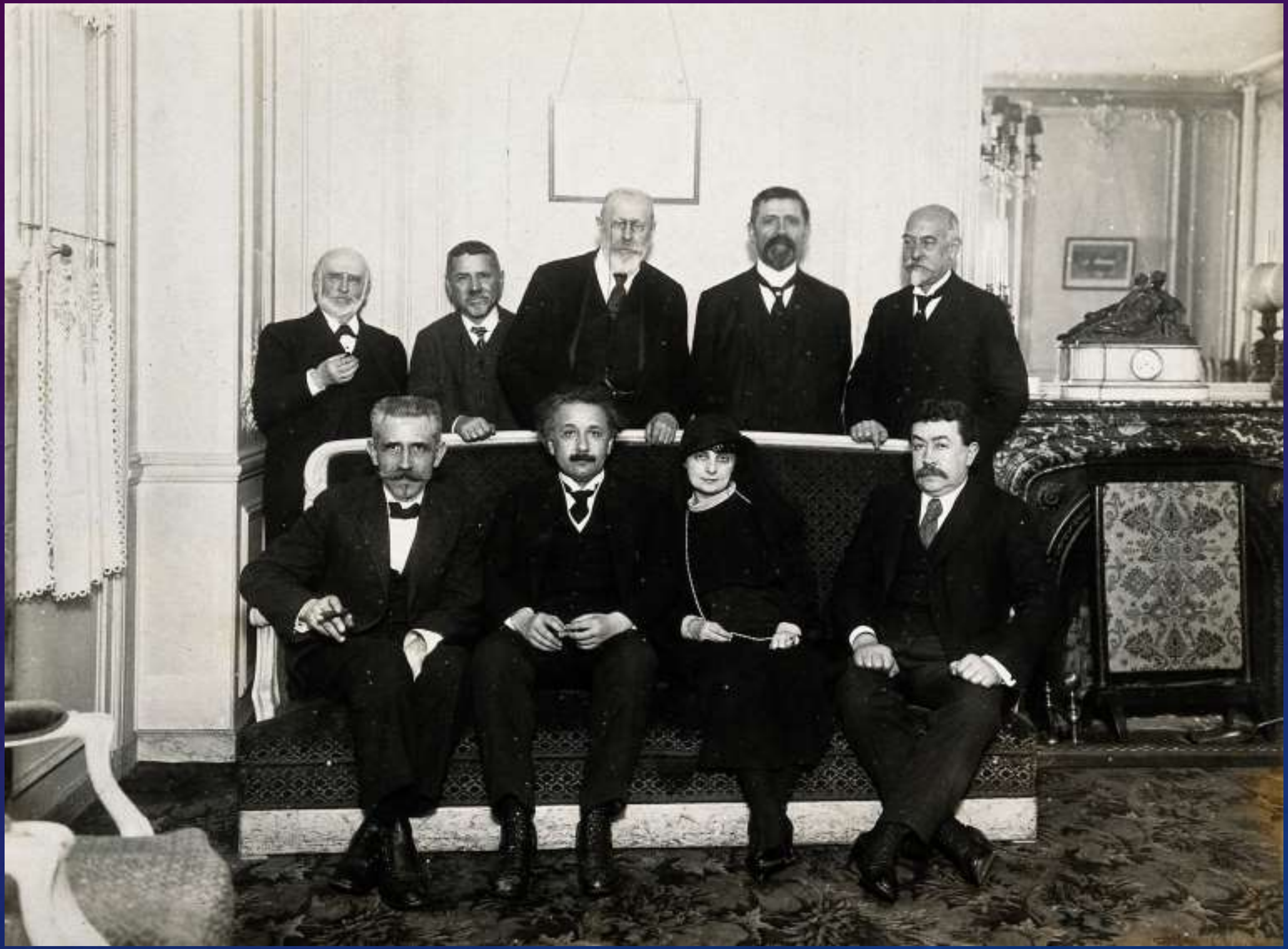
En plus de la désastreuse bataille de Verdun en 1916, la bataille du Chemin des Dames également initiée par Nivelle (16 avril 1917) est un échec. Le 15 mai 1917, il remplace Nivelle par Philippe Pétain au poste de commandant en chef des armées et nomme Ferdinand Foch chef d'état-major.

# 1917 : Ministre de la guerre, président du Conseil

Il devient président du Conseil en septembre 1917 tout en conservant le portefeuille de la Guerre.
Il développe la dotation en chars d'assaut.
Soupçonné, pour arrêter l'hémorragie en vies humaines, de négocier en secret un armistice avec les allemands, son gouvernement est renversé et il est remplacé après deux mois par Georges Clemenceau.


**Field Marshal Sir Douglas Haig Commander in Chief of British forces left and Paul Painleve French Minister of War right.** - Image ID: BCYHN5

# IL INVITE, EINSTEIN QUI VIENDRA  A PARIS EN (1922)



# L'IMPLICATION DES SCIENTIFIQUES DANS LA 1ÈRE GUERRE MONDIALE.

- En 1918, Painlevé , est élu président de l'Académie des Sciences. C'est quelques mois avant la 2ième bataille de la Marne, qui sera décisive. Extrait de son discours inaugural qui témoigne de l'implication des scientifiques dans l'effort de guerre.

Votre mission est la recherche de la vérité scientifique, sur laquelle n'ont de prise ni le temps, ni la mort, ni les passions humaines. Au plus fort des orages, votre raison ne saurait se départir de ses règles inflexibles. Mais, dans Syracuse assiégée, Archimède appliquait la rigoureuse justesse de la Géométrie à la construction de catapultes géantes : quel est donc le savant dont l'esprit resterait sourd à l'appel de la patrie en danger ?

Si je jette les yeux dans cette salle, à côté de ceux de nos confrères que leurs fonctions mêmes ont placés à la tête de grands services de la Défense nationale, j'aperçois (je cite au hasard, et combien l'énumération serait longue si elle était complète) tel astronome qui s'est révélé artilleur inventif et tenace, tels physiciens qui ont contribué à développer les applications militaires de la T. S. F. ; tels chimistes qui, dans la guerre des gaz, ont accru nos moyens de protection et d'attaque ; tel mathématicien, tel géodésien dont les calculs ont servi à repérer et à détruire les batteries ennemies. Vous avez encouragé ou récompensé de nombreux travaux dont les résultats ont dû être tenus secrets. Vos élèves, dont beaucoup sont déjà des maîtres, les plus jeunes au front, les autres dans les universités, dans les arsenaux, dans les usines, se sont attaqués efficacement à tous les problèmes nouveaux qu'a soulevés la guerre sur terre et sur mer. Il y a quinze

C. R., 1918, 1er *Semestre*. (T. 166, N° 1.) 3

# Président de la Chambre des députés, président du Conseil ….

Il est réélu député en 1919. il préside la Chambre à partir du 9 juin 1924. puis est nommé, le 17 avril 1925, président du Conseil. Démissionnaire en octobre 1925 et reconduit, puis renversé le 22 novembre de la même année, il devient ministre de la Guerre de novembre 1925 à octobre 1929, puis ministre de l’Air, de fin 1930 à début 1933. Il meurt fin octobre 1933. Après des funérailles nationales, il est inhumé au Panthéon le 4 novembre. Le square entre la Sorbonne et le musée du moyen âge, à Paris, porte son nom.

# LE CONTEXTE DE LA GENÈSE DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE: LA GUERRE 14-18

Fin novembre 1915, en plein conflit mondial, Einstein, professeur à Berlin et membre de l’Académie Impériale de Prusse des Sciences, publie ses équations définitives de la relativité générale.

A noter qu’Einstein, qui avait refusé de signer la pétition de soutien à l’armée allemande, était boycotté par ses collègues de l’Académie et n’a dû sa sécurité qu’au soutien de l’empereur Guillaume II.

La théorie d'Einstein remporte des succès : Avance du périhélie de Mercure (1915). Déviation de la lumière par le Soleil (1919).

# LE CONTEXTE DE LA GENÈSE DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE: LA GUERRE 14-18

- Première solution exacte en 1916 (Schwarzschild) pour le corps unique à symétrie sphérique (système solaire), mais ces équations divergent sur une surface à une certaine distance du centre: Signification physique ?
- Cela met dans l'embarras Einstein et les quelques partisans de sa théorie.
- On tente de circonscrire « la monstruosité » (sic Eddington) en la considérant comme un artefact mathématique.

# EINSTEIN, L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET PAINLEVÉ)

- A l’époque  de la publication des équations d’Einstein (fin 1915), Painlevé est investi dans l'effort de guerre.
- Einstein, à Berlin, est chez l’ennemi! Inutile de dire que, comme ses collègues il n’a guère de considération pour ces travaux.
- Après la fin de la guerre, Painlevé va animer le débat qui s'amorce à l'Académie des sciences, dont il avait été élu président en 1918.

# EINSTEIN, L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET PAINLEVÉ)

- Il fera une proposition critique mais constructive en 1921, année où Einstein se voit décerner le prix Nobel pour « sa contribution à la physique, en particulier pour la théorie des quanta ».
- L'ouvrage de H. Weyl, « Raum, Zeit, Materie (1918) », mathématicien reconnu, dont l'édition 4 sera traduite en 1922 « Espace, Temps, Matière », qui consacre une part importante à la théorie d'Einstein, contribue à la crédibiliser.

# L'ÉTREINTE DE L'ESPACE ET DU TEMPS DANS L'ESPACE-TEMPS RÉVÉLÉE PAR LE TERME NON QUADRATIQUE.

**K. Schwarzschild**
**1873- 1916**

- La forme de Schwarzschild sépare bien espace et temps.
- La singularité pour $r = r_s$ implique que l'horizon est infranchissable!

- Celle de Painlevé, dont l'établissement sera explicité dans la note suivante, qui comporte un terme qui mélange temps et espace déroute la communauté scientifique de l'époque !

# L'ÉTREINTE DE L'ESPACE ET DU TEMPS DANS L'ESPACE-TEMPS RÉVÉLÉE PAR LE TERME NON QUADRATIQUE.

- Quelle peut être la signification physique d'un terme qui combine espace et temps de nature physique différentes dans une métrique, qui de surcroît oriente la métrique, en particulier l'espace : N'est ce pas inconcevable ?
- **De plus, cette solution non singulière sur « l'horizon » laisse à penser qu'il n'est pas infranchissable, comme la solution de Schwarzschild le laissait supposer**.
- On peut le traverser, compte tenu de l'orientation, mais dans un sens et pas dans l'autre, sans possibilité de retour. Aboutit à la fin du temps !

# L'ORIENTATION SPATIO-TEMPORELLE EST LA CLÉ QUI PERMET DE COMPRENDRE LA STRUCTURE PHYSIQUE DE LA SOLUTION.

- Sous cet horizon, l'espace et le temps montrent des propriétés étranges. Le temps physique ne peut exister que par le mouvement.
- Contrairement à notre conception de l'espace, perçu comme le contenant immatériel de toute chose physique, son orientation implique un courant d'espace, comme celui d'une rivière.
- Ceci crée une dissymétrie dans la structure de l'espace-temps.

# L'ORIENTATION SPATIO-TEMPORELLE EST LA CLÉ QUI PERMET DE COMPRENDRE LA STRUCTURE PHYSIQUE DE LA SOLUTION.

- Elle induit, par ailleurs, deux régions symétriques, invoquant une dissociation du néant en deux espaces-temps d'orientations opposées. Bien que Painlevé ne l'ait pas relevé, c'était évident !
- Cette proposition géniale n'a pas été comprise, en particulier l'orientation de la solution, clé qui permettait de comprendre comment traverser l'horizon, lui-même orienté, et ainsi unifier, par ce caractère et ses implications, les deux régions de Schwarzschild.
- Étonnamment, mais peut être dépassé par l'ampleur de sa découverte, Painlevé la reniera, à tort, 3 semaines après !

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 24 OCTOBRE 1921.

PRÉSIDENCE DE M. GEORGES LEMOINE.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

MÉCANIQUE. — *La Mécanique classique et la théorie de la relativité.* Note de M. PAUL PAINLEVÉ.

axes. Cette hypothèse admise, les einsteiniens parviennent au $ds^2$ (à quatre variables) aujourd'hui célèbre, dont les géodésiques définissent dans leur théorie le mouvement du point gravitant, à savoir

$$(1) \qquad ds^2 = dt^2\left(1-\frac{a}{r}\right) - r^2(d\theta^2+\sin^2\theta\, d\varphi^2) - \frac{dr^2}{1-\frac{a}{r}},$$

$a$ désignant une constante arbitraire que déterminera la masse du centre matériel O.

Mais ce $ds^2$ n'est pas le seul qui réponde à toutes les conditions einsteiniennes. Il en est une infinité d'autres dépendant de deux fonctions de $r$ et le choix de la formule (1) entre toutes ces formules est purement arbitraire. Parmi ces formules il en est d'aussi simples que la formule (1) et qui entraînent exactement les mêmes vérifications. Telle celle-ci :

$$(2) \qquad ds^2 = dt^2\left(1-\frac{a}{r}\right) + 2\,dr\,dt\sqrt{\frac{a}{r}} - d\sigma^2,$$

avec

$$d\sigma^2 = dr^2 + r^2[d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\varphi^2]$$

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 14 NOVEMBRE 1921.

PRÉSIDENCE DE M. GEORGES LEMOINE.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

### DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

MÉCANIQUE. — *La gravitation dans la Mécanique de Newton et dans la Mécanique d'Einstein.* Note de M. PAUL PAINLEVÉ.

Il suit de là, comme on voit, qu'on peut donner à la théorie de la gravitation newtonienne la forme suivante (principe de la moindre action) : *Les trajectoires du point* P *sont les géodésiques du* $ds^2$

$$ds^2 = (U + h)(dx^2 + dy^2 + dz^2), \qquad (h \text{ constante arbitraire}),$$

*où* U *est une fonction de* $x, y, z$ *qui s'annule à l'infini dont le* $\Delta U$ *est nul à l'extérieur de la sphère* S *et est égal à une constante négative dans* S.

Painlevé et la

# UNE PROPRIÉTÉ INATTENDUE MAIS ÉDIFIANTE ÉMERGE DE L'ÉQUATION PROPOSÉE PAR PAINLEVÉ

- Pour comparer les deux théories dans cette solution, Painlevé propose une formulation géométrique covariante, comme en relativité générale, de la mécanique classique, mais purement spatiale sans le temps newtonien.
- En mécanique classique la longueur d'une courbe plane, définie par $r = f(\varphi)$ en coordonnées polaires, est calculée en métrique euclidienne. L'équation du mouvement est donnée indépendamment.

# UNE PROPRIÉTÉ INATTENDUE MAIS ÉDIFIANTE ÉMERGE DE L'ÉQUATION PROPOSÉE PAR PAINLEVÉ

- On peut aussi considérer cette longueur comme le paramètre affin *(λ)* de cette courbe. Dans ce cas, la courbe est définie par deux fonctions : $r(\lambda)$ et $\varphi(\lambda)$. Comme $\lambda$ n'est pas utilisé dans l'équation $r = f(\varphi)$, il est possible d'appliquer une transformation de jauge (d'échelle) sans modifier cette équation.
- Ceci va représenter l'effet du potentiel gravitationnel newtonien.

# LA FORME GÉOMÉTRIQUE DE LA MÉCANIQUE NEWTONIENNE POUR DÉDUIRE LES LOIS DU MOUVEMENT FAIT ÉMERGER UN TEMPS PROPRE PHYSIQUE CE QUI SIGNE LA FIN DU TEMPS ABSOLU

- Ceci permet, en considérant ce paramètre affin comme le paramètre dynamique, d'unifier le formalisme. C'est le sens de la proposition de Painlevé qui définit ce paramètre en utilisant la liberté de jauge, ceci en conformité avec les idées de H. Weyl à cette époque.
- Le temps, paramètre dynamique, va émerger via le mouvement géodésique, dépendant de la géométrie spatiale dont la courbure est déterminée par la seule gravitation, ce qui lui confère nativement un statut physique et scelle ses relations avec l'espace et la physique.

# LA FORME GÉOMÉTRIQUE DE LA MÉCANIQUE NEWTONIENNE POUR DÉDUIRE LES LOIS DU MOUVEMENT FAIT ÉMERGER UN TEMPS PROPRE PHYSIQUE CE QUI SIGNE LA FIN DU TEMPS ABSOLU

- On peut vérifier que le temps ainsi défini, paramètre dynamique affin spatial λ de la géodésique purement spatiale, est bien équivalent, en posant $t = i\lambda$ , au temps newtonien absolu *t*. Ceci induit le $-dt^2 + d\sigma^2$, des formes relativistes.
- Le temps absolu peut être éliminé de la mécanique newtonienne dans ces solutions, ce qui permet de remplacer sa formulation hybride par une formulation homogène et de révéler la nature relationnelle du temps.

# PAINLEVÉ PRÉCISE, DANS CET ARTICLE DU 14/11/1921, COMMENT IL A ÉTABLI SA FORME DE MÉTRIQUE DU PREMIER ARTICLE.

Partant de la forme générique :

$$ds^2=A(r)dt^2-2B(r)dt\,dr-C(r)[r^2(d\theta^2+\sin^2\theta\,d\varphi)]-D(r)dr^2 \quad ([3])$$ .[95]

Il enchaîne :

IV. *Conditions einsteiniennes invariantes.* — Quelles que soient d'ailleurs les fonctions A, B, C, D de $r$ que l'expérience nous conduirait à adopter, il serait toujours possible de former des conditions invariantes auxquelles devraient satisfaire les coefficients de $ds^2$ quand on y remplace $r$, $\theta$, $\varphi$ et $t$ en fonction de quatre variables entièrement quelconques. Mais Einstein veut *a priori* que ces conditions invariantes soient des équations aux dérivées partielles du deuxième ordre d'une forme spéciale, qui s'inspirent à la fois des théories de la gravité newtonienne en coordonnées curvilignes, et de la théorie de la courbure des surfaces ordinaires.

Ce sont ces restrictions capitales, et non le truisme pur et simple de l'invariance, qui parmi les $ds^2$ de la forme (3) ne laissent subsister que les suivants :

$$(4)\qquad ds^2=\left[1-\frac{2\mu}{f(r)}\right][dt-\chi(r)\,dr]^2-f^2(r)[d\theta^2+\sin^2\theta\,d\varphi^2]-\frac{f'^2(r)\,dr^2}{1-\frac{2\mu}{f(r)}},$$

où $\mu$ est une constante et où $f$ et $\chi$ sont deux fonctions arbitraires de $r$ telles seulement que $\chi(r)$ tende vers zéro et $f'(r)$ (toujours positif) tende vers 1, quand $r$ tend vers l'infini.

- Cette équation (4) est remarquable, elle vérifie l'équation d'Einstein (dans le vide) quelles que soient les fonctions $f(r)$ et $\chi(r)$, définissant ainsi une classe doublement infinie de solutions. Pour $f(r) = r$ avec $\chi(r)= 0$ on obtient Schwarzschild, avec $\chi(r)= (2M/r)^{1/2}/(1-2M/r)$, on obtient Painlevé.

# PUIS IL Y RENONCE AU MOTIF DE CONTRAINTES SUR LES PROPRIÉTÉS DE L'ESPACE

- Painlevé invoque un principe de « réversibilité » de l'espace pour invalider les solutions comportant des termes non quadratiques.
- Il cède ainsi, à tort, aux nombreuses critiques et à l'incompréhension de ses contemporains, suscitées par sa proposition .

# LES DÉBATS AU COLLÈGE DE FRANCE AVEC EINSTEIN EN 1922

- En novembre 1921, Painlevé écrit à Einstein pour lui présenter ses critiques et sa solution et l'inviter à en débattre avec lui et ses collègues de l'Académie des Sciences. Dans une lettre du 7 décembre, Einstein répond aux critiques mais ayant des engagements explique qu'il ne peut pas se rendre à Paris rapidement.
- Il viendra au printemps 1922 et fera une série de conférences-débats du 31 mars au 7 avril. Charles Nordmann fera un compte-rendu des discussions : « Einstein expose et discute sa théorie » publié dans « La revue des Deux Mondes ».

# LES DÉBATS AU COLLÈGE DE FRANCE AVEC EINSTEIN EN 1922

- Charles Nordmann commence par souligner que la prestation d'Einstein au Collège de France, à l'invitation de Paul Langevin, a été, sans aucun doute un évènement sans précédent. Aux Etats unis, à Londres, en Italie où Einstein avait été reçu dans les mois précédents il s'était contenté de faire un exposé *ex cathedra* sous forme d'un monologue non contradictoire.

L’estime d’Einstein pour l’école scientifique française brillamment représentée par Langevin et ses amis, dont Painlevé, est réciproque. A témoin, un groupe d’Académiciens, dont Painlevé, militaient au sein de l’Académie des Sciences pour proposer à Einstein, un poste de correspondant de l’Académie des Sciences qui allait être vacant prochainement, au grand dam d’un membre influent de l’Académie qui estimait qu’il était hors de question d’offrir cela à « celui qui a détruit la mécanique ».

A Paris, Einstein fera l'effort de s'exprimer en français et adoptera une attitude résolument dialectique, argumentera de manière contradictoire avec ses interlocuteurs, les laissera débattre entre eux, sous son arbitrage, dans le souci d'aller au fond des choses et de pas laisser de zone d'ombre.

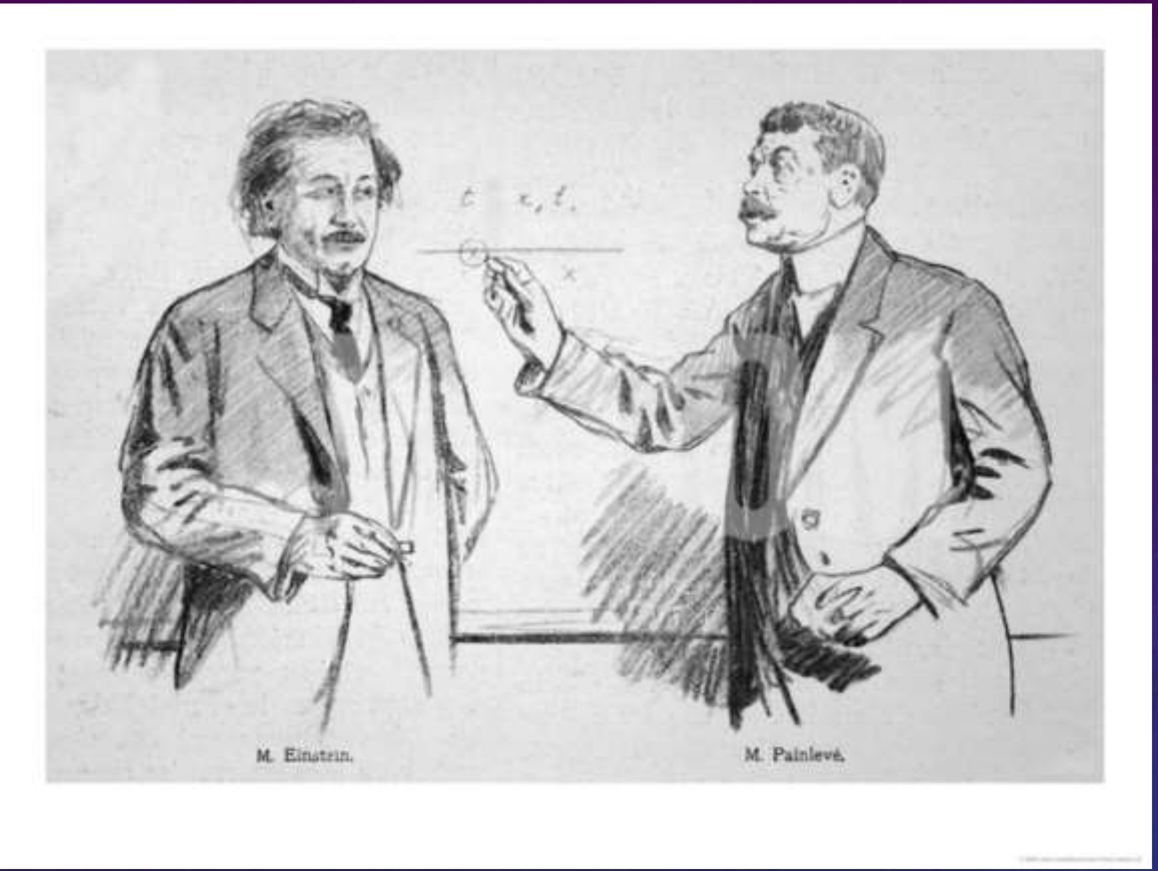
La séance d'ouverture le 30 mars se déroulera devant un public nombreux et enthousiaste, le Collège de France ayant largement ouvert ses portes aux hommes de sciences mais aussi à des étudiants.

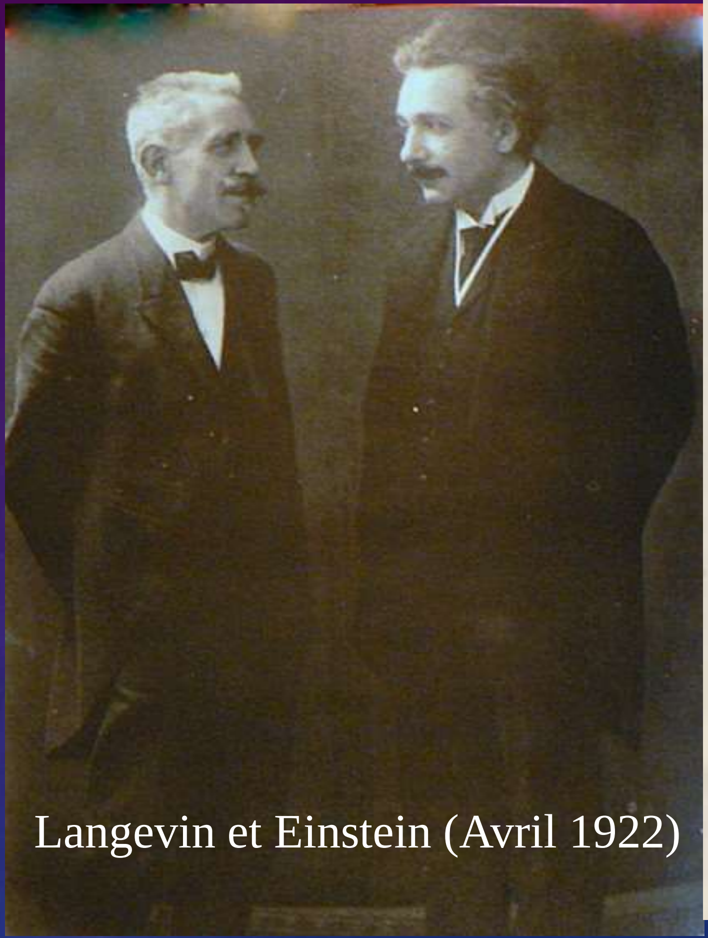


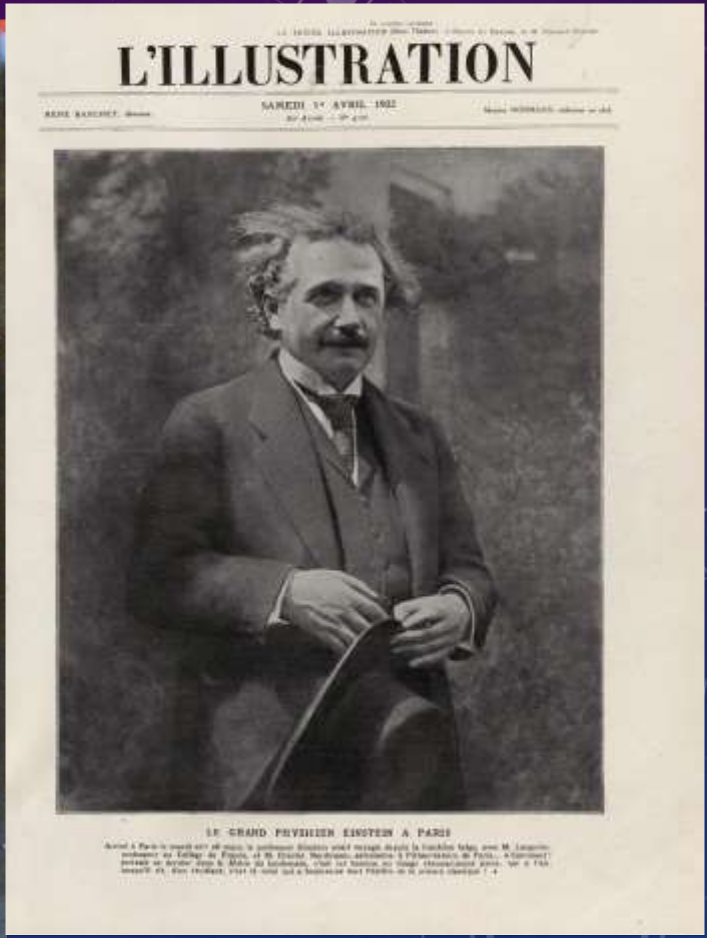
*La foule se pressant aux portes du Collège de France pour assister à une conférence d'Einstein.*

*A la porte (à droite) Painlevé filtre les entrées.*

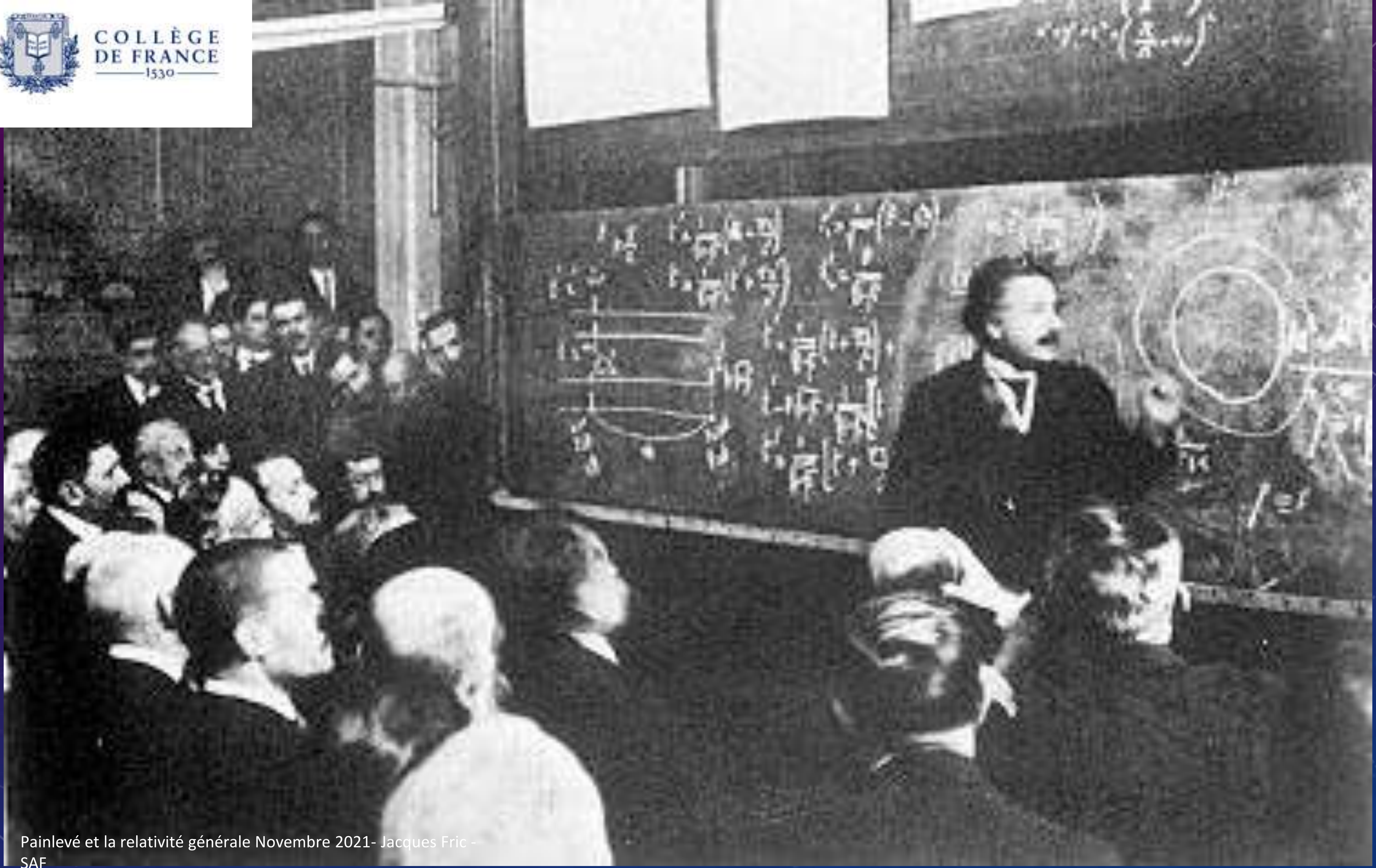
# LA RENCONTRE DU 5 AVRIL 1922 À PARIS





Langevin et Einstein (Avril 1922)


L'ILLUSTRATION
SAMEDI 1er AVRIL 1922
LE GRAND PHYSICIEN EINSTEIN A PARIS

Le point culminant de ce différend sur la meilleure solution possible des équations d'Einstein a lieu pendant le voyage d'Einstein à Paris le 5 avril 1922.



Painlevé et la relativité générale Novembre 2021- Jacques Fric - SAF

**Einstein exposant le problème de l'horizon devant une audience restreinte attentive.** Painlevé est assis à côté de l'extrémité gauche du tableau.

# Extraits de cette réunion de travail

C’est Hadamard,professeur de mécanique céleste au Collège de France qui ouvre le débat sur la formule avec laquelle Einstein exprime la nouvelle loi de la gravitation universelle. En utilisant la forme simple que Schwarzschild lui a donnée, il existe un certain terme qui intrigue Monsieur Hadamard, du fait que le dénominateur de ce terme peut devenir nul, ceci signifiant que cette formule devient singulière et, du moins, on peut se demander quel peut bien être cette signification physique et comment cela pourrait-il se produire dans la nature.

# Extraits de cette réunion de travail

Ce n'est pas le cas du Soleil mais ce serait peut-être le cas d'une étoile qui pourrait être beaucoup plus massive que lui. Einstein reconnaît que cette question est très embarrassante car, si ce terme peut effectivement devenir nul dans l'univers, ce serait un désastre pour la théorie car cette formule cesserait d'être valable. Ce serait une catastrophe qu'Einstein, en plaisantant, appelle la « catastrophe d'Hadamard » et dans ce cas on se demande quels pourraient bien en être les effets physiques.

Charles Nordmann intervient alors pour donner quelques précisions sur des étoiles très massives connues, mais qui sont loin de satisfaire au critère redouté. Il signale que, selon Eddington : quand la masse d’une étoile a tendance à s’accroître de plus en plus, la température intérieure de cette étoile croît de façon importante et le rayonnement tend à la faire exploser.

En conséquence, il semble qu’une limite insurmontable soit atteinte dans l’accroissement de la masse d’une étoile ce qui devrait nous protéger contre la « catastrophe d’Hadamard » qui ne devrait jamais se produire. Einstein répondit qu’il n’était pas entièrement rassuré par ces calculs qui impliquent différentes hypothèses.

Il préférait s'appuyer sur d'autres moyens pour échapper aux inconvénients de la catastrophe d'Hadamard représentés dans cette théorie. Effectivement dans la session suivante, le 7 avril, il apporta le résultat d'un calcul qu'il avait fait concernant ce point particulier qui montre que si le volume s'accroît indéfiniment sans accroître la densité, ce qui serait le cas pour une sphère d'eau, la pression au centre de la masse deviendrait infinie, et cela arriverait bien avant que les conditions de la catastrophe d'Hadamard soient remplies.

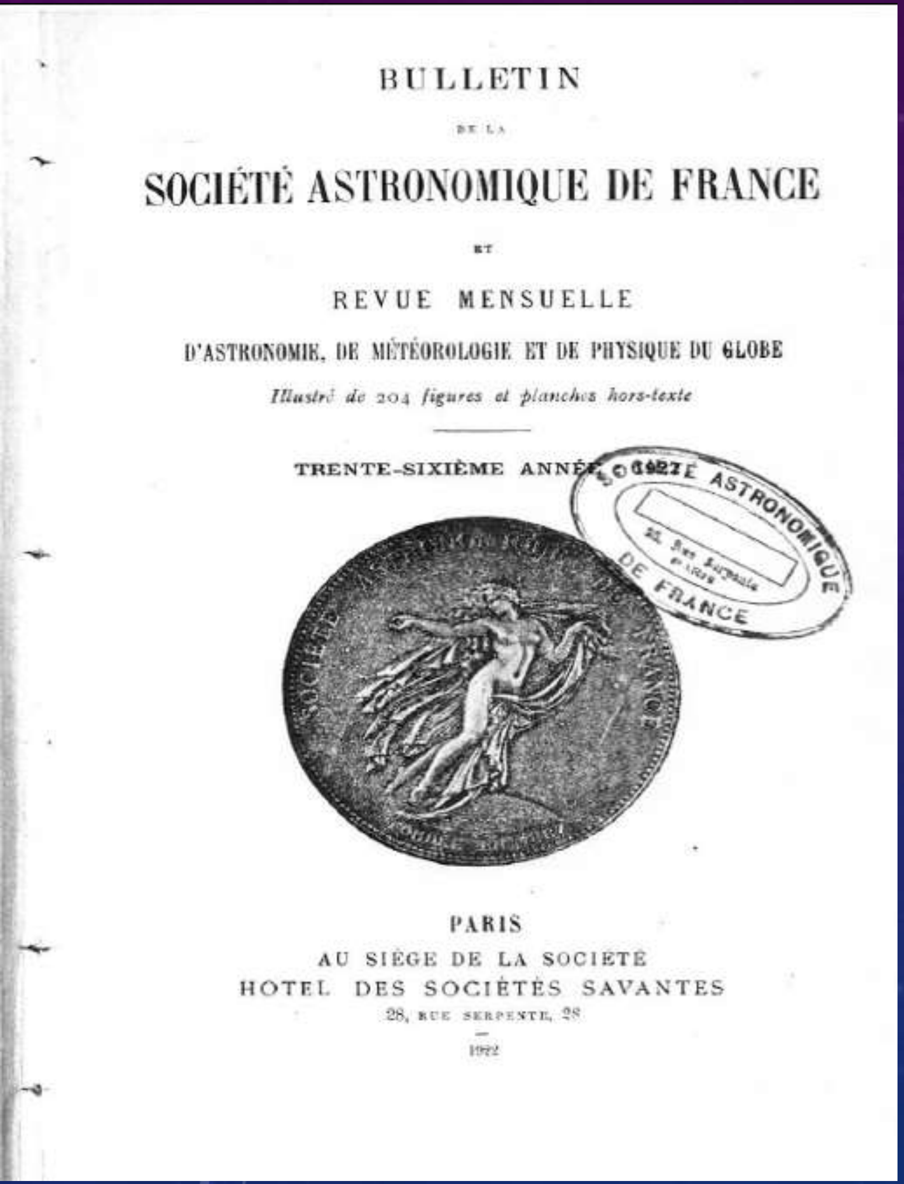
Dans ces conditions conformément à la relativité générale, les horloges se figent et plus rien ne peut se produire, ce serait la « mort » et en conséquence tout changement capable d'apporter la catastrophe d'Hadamard deviendrait impossible. Painlevé saisit cette occasion pour demander à Einstein des éclaircissements sur d'autres conséquences de sa théorie en particulier sur les grandeurs mesurables physiques comme les distances au Soleil. Un débat contradictoire brillant et animé digne d'une compétition sportive s'ensuivit sur la signification physique des équations.

Brillouin incapable de s’exprimer dans ce tumulte s’empare alors du tableau et, craie à la main, y inscrit ses propres contributions, restaurant l’attention d’un public haletant et quelque peu perturbé !...

Einstein, qui écoutait silencieusement, indifférent au tumulte, demanda poliment la parole.

Ceci détendit l’atmosphère, et le silence revenu, il ne lui fallut que quelques minutes, pour convaincre les intervenants et réduire les principales objections...

# EINSTEIN à la SAF, lors de sa visite à Paris, au printemps 1922


BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

ET

REVUE MENSUELLE

D'ASTRONOMIE, DE MÉTÉOROLOGIE ET DE PHYSIQUE DU GLOBE

*Illustré de 204 figures et planches hors-texte*

TRENTE-SIXIÈME ANNÉE



PARIS

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

HOTEL DES SOCIÉTÉS SAVANTES

28, RUE SERPENTE, 28

1922

Extrait de bulletin mensuel de la Société Astronomique de France (SAF), relatant l'intervention d'Einstein à la séance du 5 avril 1922 où avec Langevin il avait été invité à présenter la relativité. Cela atteste de la notoriété de la SAF et l'accueil triomphal réservé à Einstein par cette assemblée contraste avec l'attitude plutôt hostile de l'Académie de Sciences qu'il avait évité.

# SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE FRANCE

## Séance du Mercredi 5 Avril 1922

*Présidence de M. le Colonel* PAUL RENARD, *membre de Conseil.*

Assisté de MM. J. BOSLER, astronome à l'Observatoire de Paris, secrétaire ; CH.-ED. GUILLAUME, correspondant de l'Institut, directeur du Bureau international des Poids et Mesures ; EMILE BOREL, professeur à l'Université, membre de l'Institut ; LANGEVIN, professeur au Collège de France ; J. BAILLAUD, astronome à l'Observatoire de Paris ; P. SALET, astronome à l'Observatoire de Paris ; H. CHRÉTIEN, professeur à l'Institut d'Optique ; L. D'AZAMBUJA, astronome à l'Obervatoire de Meudon ; F. QUÉNISSET, astronome à l'Observatoire de Juvisy ; ANDRÉ BLOCH, Grand Prix de Rome ; G. FOURNIER, administrateur de l'Observatoire de la Société ; ALBERT CORNET, de la Commission des Finances ; et de plusieurs autres membres du Bureau et du Conseil.

La séance est ouverte à 20h45m dans l'amphithéâtre Richelieu, à la Sorbonne, beaucoup trop petit pour contenir tous les sociétaires venus en foule à cette réunion (1)

(1) Quelques sociétaires, par la faute d'un service d'ordre par trop rigoureux peut-être, — et qui était étranger à notre société, — n'ont pas cru devoir attendre et sont partis sans avoir pu assister à cette séance. Nous le regrettons vivement. Tous les sociétaires qui ont attendu ont pu entrer dans l'amphithéâtre lorsque, chacun s'étant placé, il en résulta quelques vides qui furent comblés par les derniers arrivants. Nous remercions MM. L. Gimpel et F. Quénisset qui, à l'entrée de l'amphithéâtre, ont prêté leur aimable concours pour aider à placer les auditeurs.

Painlevé et la relativité générale Novembre 2021- Jacques Fric - SAF



M. LE PRÉSIDENT présente les excuses du prince BONAPARTE, président de la Société, qui, empêché, ne peut assister à la séance. Il présente également les excuses de M. EM. BELOT, vice-président, retenu à la chambre par suite d'un refroidissement. M. FLAMMARION est encore en voyage sur la Côte d'Azur.

M. LE PRÉSIDENT est heureux de saluer la présence au bureau du professeur A EINSTEIN, auteur des Théories de la Relativité. (*Applaudissements nombreux et longtemps répétés*).

Les personnes dont les noms ont été publiés au procès-verbal de la séance du 8 février sont nommées membres de la Société. Celles dont les noms suivent sont présentées pour être admises à la prochaine séance.

MM. ALPHONSE SIMÉON, Ingénieur, 8 et 10, rue du Delta, à Paris, présenté comme **Membre perpétuel** par MM. *Flammarion* et *P. Desforges.*

KENNETH P. WILLIAMS, Professeur associé, 523, East Third Street, à Bloomington, Indiana (Etats-Unis), présenté comme **Membre perpétuel** par MM. *Bosler* et *Em. Touchet.*

ALBERT A. MICHELSON, Professeur à l'Université de Chicago (Etats-Unis), présenté par MM. *Flammarion* et *Em. Touchet.*

le duc DE BROGLIE, Docteur ès-sciences, lauréat de l'Institut, 29, rue de Chateaubriand, à Paris (MM. le comte *de Gramont* et *Flammarion*).

le professeur PIETRO CARDANI, Directeur de l'Institut de Physique et de l'Observatoire, R. Université de Parme (Italie) (MM. *Flammarion* et *Em. Touchet*).

CHRISTIAN LARRIEU, Stagiaire à l'Observatoire national, 5, rue d'Anvers, à Marseille (Bouches-du-Rhône) (MM. *Flammarion* et *Em. Touchet*).

ALPHONSE VIGER, Docteur ès-sciences, 16, rue de Vaugirard, à Paris (MM. *Flammarion* et *Em. Touchet*).

BOHUMIL MASEK, Docteur ès-sciences, Astronome de l'Observatoire d'Etat, à Oudrejov près Prague (République Tchéco-Slovaque) (MM. *Flammarion* et *Maurice Ballot*).

HARLAN RITER PARKER, Professeur, 3070, West Boulevard, à Cleveland, Ohio (Etats-Unis), (MM. *A. Puppo* et *Em. Touchet*).

ADAM ABOAF, boite postale, 490, à Alexandrie (Egypte) (MM. *J. Cohen-Toussieh* et *C. Flammarion*).

ANDRÉ-ALEXANDRE-JOSEPH COUDER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Jean-Bart, à Paris (MM. *Maurice Ballot* et *Falconnier*).

MARIUS JALLOIS, Employé de commerce, 56, rue de la Comète, à Asnières (Seine) (MM. *Flammarion* et *Maurice Ballot*).

PAUL EMMANUEL FARRON, Étudiant, villa Lucy, La Chablière, à Lausanne (Suisse), (MM. *Flammarion* et *Em. Touchet*).

NILS NILSEN, Négociant en vins, 75 *bis*, cours Journu-Auber, à Bordeaux (Gironde) (*par les mêmes*).

ERICK DOLÉZAL, Etudiant à l'Ecole Polytechnique, Bocklinstrasse 2II/13, à Vienne II (Autriche) (*par les mêmes*).

EMMANUEL COCHART, 15, place Carnot, à Charleville (Ardennes) (M. et Mme *C. Flammarion*).

CHARLES STIGLER, Ingénieur, 51, boulevard Victor-Hugo, à Nice (Alpes-Maritimes) (MM. *G. Vincent* et *Flammarion*).

RENÉ DERIVERY, 2, passage Gauthier, à Paris (MM. *G. Fournier* et *Maurice Darney*).

ROBERT MONTGOMERY DOLE, U. S. Weather Bureau Office, East Lansing, à Michigan (Etats-Unis) (MM. *Ch.-P. Olivier* et *Em. Touchet*).

VICTOR MARGOT, Négociant, 46, avenue de Morges, à Lausanne (Suisse) (MM. *J. Vetter* et *Em. Touchet*).

VAN BERGEN, 2, r. de la Hache, Borgerhout, Anvers (Belgique) (MM. *Flammarion* et *E. Leroy*).

PIERRE-EMILE SICARD, Publiciste, 12, rue du Colisée, à Paris (MM. *Bourgarel* et *Maurice Ballot*).

CHARLES MOURETON, Secrétaire des « Etablissements Arbel », 3, rue Le Verrier, à Paris (MM. *P. Hurand* et *Em. Touchet*).

Le professeur A. Einstein dit quelques mots des **Applications astronomiques de la Relativité.** On sait, dit-il, que les planètes décrivent autour du Soleil des ellipses qui paraissaient fixes dans l'espace. Mais, peu à peu, au fur et à mesure de l'augmentation de précision des observations, et de l'action cumulative du temps, on a reconnu qu'il y a une rotation de l'ellipse. C'est Le Verrier, le premier, qui a signalé cette variation du périhélie pour Mercure. On ne pouvait l'expliquer qu'en faisant des hypothèses peu vraisemblables. La Théorie de la Relativité explique d'une manière parfaite ce déplacement de 45″ par siècle du périhélie de la planète Mercure.

La seconde preuve que l'Astronomie pouvait donner de l'exactitude de la Théorie de la Relativité, c'est la vérification de la courbure de la lumière au voisinage des astres.

On a calculé que la déviation de la lumière au voisinage du Soleil est de l'ordre de 1″. C'est la détermination de cette déviation qui a été entreprise par Eddington au cours de l'éclipse de Soleil de mai 1919 et qu'il a pu vérifier.

Les deux preuves précédentes sont relativement sûres. Il y en a une troisième. La Théorie de la Relativité exige que les phénomènes périodiques, par exemple l'oscillation des atomes donnant lieu aux raies spectrales, soit modifiée dans le voisinage des grandes masses. Autrement dit, la couleur des radiations doit être légèrement modifiée dans ce cas; ainsi les raies spectrales doivent être légèrement déplacées vers le rouge sur le Soleil. Cette conclusion de la Théorie n'a pas encore été complètement vérifiée, car les observateurs ont trouvé des résultats différents.

Ainsi les résultats des expériences de Fabry et Perot et ceux obtenus en Allemagne viennent à l'appui de la Théorie de la Relativité; mais d'autres expérimentateurs ont obtenu des résultats contraires et les discussions sur cette troisième preuve ne sont pas encore closes.

La Théorie de la Relativité qui a demandé à l'Astronomie de lui fournir des vérifications nécessaires peut, à son tour, lui apporter un précieux concours. En effet, inversement, du déplacement du périhélie d'une orbite ou de la valeur du rayon de courbure de la lumière au voisinage des astres, on pourra déterminer la masse de ces astres. On sait combien est importante la détermination des masses en Astronomie. La relation entre les masses et les distances permet en effet d'entrevoir une action très différente de celle qui résulte de la loi de Newton et ce ne sera pas la moindre des conséquences auxquelles aboutit la Théorie de la Relativité.



La communication de M. Einstein a été écoutée dans le plus grand silence, elle est accueillie par des applaudissements qui se prolongent longtemps.

M. le Président voudrait adresser ses remerciements à M. Einstein pour les paroles si intéressantes qu'il vient de prononcer. Les applaudissements qui ont suivi sa communication ont devancé ses remerciements, ils expriment bien l'intérêt qu'a suscité la belle Théorie créée par le professeur Einstein. (*Applaudissements*).

M. le professeur Langevin ajoute quelques mots pour compléter les renseignements que vient de donner M. Einstein.

La Théorie de la Relativité ouvre des horizons nouveaux sur les questions cosmogoniques qui concernent l'ensemble de l'Univers.

Parmi les résultats qu'Einstein a obtenus, il trouve qu'à côté des masses considérables on constate un accroissement de la masse des corps voisins. Ainsi un corps voisin du Soleil aura une inertie un peu plus grande que lorsqu'il en est éloigné. Il a donc paru à Einstein — ici le philosophe reparait — que si un corps doit une petite partie de sa masse au voisinage du Soleil, le reste de sa masse est dû au reste de la matière de l'Univers. Ainsi, au voisinage du Soleil, les corps doivent une partie de leur inertie au fait qu'il y a de la matière dans le Soleil. Comme l'inertie des corps est finie, la théorie exige que le reste de la matière répandue dans l'espace soit fini. Einstein conclut donc que la quantité de matière contenue dans l'Univers est finie et que cet Univers lui-même est fini quoique sans limites, avec une distribution de matière uniforme en moyenne. Ainsi nous sommes ramenés à la conception que nous occupons un univers fini, contenant un nombre fini de nébuleuses analogues à la nôtre.

La matière, dans l'Univers, détermine les propriétés de l'espace, elle détermine la courbure générale de l'espace, en donnant à tout notre univers à trois dimensions ce caractère d'être fermé sur lui-même comme la surface terrestre, à deux dimensions, est fermée sur elle-même. Si nous partons dans l'espace dans une direction quelconque, nous reviendrons par derrière après en avoir fait le tour. Le chemin que l'on aura ainsi parcouru est de l'ordre de celui que parcourt la lumière en 1 milliard d'années. C'est un nombre qui a, en kilomètres, 23 chiffres ; si nous ne connaissons pas le premier chiffre, nous savons cependant qu'il y en a 23 et que la place dont nous disposons est largement suffisante.

« Cette satisfaction de nous sentir ainsi chez nous nous donne une certaine sécurité en éliminant tout infini troublant pour notre esprit, et d'autre part l'espace est assez grand pour que rien ne vienne nous faire craindre une crise possible du logement » (*Applaudissements*).

M. le Président remercie M. Langevin pour cette intéressante communication Il adresse, de nouveau, des remerciements à M. Einstein pour avoir fait à la Société astronomique de France l'honneur de venir l'entretenir de questions qui à l'heure actuelle passionnent tous ceux qui pensent et sont avides de progrès.

La séance est levée à $22^{h}40^{m}$.

*Le Secrétaire-adjoint :*
Em. Touchet.

# **Pour conclure: Banquet à la maison des polytechniciens en l'honneur d'Einstein (1922).**

Langevin est à droite d'Einstein. À la droite de Langevin, Charles Fabry (1867-1945), Charles-Édouard Guillaume (1861-1938 prix Nobel de physique 1920), puis 2 personnes non identifiées puis Paul Appell (1855-1930). À la gauche d'Einstein, Louis Lapicque (1866-1952), Marie Curie qui tourne la tête à l'objectif. , une personne non identifiée, Émile Picard (1856-1941). En bas à gauche de la photo, sous un fort éclairage, Émile Borel (1871-1956, gendre d'Appell), et Jean Becquerel (1878-1953, fils d'Henri Becquerel).

# PAINLEVÉ ET LA SAF: FUNERAILLES DE CAMILLE FLAMMARION A L'OBSERVATOIRE DE JUVISY (6/6/1925)

# Les débats à l'Académie des sciences

- L'Académie des Sciences avait ignoré la relativité générale jusqu'en 1921, année où Einstein obtient le prix Nobel de physique qui lui sera remis en 1922. Si ce prix ne lui est pas attribué pour la relativité générale, ce qui montre que cette théorie était loin d'être acceptée à l'époque, cela lui confère une notoriété que l'Académie des Sciences ne peut ignorer.
- De par sa constitution, l'Académie des Sciences est une institution plutôt conservatrice.

# Les débats à l'Académie des sciences

- Certains membres de l'Académie, parmi les plus influents, sont très hostiles à la théorie de la relativité générale qu'ils considèrent comme destructrice de la mécanique classique. Ce courant, dont Jean Le Roux, auteur d'une multitude de notes visant à disqualifier la théorie d'Einstein, est le membre le plus actif, est majoritaire surtout au début. Mais on verra apparaître rapidement un courant, animé par M. Brillouin, de scientifiques séduits par cette approche nouvelle.

# Les débats à l’Académie des sciences

La contribution de Painlevé débutant octobre 1921, consécutive à une critique très virulente par M. Le Roux de la relativité générale, avait pour objet de « modérer » le débat puisqu’il se proposait de faire une étude critique comparative des deux théories à l’usage de ses collègues assez désemparés par cette nouvelle théorie. Si, de par sa formation, il lui était difficile d’être vraiment objectif, c’était une tentative estimable et qui comme nous l’avons vu s’est révélé hautement constructive. Elle a pu servir de pivot aux réactions qui ont suivi.

# La controverse menée par Le Roux

La controverse, nourrie, peut être illustrée par quelques exemples d'échanges assez vifs entre les chefs de file des deux camps. Pour donner le ton, citons le début du premier article de Jean Le Roux (1863-1929, professeur à la faculté des sciences de Rennes) en mai 1921 : On a considéré comme une confirmation éclatante de la théorie de la relativité la découverte d'une loi de la gravitation susceptible d'expliquer le mouvement du périhélie de Mercure. Une critique judicieuse constate que ce résultat a bien été obtenu à propos de la théorie de la relativité, mais qu'il n'en est pas une conséquence et ne constitue même pas un argument en sa faveur.

# La controverse menée par Le Roux

*Le Roux poursuivra sa critique 1922:* Les résultats fournis par la théorie d'Einstein ont semblé, concorder remarquablement avec l'observation dans le cas du mouvement séculaire du périhélie de Mercure. Pour arriver à cette conclusion, on est obligé d'admettre que les perturbations mutuelles des planètes conservent dans la théorie d'Einstein les mêmes valeurs que dans la mécanique classique. Si l'on supprime les perturbations, la concordance disparaît.

Or il arrive que l'hypothèse fondamentale d'Einstein est incompatible avec l'existence des actions mutuelles et des perturbations telles qu'on les considère dans la mécanique classique.

Il conclut : La confrontation avec l'expérience dans le cas particulier du mouvement de Mercure donne lieu aux constatations suivantes. L'avance séculaire constatée est de 574". La théorie de Newton qui entraîne les perturbations, fournit une explication satisfaisante jusqu'à une limite maxima de 536", avec un résidu minimum inexpliqué de 38‘’.

Dans la théorie d’Einstein, le mouvement déduit du ds² calculé par Schwarzschild donnerait pour Mercure une avance séculaire de 42"9. Mais, comme cette théorie exclut les perturbations dues aux actions mutuelles, il subsiste un résidu inexpliqué de 531".

Tel est le résultat brutal…. En attendant, on doit constater que la théorie d’Einstein, dans son état actuel, ne permet ni d’expliquer ni de prévoir, même avec l’approximation la plus grossière, le mouvement séculaire de Mercure.

*Soulignons que Jean Le Roux, avec son article « La banqueroute de la théorie de la relativité » fut le seul contributeur français de l’ouvrage « Hundert Autoren gegen Einstein » (Cent auteurs contre Einstein), 1931 ; cf. [18] p.194-199, Jean Le Roux est cité p. 198.*

Ceci lui vaut une réponse cinglante, argumentée de Marcel Brillouin en novembre 1922: Tout le monde sait que la théorie de la gravitation d'Einstein comprend comme première approximation celle de Newton. La Note de M. Le Roux montre qu'il est néanmoins utile de le rappeler. Les dix potentiels d'Einstein $g_{\mu\nu}$ contiennent non seulement les coordonnées $x_{\mu}$ du point de l'espace autour duquel ils définissent le $ds^2$, mais aussi contrairement à la singulière affirmation de M. Le Roux (P. 810, lignes 21-27), les coordonnées $\xi$ de tous les points singuliers de l'espace, c'est-à-dire de tous les points où se trouve une masse attirante, fixe ou mobile, ainsi que la grandeur de chacune de ces masses.

Lorsque ces masses sont mobiles, sous leurs seules influences mutuelles, on est obligé d'étudier à la fois les mouvements de toutes ces masses, c'est-à-dire de traiter le problème des n corps soit sous sa forme rigoureuse, lorsqu'on saura former exactement les $g_{\mu\nu}$ d'un espace contenant n corps mobiles, en fonction des quatre coordonnées $\xi$ de chacun de ces corps, soit approximativement à la façon du problème des perturbations.

Au premier ordre, à cause de la grandeur de la vitesse de la lumière, le seul potentiel qui diffère de celui d'un espace euclidien est le coefficient de $dt^2$, $g_{44}$, qui à cet ordre d'approximation, obéit à l'équation de Poisson, se forme comme en théorie newtonienne et fournit toutes les perturbations classiques.

Les critiques, de M. Le Roux, sont dépourvues de tout fondement.

# ACADÉMIE DES SCIENCES.

## SÉANCE DU LUNDI 1er MAI 1922.

PRÉSIDENCE DE M. ÉMILE BERTIN.

---

## MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE

MÉCANIQUE. — *La théorie classique et la théorie einsteinienne de la gravitation.* Note (¹) de M. PAUL PAINLEVÉ.

Le $ds^2$ est alors nécessairement de la forme

$$ds^2 = \frac{dt^2}{U(x_1, x_2, x_3)} - d\sigma^2 \qquad (U > 0), \tag{6}$$

où $d\sigma^2$ est de la forme (3), mais n'est plus euclidien (à 3 variables).

On sait (de par la corrélation entre le principe d'Hamilton et le principe de la moindre action) que les trajectoires de P sont alors données par les géodésiques du $ds_1^2$ à trois variables $ds_1^2 = (U + h)\,d\sigma^2$, $h$ constante arbitraire, et $t$ par $dt = \frac{U\,d\sigma}{\sqrt{U+h}}$. Les trajectoires de la lumière s'obtiennent en faisant $h = 0$, d'où alors $dt = \sqrt{U}\,d\sigma$.

Généralisation de sa forme pseudo-newtonienne à la relativité générale pour les géodésiques.

# Académie des Sciences : Des contributions de haut niveau qui seront oubliées !

- Cartan (photo ci-contre) établit (1922) les directions principales nulles d'un tel espace-temps, préfigurant la classification de Petrov (1954)-Pirani (1956).
- Sauger (1922) dérive la solution à partir de la relativité restreinte, l'espace-temps en tout point se déduisant de celui à l'infini par un boost égal à la vitesse newtonienne.

# Académie des Sciences : Des contributions de haut niveau qui seront oubliées !

- Jean Chazy (1922) est le premier à établir rigoureusement la forme de la métrique de Schwarzschild avec constante cosmologique en partant de l’équation d’Einstein avec constante cosmologique, au lieu de celle sans constante cosmologique de laquelle partait Schwarzschild. C’est une contribution très originale, totalement oubliée, exposant une solution qui sera retrouvée par Lemaître dix ans plus tard.

# QUE RESTE-TIL DE CES CONTRIBUTIONS MAGISTRALES ?

- Toutes ces contributions innovantes et fondamentales résultant du débat dialectique qui s’est déroulé à cette période sont tombées dans l’oubli.
- Manifestement, leur importance ne s’est pas imposée aux différents intervenants, sans doute du fait qu’elles résultaient plus de travaux formels inspirés par le sujet que d’une compréhension profonde de la physique qu’elles sous-tendaient.

# QUE RESTE-TIL DE CES CONTRIBUTIONS MAGISTRALES ?

- Il est clair qu'à cette époque, même chez les esprits les plus brillants comme Einstein, la perception des implications de la théorie de la relativité générale était loin d'être claire, comme en témoigne un certain manque de considération à la proposition de Painlevé, qui permettait pourtant de résoudre formellement le problème de la singularité sur l'horizon se posant à la relativité générale.

# QUE RESTE-TIL DE CES CONTRIBUTIONS MAGISTRALES ?

- Ainsi va la science, mais il est dommage que cette opportunité pour la communauté scientifique française de valoriser son talent dans cette discipline n’ait pas pu être concrétisée.
- Cela aurait sans doute changé le cours de leur participation au développement de cette théorie et lui aurait donné une place significative dans la construction de ce pilier de la science du XX$^{e}$ siècle.

# LA FORME DE PAINLEVÉ AUJOURD’HUI

- Cette forme de métrique pour cet espace-temps, la première non singulière sur « l’horizon », présente des caractères newtoniens, ce qui n’est sans doute pas étranger au choix de Painlevé.
- Son équation du mouvement radial libre (vitesse nulle à l’infini) obéit aux mêmes équations que celles de la mécanique newtonienne.
- À une forme est associée en général un observateur « repère » qui dans ces conditions est en situation quasi-newtonienne. Ceci fait que les calculs se simplifient considérablement dans cette solution.

# LA FORME DE PAINLEVÉ AUJOURD'HUI

- Si pour autant la solution reste relativiste et ne se confond pas totalement avec la solution newtonienne, ceci a suscité récemment un intérêt, comme en témoignent les articles de Lake (1994), Martel et Poisson (2000), Taylor et Wheeler (2000) qui l'appellent le référentiel de la pluie, Doran (2000) et Hamilton et Lisle (2006) « River model », tous soulignant et exploitant ce caractère pseudo-newtonien pour proposer des descriptions simples de cet espace-temps.

# LES DIFFICULTÉS CONCEPTUELLES DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE

- Le concept intégré d'espace-temps est en totale opposition avec nos acquis d'espace et de temps perçus comme des entités indépendantes.

- Le concept de courbure intrinsèque (qui n'est pas le concept de courbure usuel) de l'espace-temps à quatre dimensions et de l'espace à trois dimensions est difficile à représenter.

- L'absence d'un espace de fond absolu, ne facilite pas la compréhension d'orientation et d'espace en mouvement.

# LES DIFFICULTÉS CONCEPTUELLES DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE

- Le caractère hyperbolique de l'espace temps est conceptuellement difficile à se représenter et par ailleurs implique qu'on raisonne en général sur des diagrammes géométriquement faux.
- Le caractère physique d'une représentation géométrique de la gravitation, alors propriété de l'espace-temps, n'est pas admis par tous.
- Les scientifiques ont peut être été induits en erreur par la symétrie de l'équation d'Einstein pensant qu'elle impliquait la « réversibilité » invoquée par Painlevé) !

# LA DIFFICILE ÉMERGENCE DES NOUVELLES IDÉES

- L'exemple de Painlevé montre comment une solution géniale, peut résulter d'une mauvaise interprétation.
- Cela souligne le phénomène de l'émergence des théories de rupture, qui ne peuvent pas naturellement découler des existantes. Il ne faut pas alors s'étonner que leurs auteurs puissent être des scientifiques « hors de leur domaine d'excellence » .

# LA DIFFICILE ÉMERGENCE DES NOUVELLES IDÉES

- L'histoire de la relativité montre que les « découvreurs » n'ont pas toujours eu conscience de ce qu'ils avaient trouvé et que, au cas où, ils n'en ont que rarement mesuré l'importance et toute la portée.
- A partir de ce qui semble être un détail, (généralisation de la géodésique minkowskienne), Einstein a construit, sur cet argument à *caractère phénoménologique*, un monument. Cela montre la puissance heuristique de certains arguments!

# AU DELÀ DES PROPOS CONTESTÉS DE PAINLEVÉ

- Nous avons montré que l'ostracisme dont Painlevé avait été victime repose sur un malentendu. Il paraît totalement invraisemblable qu'il ait pu se perpétuer tant il était simple de s'expliquer.
- Le contexte de « frilosité » des tenants de la nouvelle théorie encore très contestée et en proie à des difficultés internes (problème des « potentiels infinis sur l'horizon ») ne prêtait pas à une réflexion apaisée.

# AU DELÀ DES PROPOS CONTESTÉS DE PAINLEVÉ

- Cela a conduit à un désastre scientifique pour la communauté internationale et pire pour la communauté scientifique française qui s'était brillamment illustrée à ce propos et qui sera la grande absente par la suite !
- Quelles leçons en tirer pour améliorer la pérennité de tels travaux ?

# CONCLUSION : PAINLEVÉ UN CAS EXEMPLAIRE MONTRANT LA DIFFICILE ÉMERGENCE DE NOUVEAUX PARADIGMES

- Il est surprenant que ce soit Painlevé, un scientifique éduqué dans un pur formalisme newtonien, qui ouvre un débat innovant sur le fondement et les implications épistémologiques de la relativité générale, dont les bases étaient encore chancelantes à l'époque.
- On a dit que Painlevé était un piètre relativiste. Sa contribution révèle effectivement une incompréhension profonde de cette théorie.

# CONCLUSION : PAINLEVÉ UN CAS EXEMPLAIRE MONTRANT LA DIFFICILE ÉMERGENCE DE NOUVEAUX PARADIGMES

- Malgré cela, il a contribué magistralement à sa consolidation en proposant une forme de métrique si innovante qu'elle n'a pas été comprise par les scientifiques de l'époque, y compris Einstein.
- Est-ce une heureuse coïncidence  ou est-ce le fruit d'une réflexion formelle d'un mathématicien, libre de connaissances établies sur la théorie, qui lui a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives balayant certains concepts considérés (indûment) comme établis.

# QUELQUES RÉFÉRENCES


- **Painlevé, une contribution trop originale à la relativité générale pour avoir été comprise à l'époque !**
- https://journals.openedition.org/bibnum/851
- **Painlevé P.(1921a)**: La mécanique classique & la théorie de la relativité. C.R.A.S, T 173, 677-680.
- **Nordmann C.** "EINSTEIN IN PARIS, Einstein Presents And Discusses His Theory, http://www.21stcenturysciencetech.com/Articles_2011/Summer-2011/Einstein_Paris.pdf
- **Painlevé P. (1921b)**: La gravitation dans la mécanique de Newton et dans la mécanique d'Einstein. C.R.A.S Note T.173 873-887.
- **Painlevé P. (1922)** : La théorie classique et la théorie einsteinienne de la gravitation. C.R.A.S Note T.174 1137-1143.