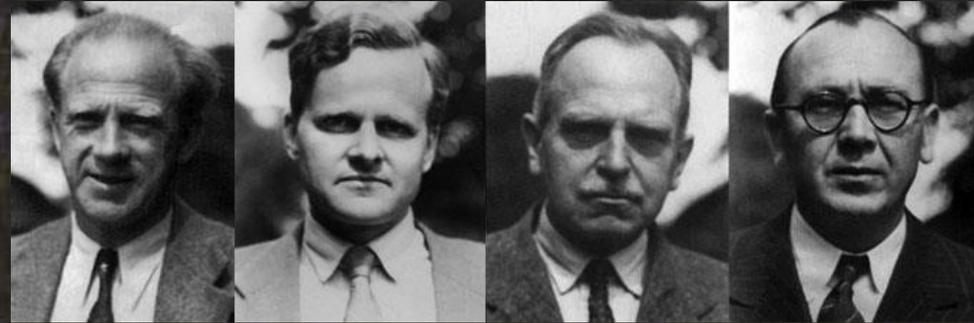


*Des physiciens
sous la dictature...*



...
*L'Allemagne nazie
et la
Bombe atomique*

*L'Allemagne est depuis le début du siècle à la pointe de la physique
« moderne »*

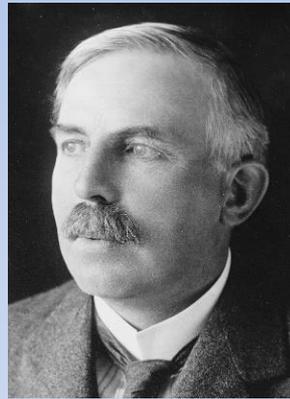
Se former en Allemagne : un exemple, Oppenheimer en 1927 (23 ans)

Harvard



Robert Oppenheimer

→ Cambridge



Ernest Rutherford

→ Göttingen



Max Born

***La fission nucléaire est découverte à Berlin en décembre 1938 !!**
... mais le « programme nucléaire » allemand sera un échec ...
Pourquoi ?*

Questions :

Quelle a été la réalité du programme nucléaire allemand et pourquoi a-t-il échoué ?

(en « miroir » du projet « Manhattan » aux USA qui, lui, a abouti)

Quelle a été la véritable attitude des plus brillants physiciens allemands ? Ont-ils volontairement contribué à cet échec pour des raisons éthiques, ou ont-ils simplement été le jouet des circonstances ?

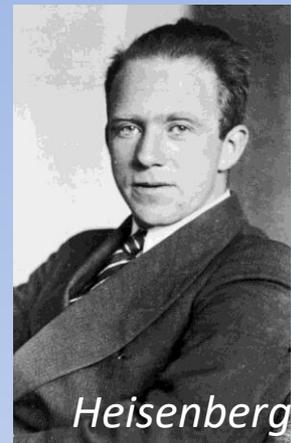
➔ Nombreuses polémiques après la guerre !

➔ Nécessité de sources fiables !!

Certains documents n'ont été rendus publics que 50 à 60 ans après la fin de la guerre !!

Les acteurs du drame...

Physiciens et chimistes en Allemagne



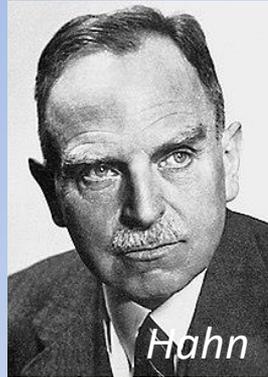
Heisenberg



Von Weizsäcker



Wirtz



Hahn



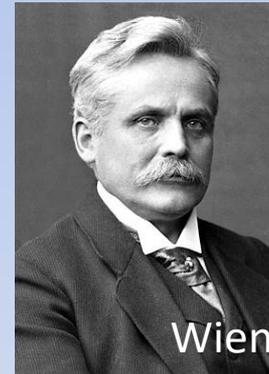
Von Laue



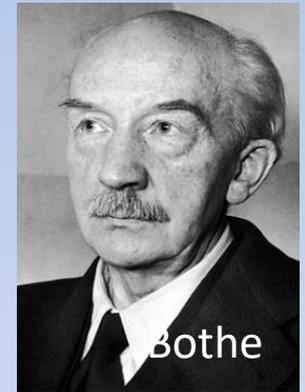
Franck



Hertz

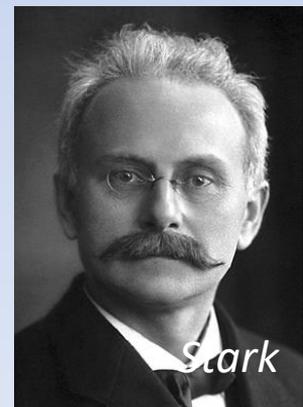


Wien



Bothe

D'authentiques Nazis...



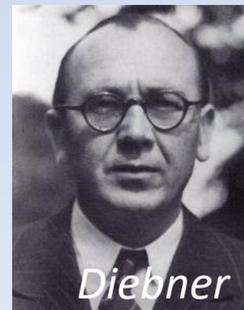
Stark



Lenard



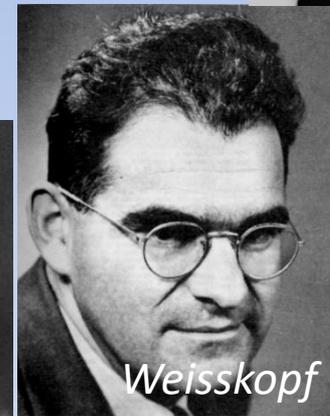
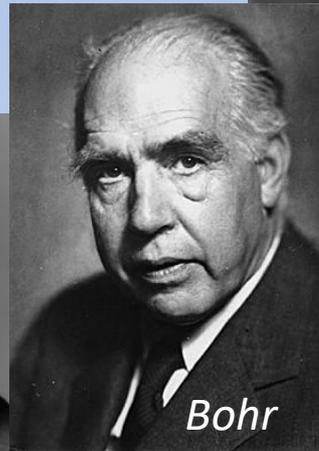
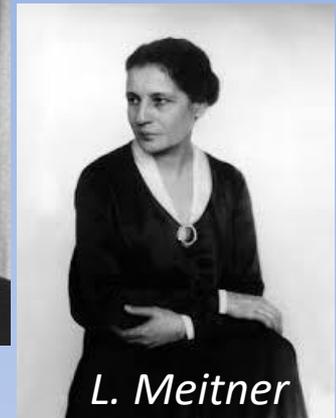
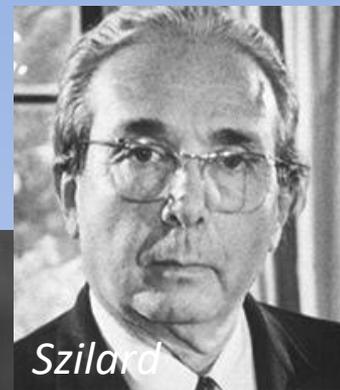
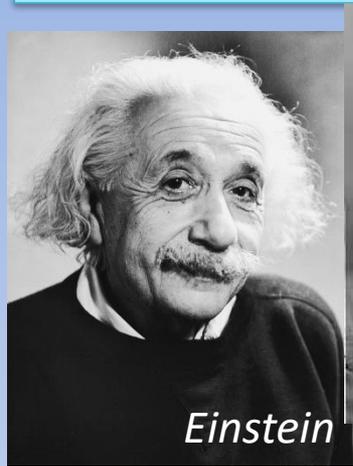
Gerlach



Diebner

Un potentiel humain important malgré l'affaiblissement du potentiel scientifique du fait de la politique raciale des nazis

Les exilés célèbres ...



Les exilés vont jouer un rôle essentiel:

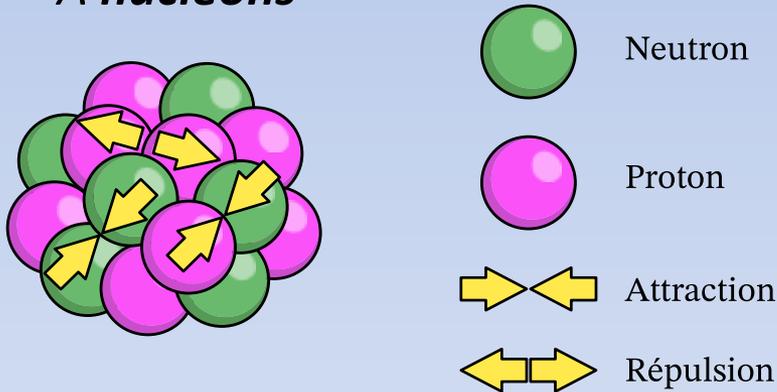
- ➔ *Par leurs actions de « lanceurs d'alerte »: Ils étaient extrêmement inquiets au sujet de la possible existence d'un programme nucléaire allemand.*
- ➔ *Par leurs actions de physiciens en rejoignant leurs collègues américains dans le programme Manhattan*

Des acteurs microscopiques : Noyaux d'Uranium, de Plutonium et neutrons baladeurs...

« **Bombe atomique ?** »: *H.G. Wells* en 1914 dans « *The world set free* », bombe vue comme un « emballage de la radioactivité » → guerre nucléaire en 1956 !

E. Rutherford, J. Perrin : « Ce sont des balivernes ... on ne pourra jamais tirer de l'énergie des atomes » ...

A nucléons



$N = A - Z$ neutrons

Z protons ex. $H=1$, $C=6$, $U=92$

Une énergie « de liaison » considérable !!

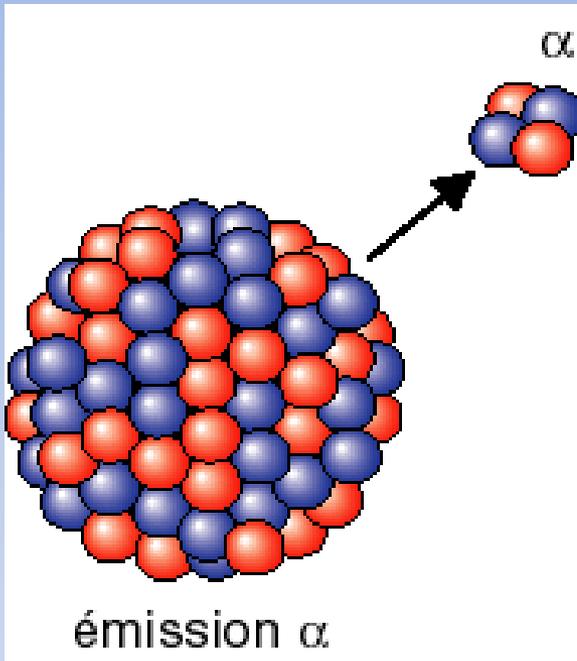
Z fixé (élément chimique) plusieurs N possibles (**isotopes**)

$Z=1$ Hydrogène $p = H$; si $N=+1 \rightarrow A = 2$, $(p-n) = D \rightarrow H_2O$ devient **D_2O « eau lourde »**

$Z= 92$ (U) $N= 146 \rightarrow A = 238$ (**U^{238}**) ; $N=143 \rightarrow A = 235$ (**U^{235}**)

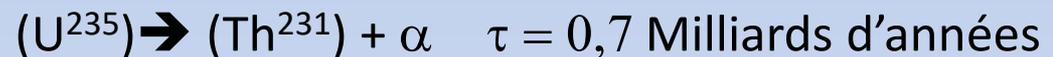
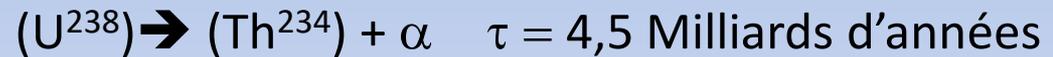
Deux isotopes différents d'un même corps ont les mêmes propriétés chimiques 6

Quand on passe d'un système instable à un système plus stable, une énergie très importante est dégagée car les liaisons sont assurées par les forces nucléaires



Radioactivité alpha: Un phénomène spontané pour des noyaux lourds

...Voir *Formule de Bethe-Weizsäcker*...



→ **0,7 % de l'Uranium naturel**

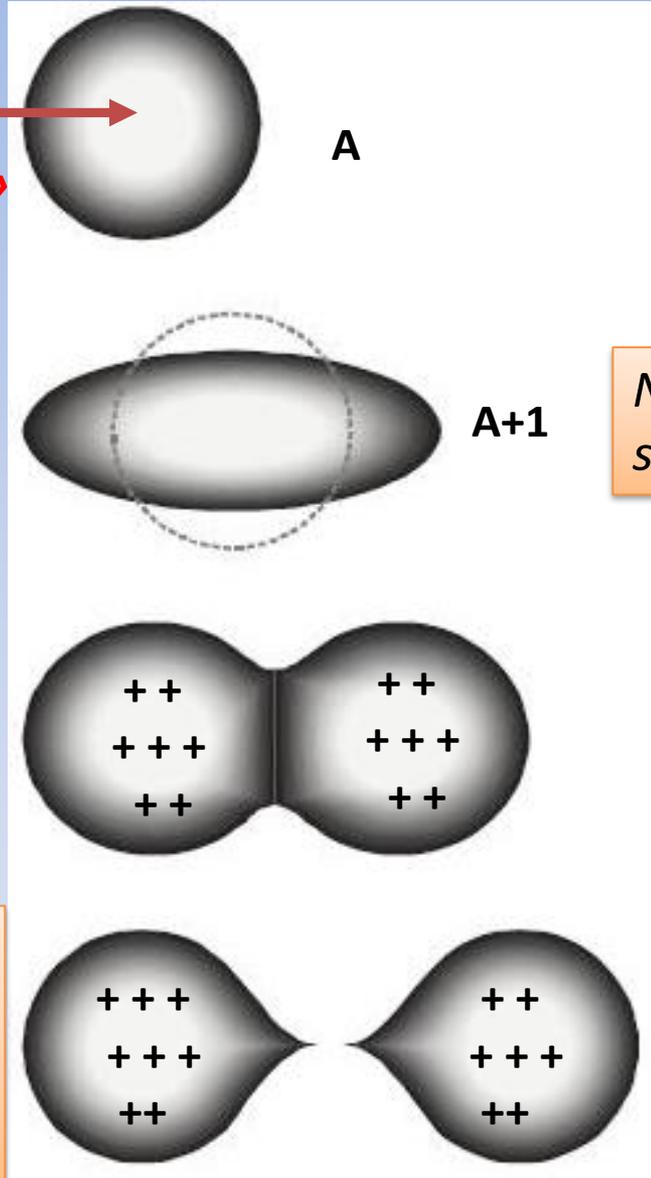
Réactions nucléaires:

→ Fusion des noyaux légers (**étoiles**)

→ Fission spontanée des noyaux très lourds (très rare dans la nature)

Fission d'un noyau d'Uranium **provoquée** par l'absorption d'un neutron

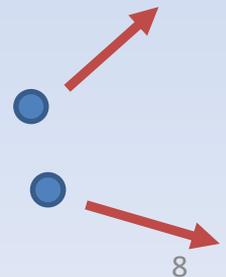
Neutron « **lent** »



Noyau déstabilisé se déforme

Un grand nombre de Liaisons sont brisées
→ Très fort dégagement d'énergie

+ **2 ou 3 neutrons**



Réaction en chaîne:

Neutron lent 3 km/s

1

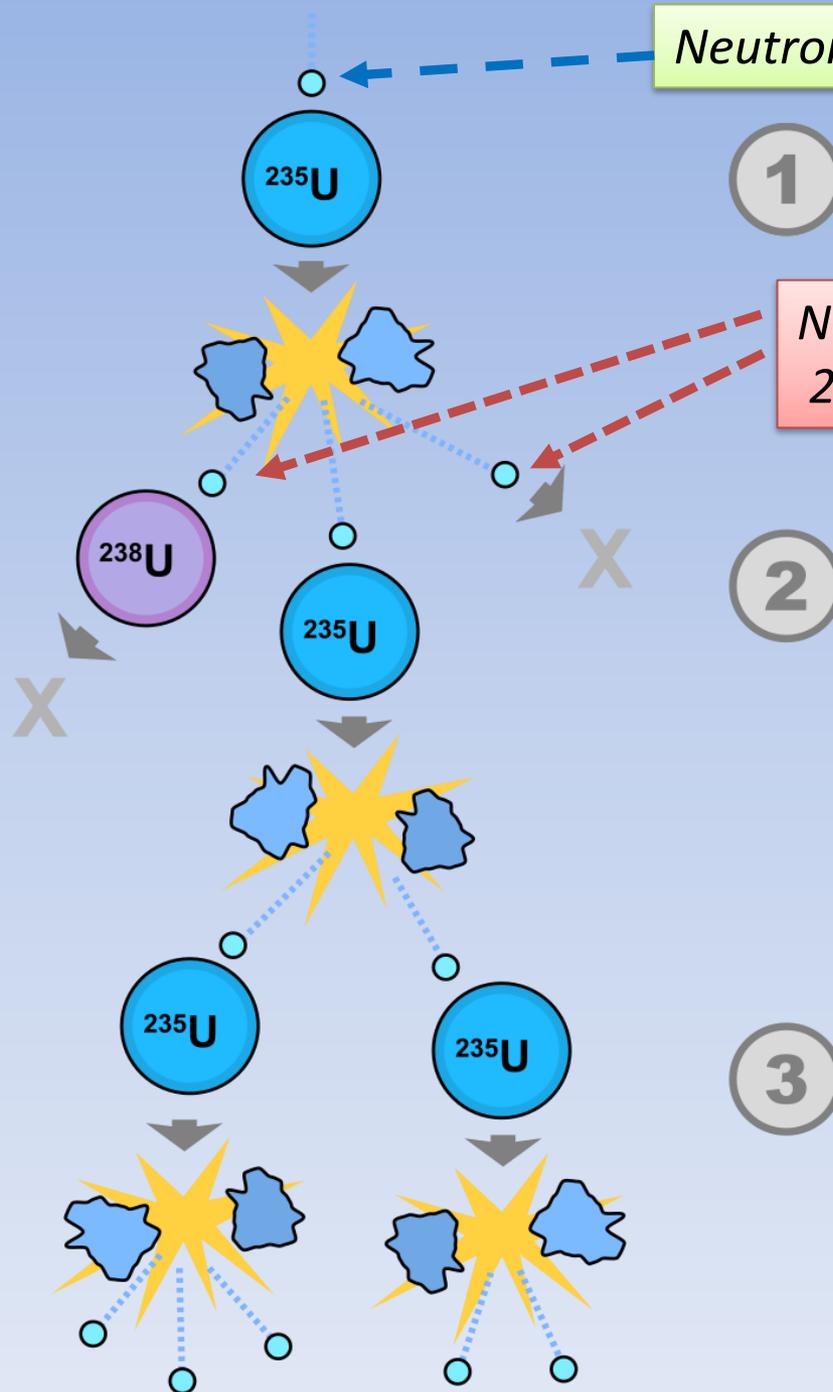
Neutrons rapides
20 000 km/s

Seul U^{235}
est « fissile »

2

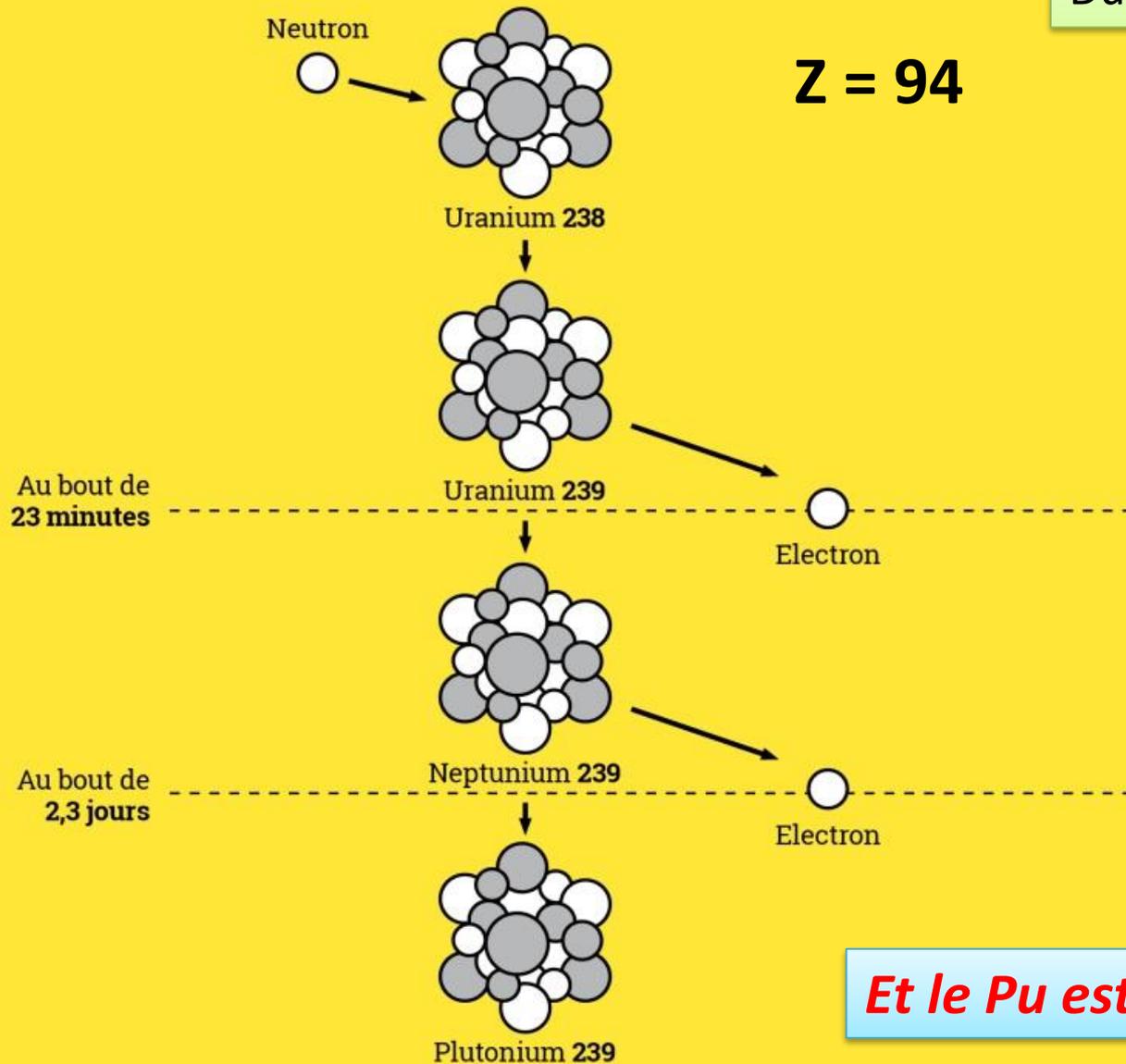
3

Possibilité de réaction
explosive



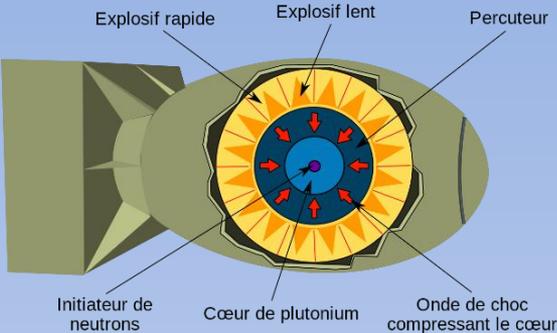
Formation du Plutonium 239

« Artificiel »:
Durée de vie 24000 ans



Et le Pu est fissile !!!

2 Recettes pour une bombe:



Uranium enrichi à 90 % en U^{235}

→ **Enrichissement ? Passer de 0,7% à 90% ???**

OU

Plutonium

→ Réacteur à Uranium naturel pour U^{238} → Pu

Extraction chimique (difficile mais faisable)



Neutrons lents: **modérateur** ! (Eau lourde ou graphite)
+ **Absorbeur** (Bore, Cadmium, eau ordinaire)
+ caloporteur (gaz carbonique ou eau)

Dans les deux cas (U enrichi ou Pu)
→ Réaction en chaîne **explosive** avec **neutrons rapides**

→ **Masse critique M ! ??**

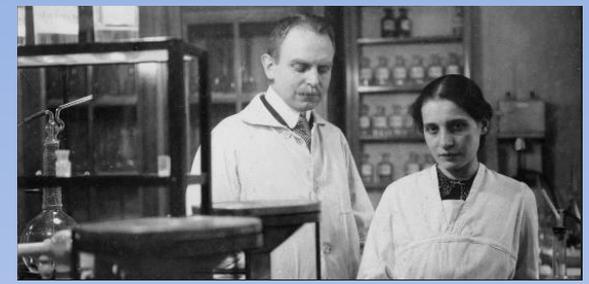
(environ 10 à 20 kg)

Un millième Δm de la masse M de matière fissile → Energie (par $E = \Delta mc^2$)



Les événements ... 1938 - 1945

Décembre 1938: Découverte de la fission de l'Uranium par des neutrons lents et émission de neutrons rapides



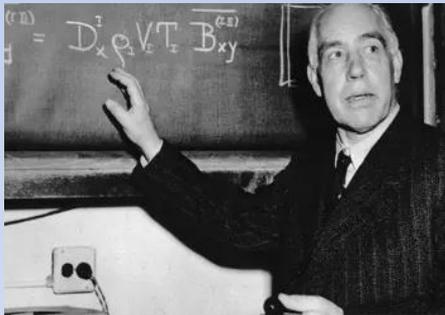
O. Hahn (Prix Nobel 1945)
& Lise Meitner



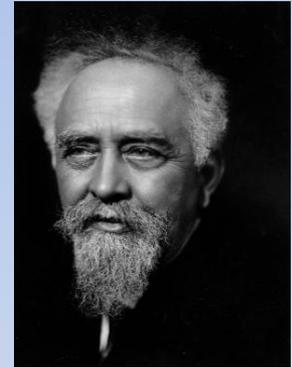
F. Joliot +

Février 1939: Réaction en chaîne mise en évidence

Avril 1939 : Premier calcul de la masse critique pour une réaction explosive : *10 à 40 tonnes d'U naturel* !



Printemps 1939: U^{235} et pas U^{238}
+ Théorie de la fission
N. Bohr & J.A. Wheeler



J. Perrin

Création en Allemagne de l'Uranverein (Le club de l'Uranium)

- Comité « Tube and alloys » en Angleterre (climat de scepticisme ...)
- E. Fermi (à Chicago) alerte la Navy (USA) ... flop ...

Août-Octobre 1939: La lettre adressée à Roosevelt...



Wigner, Teller, Szilard → A. Einstein

« ... Uranium ... réaction en chaîne ... construction de bombe ... Une seule bombe de ce type, transportée par bateau et explosant dans un port pourrait très bien détruire l'ensemble du port ainsi qu'une partie de la zone alentour... l'Allemagne a mis fin à la vente d'Uranium des mines tchèques ... le fils du sous-secrétaire d'état allemand, von Weizsäcker, est attaché à l'Institut du Kaiser Wilhelm à Berlin où une partie du travail américain sur l'uranium est en train d'être reproduite... »

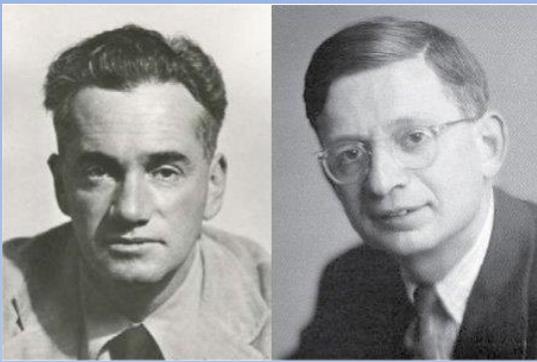
Roosevelt → création d'un comité avec scientifiques + membres de l'administration

Tous les physiciens exilés aux USA sont obsédés par le risque de l'existence d'un programme allemand de bombe atomique, possiblement piloté par des physiciens de tout premier plan, en particulier Heisenberg.

Septembre 1939: Invasion de la Pologne

Heisenberg est affecté au Kaiser Wilhelm Institute dans le cadre de l'Uranverein

O. Frisch



R. Peierls

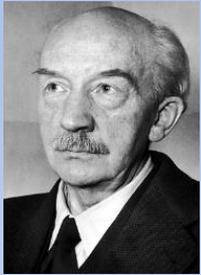
Janvier 1940: (Cambridge)

Meilleur calcul (*élaboré encore un peu approximatif*)
de la masse critique avec U^{235} pur: **½ kilo** (!!)

- **Juin 1940** : Halban et Kowalski accompagnent en Angleterre le seul stock d'eau lourde existant (acheté en mars à l'usine de Norvège): 26 bidons correspondant à 185 kg). *Les Français sont mis à l'écart par les Américains pour la suite de leur programme.*
- **Juillet 1940**: C.F Von Weizsäcker émet l'hypothèse théorique de la production de « l'élément 94 », en principe fissile (à partir de l'article de Bohr-Wheeler)
- **Décembre 1940**: découverte du Pu (Z=94) aux USA – Seaborg (gardée secrète)
Black-out sur les publications en physique nucléaire aux USA !
- **1941** Recherches avancent aux USA sur U et Pu
En Allemagne: Calcul de la masse critique de matière fissile pour une réaction explosive par Heisenberg ??? (Réponse en...1993 !!)
- **Septembre 1941**: Visite de Heisenberg à Niels Bohr dans Copenhague occupé.¹⁴

- Du point de vue des physiciens et chimistes allemands l'enrichissement en U^{235} semble un problème insurmontable ...(*travaux diffusion gazeuse cf. G. Hertz...*)

→ Vers un réacteur à U naturel : ***il faut un modérateur ...***



Walther Bothe (*Prix Nobel 1954*)

1941: Etudie expérimentalement l'interaction des neutrons avec du Carbone « pur » sous forme de graphite

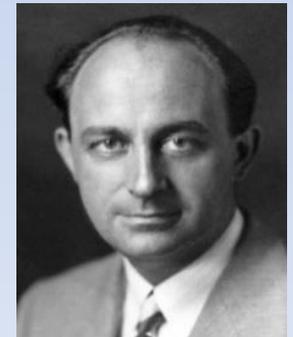
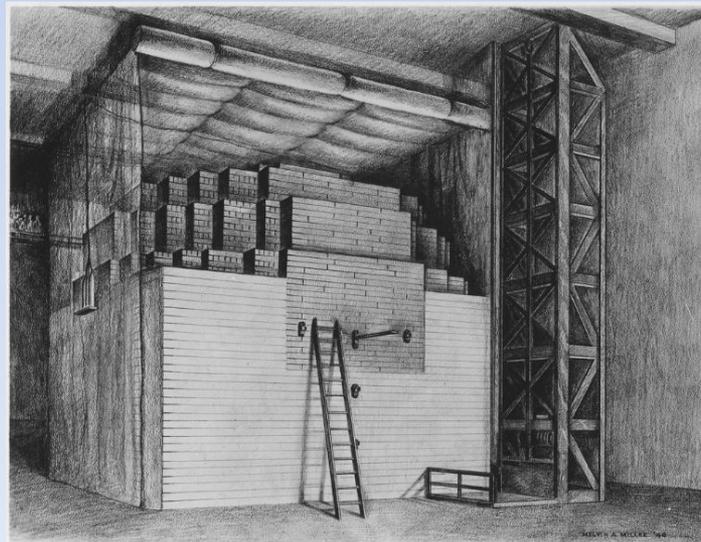
Son échantillon est contaminé par du Bore ! (gros absorbeur de neutrons : $\times 100\,000/C$)
→ « Le graphite est un absorbeur » → « ***Seule l'eau lourde peut servir de modérateur*** »

USA: entrent en guerre en décembre 1941

→ Le graphite (purifié)
est bien un modérateur !!
(*Leo Szilard*) !

400 t de graphite

Avril-Décembre 1942 (Chicago)
Première « pile atomique »
« diverge » !!



E. Fermi

- **Automne 1942:**

(USA) Le « Projet Manhattan » est lancé:



© Wikipedia

Leslie Groves

« Ingénieur général de l'armement » ;
constructeur du Pentagone.

Choisit **J.R. Oppenheimer** comme
directeur scientifique (américain et pas
lauréat du prix Nobel !).

→ *Laboratoire secret de Los Alamos (NM)*

Projet très organisé, planifié, avec unicité de commandement, pas de dispersion des financements.

Groves aura le pouvoir de déclencher des opérations sur l'Europe y compris des missions de bombardement et de sabotage + « Opération ALSOS ».

- **4 juin 1942:**

Une réunion cruciale à Berlin-Dhalem



Albert Speer

Animée par **Albert Speer**, des politiques, 6 généraux ou amiraux, des industriels (F. Porsche) et une quinzaine de scientifiques (Heisenberg, Von Weizsäcker, Hahn, Bothe, Sommerfeld ...)

Hitler → « Ne financer aucun projet qui ne donnerait pas de résultats dans les 9 mois »

Question de Speer à Heisenberg:

« Une bombe à uranium dans 9 mois ? »

Réponse: « Une bombe est théoriquement possible, mais ne peut être qu'un projet à très long terme et très coûteux »

Les messages des physiciens allemands est très clair: ils sont convaincus !

→ L'enrichissement est perçu comme un problème insurmontable à moyen terme

Ils proposent de lancer un **projet de réacteur:**

→ Qui pourrait conduire à un moteur pour les sous-marins

→ Pour produire « l'élément 94 = Pu » ??? (Heisenberg démentira après la guerre)

Les non-physiciens acceptent facilement cette position:

- Le « nucléaire » = « un truc de physiciens » + « Science juive... »
- Programme de fusées plus facile à appréhender et où les ingénieurs promettent d'aboutir rapidement !
- **Conscients d'une « Course à la bombe » avec les alliés?... Non car ignorance totale de la situation aux USA ...!!**

Les physiciens allemands ont (et auront jusqu'à l'été 1945) la certitude qu'ils sont en avance sur les alliés dans tout le domaine de la science nucléaire

- Ignorent les signaux qui auraient pu les alerter (*publications décembre 40*)
- Sous-estiment les énormes capacités industrielles américaines
- Stock d'Uranium viendra de Tchécoslovaquie occupée
- Contrôlent la seule usine au monde qui produit l'eau lourde en Norvège occupée (« *le seul modérateur efficace* »)

Feu vert des autorités pour aller vers un réacteur, avec de faibles financements

Arrière-pensées des physiciens / Leur intérêt dans un programme de réacteur:

- Conforter leur position académique par rapport aux tenants de la « physique allemande » (*enseignement de la Relativité !*)
- Ils enrôlent de jeunes physiciens en leur évitant de partir sur le front de l'Est:
Préserver l'avenir !
- Un écueil à éviter sous une dictature : surtout ne pas donner de calendrier !

Les déboires du « Programme Réacteur » juin 1942- avril 1945

→ C'est le seul programme: pas de travaux sur la fission par neutrons rapides, ni sur « l'élément 94 ». Pas d'intérêt pour le rapatriement des cyclotrons existant en territoires occupés (Joliot à Paris, Institut N. Bohr à Copenhague..)

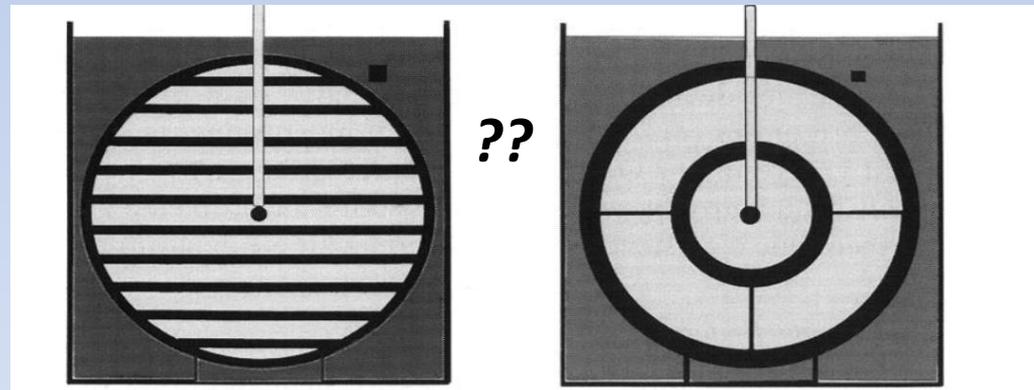
Dispersion des efforts:

→ **7 équipes**: Heisenberg, Diebner en concurrence ...

→ Se disputent les financements et l'Uranium disponible

→ Se disputent l'eau lourde de Norvège (« *Bataille de l'eau lourde* »: 5 opérations de sabotage ou bombardement demandées par Groves)

Pertes de temps: disputes entre théoriciens et expérimentateurs sur la meilleure géométrie pour le réacteur



- **1944** : Heisenberg et son équipe déménagent vers le sud de l'Allemagne à **Haigerloch**, pour échapper aux bombardements alliés (en particulier sur l'institut de Berlin, bombardement demandé par Groves).

1,5 t d'U naturel
1,5 t d'eau lourde

Pas d'absorbeur de neutrons



*N'a jamais « divergé »
(preuve en ... 2015 !)*

Opération « ALSOS »

« Alsos » = « Bosquets » = « Groves » ☺

Mission: mettre la main sur le plus d'éléments possible de l'éventuel programme nucléaire allemand, en particulier récupérer les physiciens impliqués

Des militaires US et un physicien: **Samuel Goudsmit**

- Italie → Normandie → Paris (*Joliot-Curie*)
- Strasbourg (**décembre 1944**)



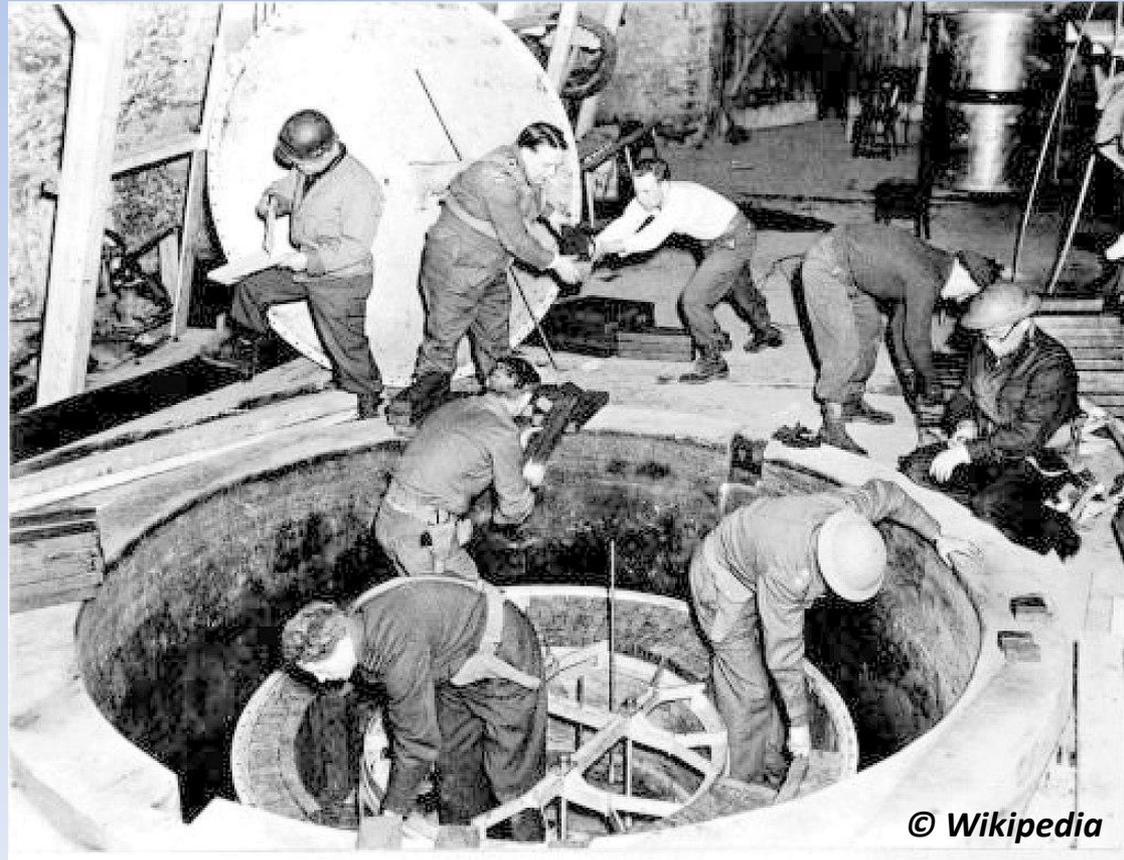
- Haigerloch (**20 avril 1945**)
*Derrière les lignes allemandes
et en « secteur français »*

Arrestation de toute l'équipe de Heisenberg plus d'autres physiciens en Allemagne du sud.

Urfeld: Arrestation de Heisenberg



« *Farm Hall* » (Angleterre)



© Wikipedia

Le Projet Manhattan: Automne 1942- Août 1945

Très structuré, très hiérarchisé... pas de concurrence entre équipes

Mise sur les deux filières en même temps : U^{235} et Pu



Environ 140 000 personnes travailleront sur le projet

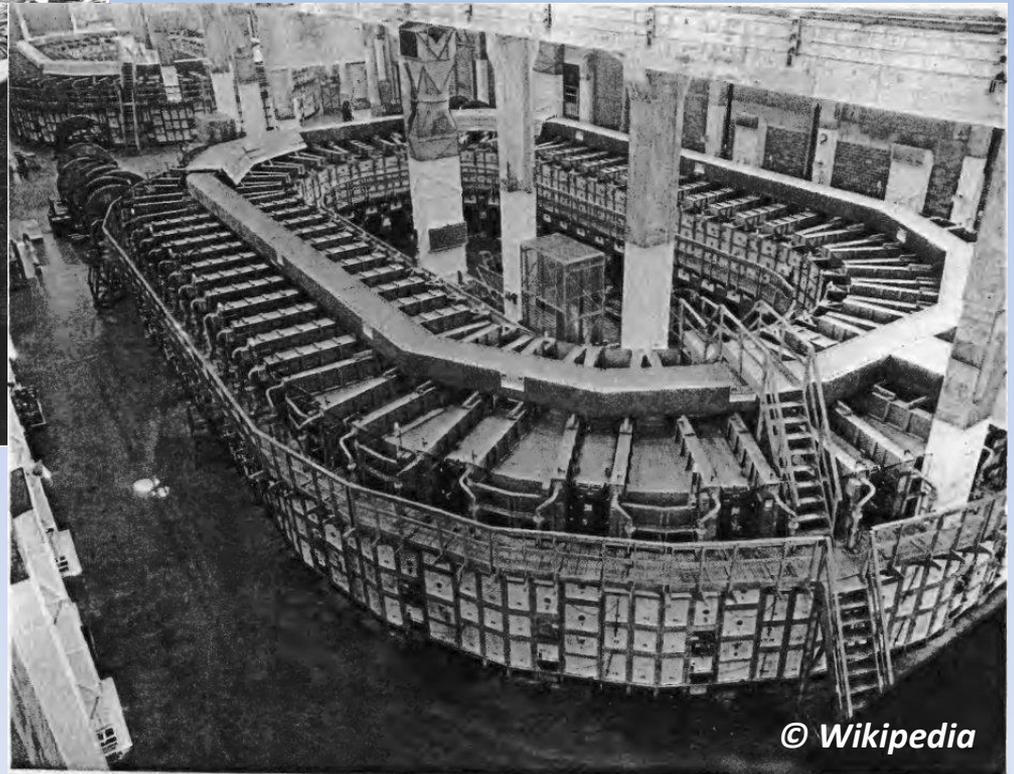
Coût : 26 Milliards de \$ (en dollars actuels) ⇔ 1/3 du coût de la production de chars d'assaut US

Oak Ridge: Enrichissement par séparation isotopique



© Wikipedia

Diffusion gazeuse



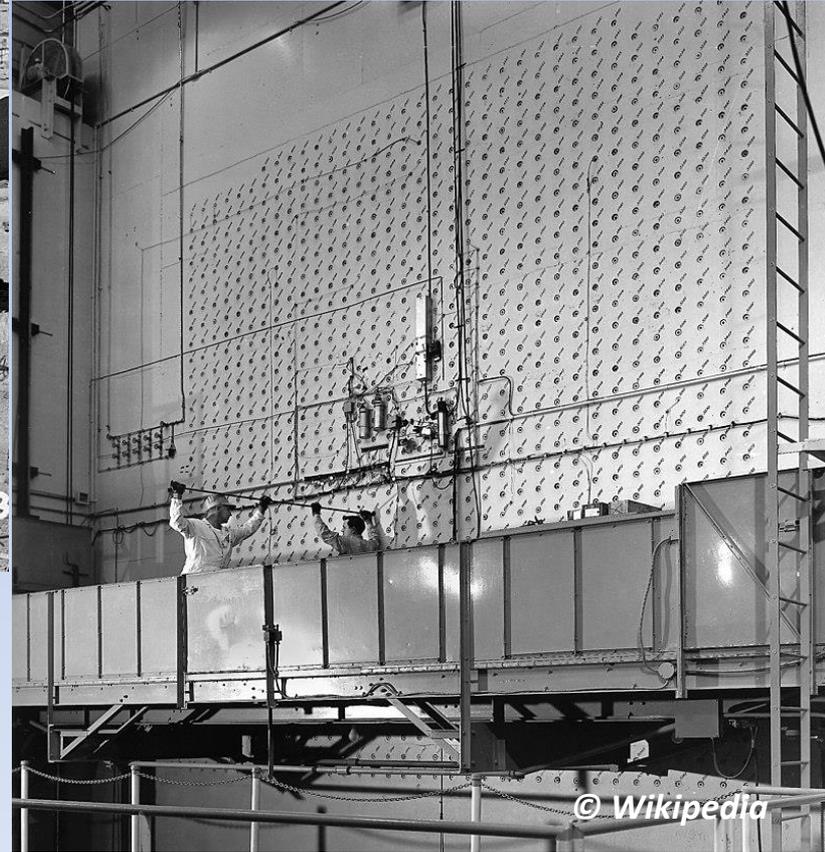
© Wikipedia

*Séparation électromagnétique
Calutron
(Bobines en fil d'Argent..)*

50 kg d'U enrichi à 89% en U235 fournis en juillet 1945



Hanford: 3 réacteurs, 1500 t de graphite...



80 g seulement de Pu en février 1945 ...



Quelques dizaines de kg en juillet 1945 ...

Los Alamos

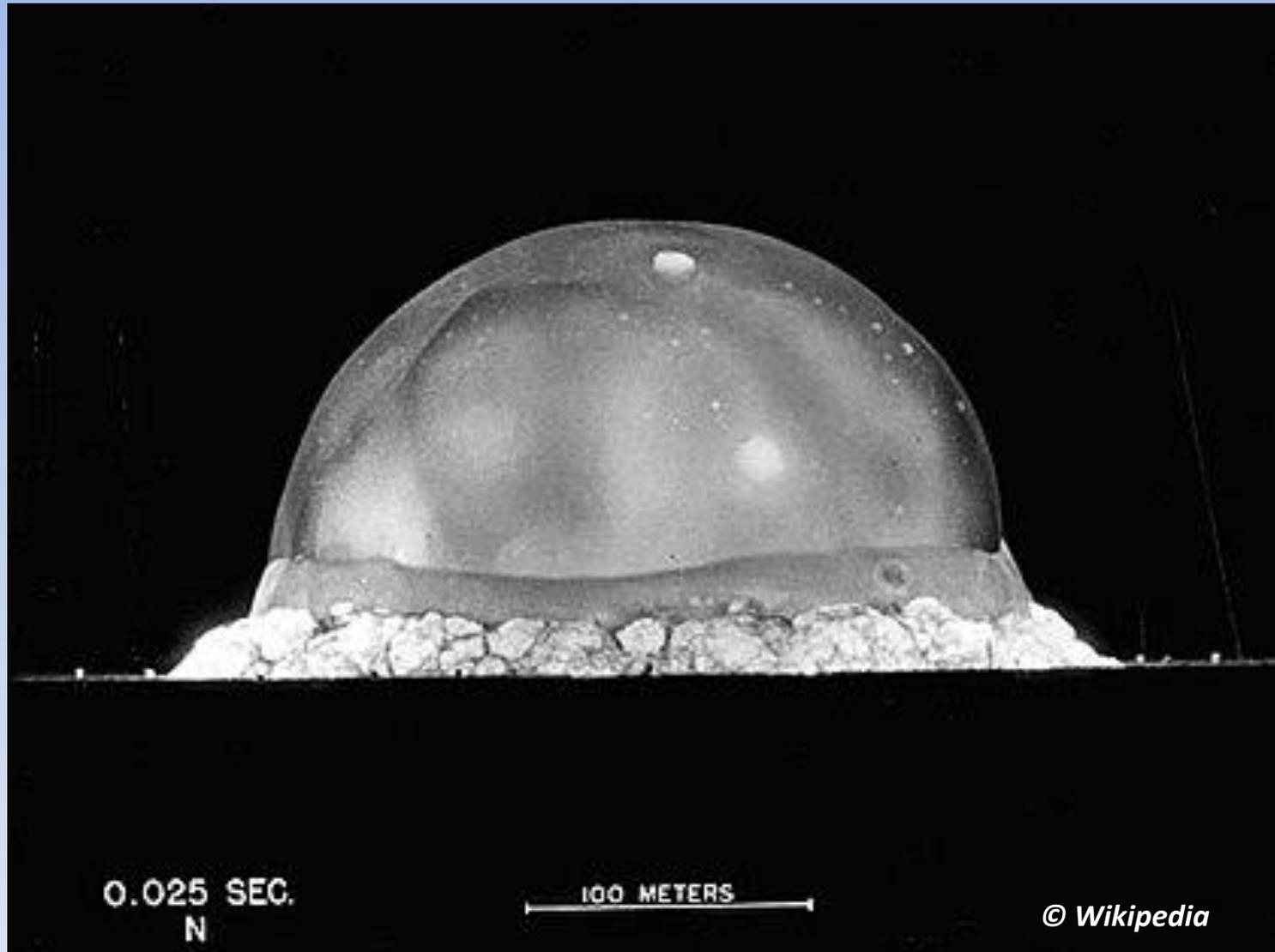


© Wikipedia

Vers un seul essai: bombe au Pu (pas assez d'U enrichi)

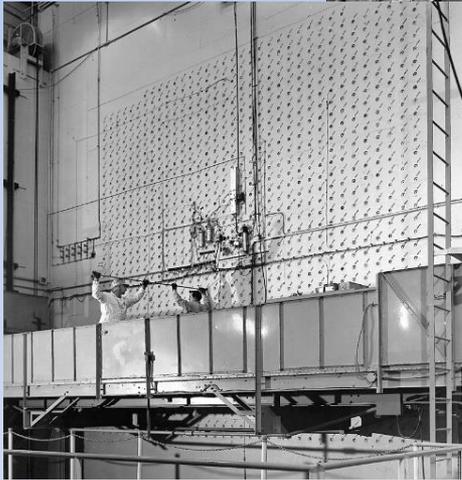
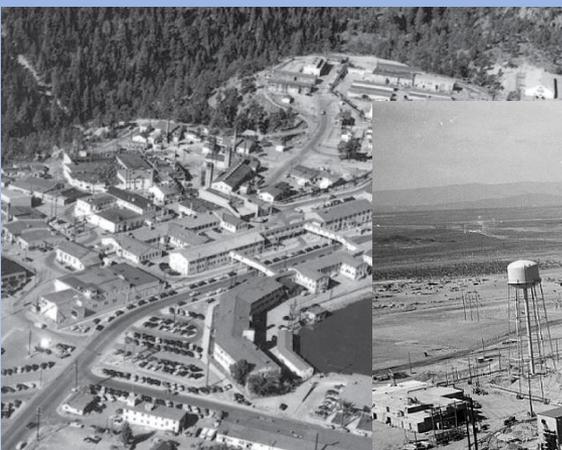


Essai « Trinity » (Pu) 16 juillet 1945



→ Hiroshima (U) le 6 août + Nagasaki (Pu) le 9 août





Question: en démarrant en 1942, un programme nucléaire allemand aurait-il pu arriver à la bombe avant l'aboutissement du projet Manhattan ??

Clairement NON !

Les plus brillants physiciens allemands ont-ils contribué volontairement à cet échec ou ont-ils été le jouet des circonstances ?

Werner Heisenberg (1901-1976)



- Un des fondateurs de la Mécanique Quantique (à 25 ans!)
Professeur à Leipzig à 26 ans, *Prix Nobel 1932* (31 ans)
- Mal vu des nazis: Défenseur de la « Science Juive »
(Relativité) 1934... *action soulignée par le New York Times*
- 1937: Accusé par Stark dans le « *Journal de la SS* »: « Juif blanc, sa place est dans un camp.. » « Le type même de l'universitaire apolitique » (*Journal des enseignants Nazis*). WH Réagit vivement...

Été 1939: séjour aux USA, refuse de s'exiler. Très soucieux de préserver l'avenir de la physique allemande, pendant la guerre à venir et après la guerre..
Education très classique, conservateur nationaliste, mais pas du tout nazi.
Il fréquentera (1942-1944) un cercle intellectuel « sélect » qui comprend de vrais anti-nazis...
Mais ...persuadé, au moins jusqu'à fin 1941, que l'Allemagne va gagner la guerre.
« Il ne souhaite pas que le régime de Hitler gagne la guerre... mais il peut difficilement souhaiter la défaite de son pays ».

La rencontre Bohr-Heisenberg dans Copenhague occupée, en septembre 1941



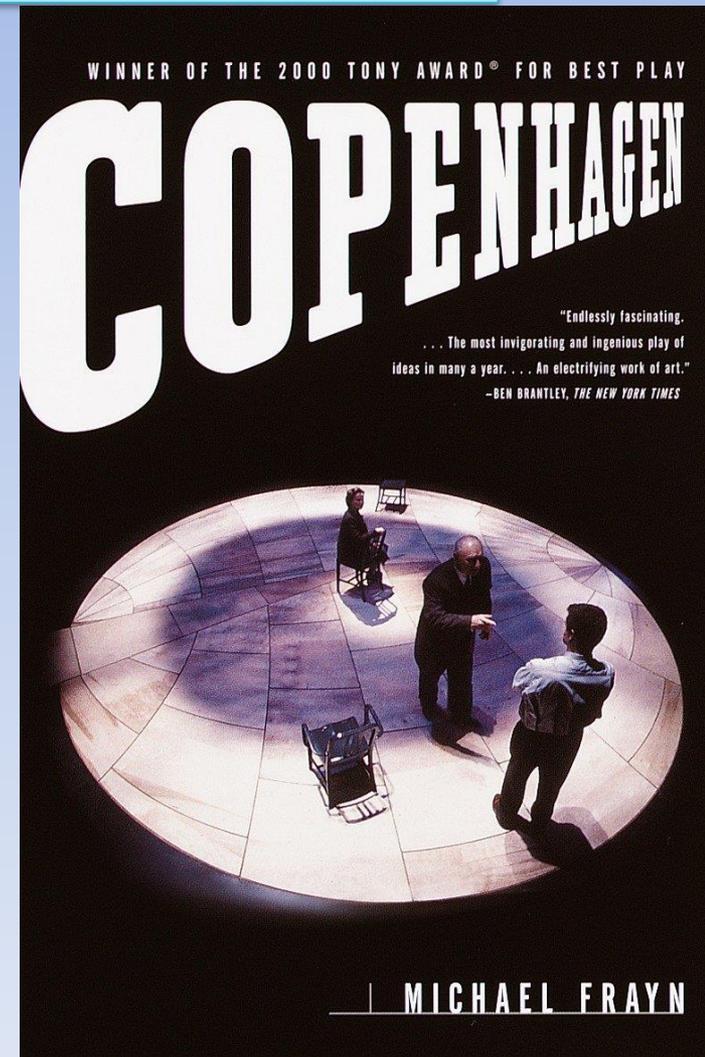
© Lindau Nobel laureate meeting

Niels Bohr, une autorité morale, le
« père spirituel d'Heisenberg »

Pourquoi cette visite ?

Transmettre un « deal » aux alliés ??: les physiciens allemands ont le contrôle du programme, ils ne feront pas la bombe. Corolaire « ne la faites pas! » ... le message n'aurait pas été compris...

Un beau scénario ... mais c'est une légende...



Témoignages + brouillons de Lettres de Bohr à Heisenberg (vers 1960) → 2002 !

Un dialogue difficile:

Heisenberg:

- ➔ « L'Allemagne va très certainement gagner la guerre ... (septembre 1941 !)
- ➔ « Les physiciens danois doivent s'adapter à cette situation »

Le programme nucléaire allemand évoqué à mots couverts ??

Heisenberg dit : « Je maîtrise le sujet » ...

Bohr interrompt la discussion ...

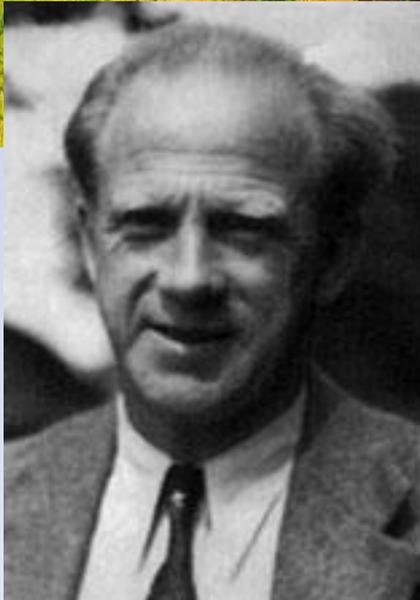
- ➔ A Los Alamos fin 1943, Bohr dira à Oppenheimer que Heisenberg aurait évoqué ... un réacteur ? ... la possibilité d'un explosif nucléaire ??...
En insistant sur les difficultés de la tâche ??...

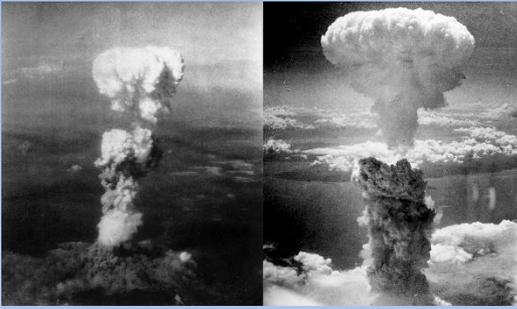
Les deux versions (Bohr et Heisenberg) restent divergentes ...

- ➔ Après la guerre Heisenberg est resté assez ambigu à propos de cette visite mais il ne s'est jamais présenté comme un héros désireux de transmettre des informations aux alliés ... ni comme un traître à son pays ...

« Farm Hall » Opération « Epsilon » (juillet 1945 – janvier 1946)

- ➔ *Ecoutes permanentes*
- ➔ *1992 « Farm Hall Transcripts »*





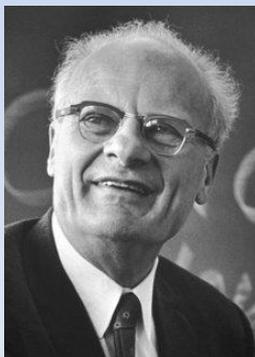
6 Août 1945: Hiroshima



- Une totale surprise ... Comment est-ce possible ???
- Fission par neutrons rapides ! Premier calcul par Heisenberg de la masse critique d' U^{235} ... une tonne ??...
- Heisenberg passe une semaine à faire un calcul plus sérieux de diffusion des neutrons rapides dans le matériau (cf. Peierls-Frisch en 1940), il trouve une dizaine de kg, OK !



Hans Bethe (1906-2005)



« Si un physicien du calibre d'Heisenberg a trouvé la valeur de la masse critique après une semaine de calcul en août 1945, c'est bien que dans les 3-4 ans précédents, il n'a jamais passé même une semaine à s'intéresser au problème ...

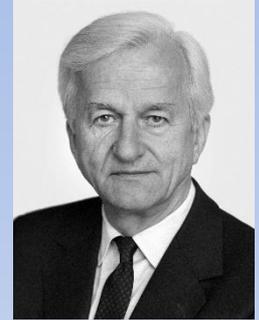
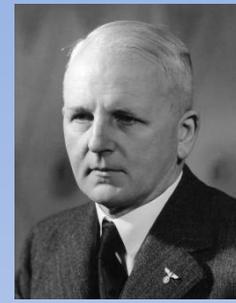
« Physics Today » - juillet 2000

Une « version diplomatique » un peu trop commode ...



Carl Friedrich
Von Weizsäcker

- Fils de Ernst Von Weizsäcker
adjoint de Ribbentrop
- Frère de Richard Von Weizsäcker
→ *Président de la RFA*
(1984-1994)



Proche du pouvoir nazi ?

Joliot (ALSOS 1944) : « C.F. Von Weizsäcker est un anti-nazi »

« Les physiciens allemands ont voulu concevoir un réacteur (à des fins pacifiques) et pas des bombes, alors que les alliés ont construit et utilisé des bombes. Au fond, ils se seraient comportés de façon morale sous un régime immoral alors que les alliés se sont comportés de façon immorale sous un régime démocratique censé obéir à des principes moraux ».

Position pas acceptée par tous (Von Laue..) et très critiquée par la suite ...

Conclusion: il reste des zones d'ombre...

- Un manque de zèle des meilleurs physiciens nucléaires allemands ?
(à l'opposé du zèle efficace des ingénieurs concepteurs des fusées V1 et V2)
- Ont-ils caché des éléments importants aux autorités en juin 1942 (Pu ?)
- Etaient ils tout simplement convaincus de l'impossibilité d'aboutir à court terme?

Ont-ils fait des choix dictés par des considérations morales ?

→ Heisenberg et C.F. Von Weizsäcker (*interviews après la guerre*):

« *Les circonstances ont fait que nous n'avons pas eu à nous poser la question...* »

L'histoire aurait-elle pu prendre une autre direction ??

Munich: septembre 1938 – Fission de l'Uranium: décembre 1938 ...Uranverein

Si Hitler avait fait une pose de 3 ou 4 ans avant de déclencher la guerre ???

*Si un programme ambitieux avait été lancé dès 1939 ... → « Course à la bombe »
... et Si les physiciens allemands avaient participé avec zèle ...*

Historiens et journalistes:

Robert Jungk : “Brighter than a thousand sun “, (1956) Traduit sous « Plus clair que Mille soleils » (Arthaud, 1958)

Thomas Powers, « Le mystère Heisenberg », Albin Michel (1993)

Mark Walker: “Nazi science, Myth, Truth and the German atomic bomb”. Cambridge MA, (1995)

David Cassidy “Uncertainty, the life and science of Werner Heisenberg”, Freeman, NY, (1992)

Jeremy Bernstein (collectif), “Hitler's Uranium Club: The Secret Recordings at Farm Hall” Springer Verlag (2001)

P.L. Rose “Heisenberg and the Nazi atomic bomb project”, UCLA press Berkeley (1998)

Michael Frayn, « Copenhague » (pièce de théâtre), Actes Sud (1999)

Physiciens:

W. Heisenberg, « Der Teil und das Ganze » (1969), traduit sous « La partie et le tout », Albin Michel (1973) & collection « Champs – Science »

Hans A. Bethe: “The German Uranium Project”, Physics Today **53**, 7, 34 (2000)

Manfred Popp : « Pourquoi les nazis n'ont pas eu la bombe », POUR LA SCIENCE N° 471, 21 décembre 2016,

Armand A. Lucas : « Uranverein, Alsos et Epsilon », in Bulletin de la classe des sciences, tome 11, P 335 (2000) <https://doi.org/10.3406/barb.2000.28126> & « Revisiting Farm Hall », Europhysics News, 38/4 (2007) et 39/2 (2008)

Ivan Todorov: « Heisenberg » <https://arxiv.org/physics/0503235>