

## NUCLEAIRE - XXV

# LE PROJET MANHATTAN

Robert Six

## I. IMPLICATION DE L'INDUSTRIE AMERICAIN DANS LE PROJET MANHATTAN

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que pour arriver à concevoir une arme nucléaire, trois phases importantes avaient été établies. La première, l'assurance théorique d'une réaction en chaîne, et la deuxième, la réalisation de cette réaction, avaient été franchies.

Le succès de la pile de FERMÍ qui diverge le 2 décembre 1942, convainc le président ROOSEVELT de débloquer 400 millions de dollars pour l'obtention industrielle des matières fissiles.

Deux projets parallèles sont entrepris : le premier conduit à une bombe à l'uranium tandis que le second produit deux bombes au plutonium.

Pour obtenir les matériaux nécessaires, cinq filières de production sont envisagées : les trois techniques d'enrichissement de l' $^{235}\text{U}$ , développées dans le chapitre précédent, et la production de  $^{239}\text{Pu}$  selon deux types de réacteur.

A la fin de 1942 et au début de 1943, le général GROVES signe des contrats avec diverses firmes industrielles américaines pour l'implantation d'usines de production.

Ainsi, la production du plutonium est confiée à la firme *DuPont de Nemours* avec laquelle, le général GROVES signe un contrat le 21 décembre 1942. C'est avec réticence que celle-ci s'engage dans ce projet, arguant qu'elle n'a aucune expérience en physique nucléaire et en connaissance du plutonium. Cependant, GROVES insiste, affirmant, se basant sur le passé de DuPont, que seule la grande firme chimique est capable de concevoir, de construire et de piloter une usine de production du plutonium. DuPont accepte à condition de ne tirer aucun profit de l'opération, mais d'être remboursé de ses frais et de recevoir un dollar symbolique par an. La firme tient à se parer à toute critique future, se rappelant une commission d'enquête sur ses énormes profits accumulés lors de la Première Guerre mondiale.

L'entrée de DuPont dans le projet provoque "une quasi rébellion", comme le rappelle Arthur COMPTON dans ses mémoires. Ses collègues estiment être capables de mener à bien les tâches confiées à l'industriel, qui représente à leurs yeux le *big business* sans scrupule, âpre au gain.

« Ils pensaient qu'on était là pour les exploiter et faire de l'argent avec l'énergie atomique » raconte Crawford GREENEWALT, ingénieur à l'époque chez DuPont.

DuPont s'organise en conséquence. Grâce à une structure décentralisée et multidivisionnelle, la firme peut créer une nouvelle division, du nom de code TNX, autonome et dotée de son organisation propre. Celle-ci est répartie en deux sous-divisions : une division technique et une division fabrication. Deux grandes tâches lui sont assignées :

- d'une part la construction d'une usine-pilote destinée à tester les procédés ;
- d'autre part la construction de l'usine de production de plutonium.

La division technique, comptant une demi-douzaine d'ingénieurs, parfois un peu plus, sert de liaison entre les physiciens de l'université de Chicago et les ingénieurs de la division fabrication. Elle est chargée de traduire en langage d'ingénieur les équations des physiciens. Elle est sous la direction du jeune ingénieur chimiste C. GREENEWALT, qui passe une grande partie de son temps à Chicago.

La division fabrication est en charge de la conception et de la construction des équipements (usine, réacteurs, etc.). Elle travaille en liaison étroite avec la division technique et le département d'ingénierie qui a pour fonction principale le recrutement et la formation du personnel.

Le 1<sup>er</sup> février 1943, TNX compte 44 employés ; ils sont 90 le 1<sup>er</sup> mars, 200 à la fin de l'année. Il faut y ajouter quelques centaines d'employés du département d'ingénierie, directement affectés au projet Manhattan. En outre, 392 employés de DuPont sont prêtés à l'université de Chicago et son « Metallurgical Laboratory ».

Entre temps, FERMI et son équipe construisent un deuxième réacteur dans le laboratoire d'Argonne enfin terminé. Celui-ci a une puissance d'environ 110 kW, soit 200.000 fois plus puissante que la pile CP-1. Il servira d'installation pilote pour la firme DuPont de Nemours. Cet équipement permet également à FERMI de renouer avec la recherche fondamentale sans intérêt militaire direct, comme la physique du solide.

Dès le début de leur partenariat, la répartition du travail entre ingénieurs de DuPont et physiciens de Chicago se pose sur le mode conflictuel. Le premier différend porte sur le choix du site de l'usine-pilote. FERMI désire conserver sa pile CP-1 à Chicago et garder le réacteur pilote à Argonne. Les arguments des ingénieurs font prévaloir, avec raison, d'une part le danger d'un réacteur nucléaire sur un campus universitaire et d'autre part l'exiguïté du laboratoire d'Argonne pour une usine-pilote. Finalement, un compromis est trouvé : CP-1 est déménagé à Argonne et l'usine-pilote sera installée à Oak Ridge dans le Tennessee.

## II. L'ENTREE EN SCENE DE ROBERT OPPENHEIMER

Précédemment, nous avons vu que Robert OPPENHEIMER avait organisé un séminaire d'été à Berkeley pour faire le point sur la diffusion des neutrons et que c'est lors de celui-ci que les bases de conception d'une arme nucléaire avaient été établies. A cette époque, Arthur

COMPTON lui avait demandé de l'aider à organiser le secteur de sa compétence au sein du projet Manhattan.

*« On me demanda de me charger, peut-être de façon passagère, raconte OPPENHEIMER, de la partie du projet relative à la fabrication d'armes atomiques, de tout ce qui se rapportait aux études, au développement théorique aussi bien qu'aux possibilités pratiques des armes mêmes. Ce devait être le champ d'activité du « Metallurgical Laboratory » de Chicago alors sous la direction de COMPTON. De toute évidence, c'était une tâche de la plus grande importance du point de vue théorique ; mais pratiquement elle n'avait pas d'issue tant qu'on n'aurait pas la certitude de l'existence des matières premières. En 1942, au début de l'année, on avait déjà procédé à de nombreuses études expérimentales, non exclusivement théoriques d'ailleurs, sur les propriétés des matériaux utiles comme l'uranium 235, l'uranium 238 et d'autres. Le plutonium faisait grandement défaut et l'on cherchait à résoudre des problèmes élémentaires. Par exemple, était-il possible de fabriquer une bombe, combien de matériaux faudrait-il pour la rendre efficace, etc. ? Les laboratoires qui s'occupaient de ces travaux se montaient à une douzaine, disséminés à travers le pays, et une partie s'effectuait même en Angleterre. Tout cela était acceptable dans une situation politique normale, quand on travaille en plein jour et que les résultats obtenus peuvent être communiqués, discutés. Mais nous n'en étions plus là ; pour des raisons évidentes, il fallait mener nos travaux dans le plus grand secret. C'est pourquoi, considérant que la liaison entre nous ne correspondait en rien aux nécessités, j'arrivai à la conclusion que nous ne résoudrions jamais les problèmes qu'on nous posait et que nous ne nous mettrions jamais d'accord tant qu'on ne créerait pas un centre universitaire. »*

*« Au cours de l'été 1942, une équipe composée de BETHE, TELLER, VAN VLECK, SERBER et KONOPINSKI, réunie à Berkeley, étudia le problème des bombes atomiques. Il me semble plutôt sinistre à présent de songer que nous passions une grande partie de notre temps sur un modèle d'arme à fusion nucléaire qui n'avait absolument rien de réaliste. Cela se passait à la fin de l'été et au début de l'automne 1942. »*

« J'eus l'impression que le moment était venu de dresser un plan. Les avantages qui dériveraient des communications sans restriction entre nos chercheurs compenseraient largement les difficultés qui naissent du manque de communication avec le reste du monde. J'exposai donc mon idée au nouveau chef de l'entreprise, le général GROVES, pendant sa visite à Berkeley au début de l'automne de 1942, et qui sait combien de fois je lui en parlai. A partir de cette date, nous n'eûmes d'autre idée que de réaliser ce projet. »



Fig. 166 – Le général Leslie GROVES et Robert OPPENHEIMER

En fait qui est **Julius Robert OPPENHEIMER** ?

Né en le 22 avril 1904, à New York, il est le fils d'un immigrant juif-allemand, **Julius OPPENHEIMER**, qui fit sa fortune dans l'import-export du textile. Le père, très actif dans diverses affaires communautaires, s'intéressait aussi à l'art et à la musique. Il avait une belle collection dont trois **Van Gogh**. Sa mère, **Ella FREEDMAN**, originaire de Baltimore, était artiste peintre et avait suivi des cours à Paris. Son jeune frère, **Frank**, fut également physicien. Il occupa le poste de professeur de Physique expérimentale à l'Université du Colorado à Boulder. Le jeune **Robert** était très doué : à 10 ans, il lisait **Virgile, Jules César, Platon** et **Homère** dans le texte. Pendant ses études à l'Université de Harvard, il excelle en latin, en grec, en physique, en chimie, en poésie ainsi qu'en philosophie orientale. Il apprend neuf langues dont le chinois et le sanscrit.

Après des études de chimie à Harvard, **OPPENHEIMER** oriente ses recherches vers la **physique subatomique** à Cambridge sous la direction de **RUTHERFORD**. Il obtient en 1927 un doctorat de physique théorique à Göttingen où il rencontre **DIRAC** et **BOHR**. Il revient aux Etats-Unis en 1929 pour enseigner à Berkeley et au *Cal. Tech*.

A cette époque, il s'intéresse à de nombreux domaines de la physique tels que les **rayonnements cosmiques**, la **mécanique quantique**, les **particules élémentaires** et l'**astrophysique**. En collaboration avec **VOLKOV**, il démontre que sous certaines conditions une étoile peut se contracter, créant des "étoiles neutrons".

En 1942, notre physicien a 38 ans. Il est professeur à l'Institut de technologie de Pasadena, en Californie, et à l'Université Berkeley de Californie. Très apprécié de ses élèves,

il a publié de nombreux travaux, mais n'a apporté aucune contribution exceptionnelle à la physique.

Homme très réservé, il vit en marge de la société.

*« Mes amis aussi bien à Pasadena qu'à Berkeley étaient des professeurs d'universités, des hommes de science ou de lettres, des artistes. L'économie ne m'intéressait pas plus que la politique. Je ne lisais jamais une ligne sur ces sujets. Un divorce absolu me séparait des événements contemporains du pays, je ne lisais pas un journal, pas une revue du genre « Time » ou « Harper's » ; je n'avais ni radio ni téléphone et je n'appris le crack de la Bourse que beaucoup plus tard. Mon indifférence à l'égard de ce qui est quotidien me donnait une allure bizarre aux yeux de beaucoup de mes amis. Ils me reprochaient souvent d'être trop méprisant ou trop orgueilleux » (Time, 19 avril 1954).*

Cependant, la **montée du nazisme** déclenche son **premier intérêt pour la politique**. En 1936 il prend position et se met du côté de la république pendant la guerre civile en Espagne, et rencontre des étudiants communistes. Malgré la fortune qui lui laisse son père, mort en 1937, **Robert** refuse de subventionner des organisations antifascistes. L'attitude de **STALINE** vis-à-vis de ses scientifiques l'amène à **se distancer du Parti communiste**. En fait, il ne l'a jamais rejoint.

Son passé politique lui sera néfaste, car il sera toujours soupçonné de collusion avec l'ennemi soviétique.

Dans ces conditions, pourquoi avoir choisi **OPPENHEIMER** pour diriger la partie scientifique du **projet Manhattan** ?

Le **général GROVES** rencontre **OPPENHEIMER** à Berkeley le 8 octobre 1942. Les deux hommes se revoient peu après à Washington pour discuter des délais exigés pour la fabrication de la bombe. **GROVES** cherche quelqu'un qu'il puisse mettre à la tête du **laboratoire secret de Los Alamos**. Il observe le savant et se renseigne.

*« Pas un de ceux à qui je m'ouvris de cette affaire, raconte **GROVES**, ne montra un grand enthousiasme pour mon choix éventuel d'**OPPENHEIMER** comme directeur du projet » **Leslie R. GROVES** : Now It can be told.*

Malgré cette opinion, **GROVES** pense qu'**OPPENHEIMER** est le plus qualifié. Il réunit les qualités suivantes : nationalité américaine, connaissance en physique nucléaire, reconnaissance de la part des scientifiques et aptitude à les diriger.

« Cependant, OPPENHEIMER présentait deux inconvénients, précise le général, il n'avait aucune expérience de l'administration quel qu'en soit le genre et il n'était pas Prix Nobel. Il ne jouissait donc pas d'un grand prestige auprès de ses confrères que j'aurais aimé agréger au projet. Les chefs de nos laboratoires les plus importants, LAWRENCE à Berkeley, UREY à Columbia et COMPTON à Chicago étaient tous lauréats du prix Nobel, et COMPTON avait sous sa direction plusieurs autres lauréats » **Leslie R. GROVES** : op. cit.

**GROVES** n'eut jamais de doute quant aux qualités d'**OPPENHEIMER**. Pour lui c'était l'homme qui convenait et qui était capable de mener à bien dans des temps record le projet à son terme. C'était le Comité de la Sécurité militaire qui émettait des doutes sur l'intégrité morale du savant. Son passé politique ne plaidait pas en sa faveur. N'ayant pas d'autre candidat, **GROVES** demanda une contre-proposition. Manœuvre habile de sa part, car le Comité ne put qu'approuver son choix, ce qui lui sera reproché plus tard. Durant la période pénible du **maccartisme**, dans les années 1950, **OPPENHEIMER** comparaitra devant une Commission en 1954, pour répondre de l'accusation « d'attentats contre la sûreté de l'Etat ». Mais ceci est une autre histoire.

### III. CENTRES MILITARISES DE RECHERCHES X, W, Y

La décision est prise d'organiser trois grands centres de recherches et de production militarisés sous les désignations de X, W et Y.

#### A. X - OAK RIDGE, enrichissement de l'uranium

A l'automne 1942, le *Manhattan District* achète un terrain de 24.000 hectares dans la vallée du Tennessee, le long du Clinch un de ses affluents, à une trentaine de kilomètres de Knoxville et une douzaine de kilomètres au sud de la petite ville de Clinton.

« Cet endroit, choisi par le Colonel James C. MARSHALL et le Colonel Kenneth D. NICHOLS en juin, plut beaucoup à GROVES. Il correspondait à toutes les conditions nécessaires aux futures usines atomiques : situation isolée avec de l'énergie électrique, de l'eau en abondance, une population presque inexistante, un accès facile par la route et le rail, un climat très doux permettant de travailler au dehors toute l'année » c.f, *Manhattan Project*, **Stéphane GROUEFF**. Ce livre est traduit en français sous le nom de *Dossier secret, la bombe atomique*, par **R. JOUAN**.

Très rapidement, dans cette zone peu peuplée, où toutefois un millier de familles sont expropriées, les premiers bâtiments d'une ville, **Oak Ridge**, sortent de terre, ainsi qu'un ensemble industriel destiné à l'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse, et par séparation magnétique (fig. 167). Au printemps 1945, environ 60 kg d'uranium enrichi à

90% sont livrés par les ateliers *Clinton Engineering Works*. La ville compte plus de 75.000 habitants à la fin de la guerre.

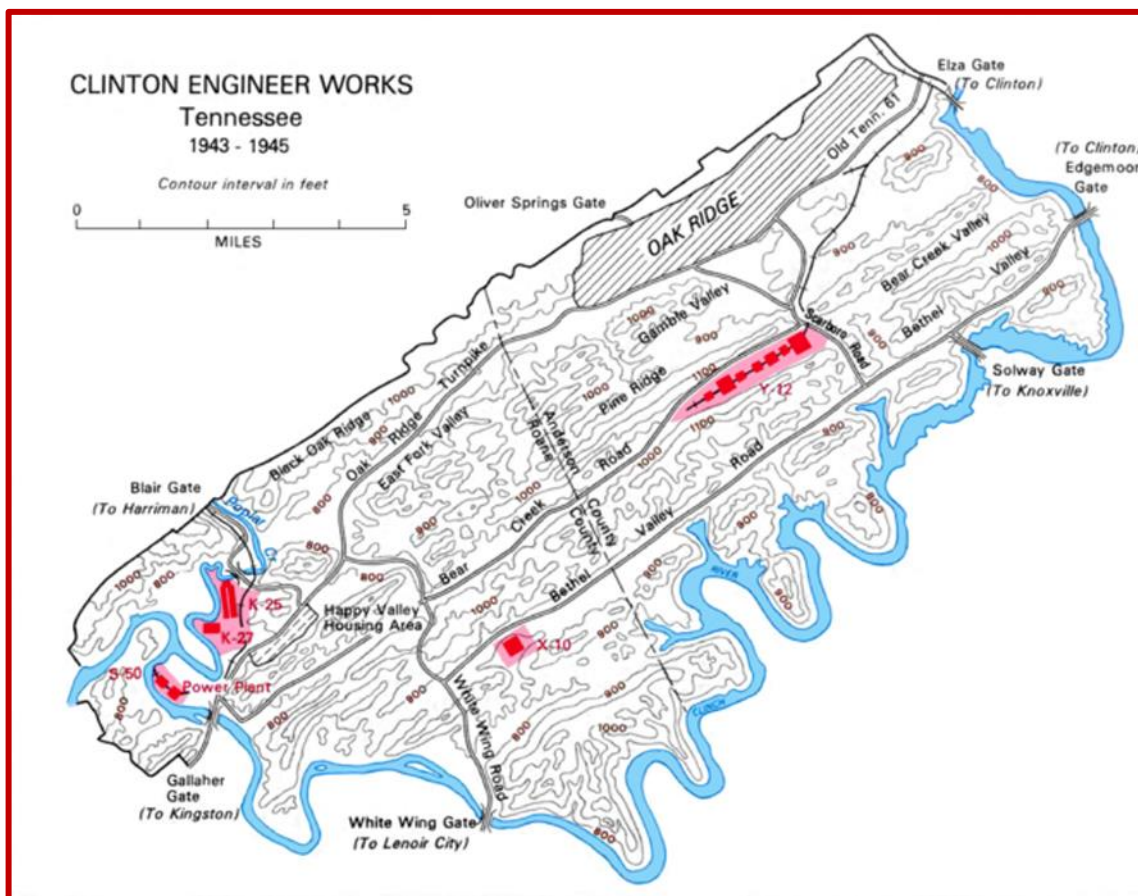


Fig. 167 – Plan d’implantation du site d’Oak Ridge

Les zones en rouge représentent les installations destinées à la fabrication de L’uranium enrichi. L’usine Y-12 effectuant la séparation électromagnétique se trouve en haut à droite. Les installations K25 et K27 de diffusion gazeuse se trouvent à gauche près de l’usine S-50 de diffusion thermique. Le réacteur X-10, au centre de l’image, produit le plutonium.

## 1. L’usine Y-12, séparation électromagnétique

La construction de l’usine Y-12, destinée à produire de l’uranium selon la filière de la séparation électromagnétique, débute en février 1943, à Oak Ridge. Son promoteur est Ernest O. LAWRENCE de l’université de Berkeley, l’inventeur du cyclotron. Les deux ingénieurs militaires, James MARSHALL et Kenneth NICHOLS, en charge du projet, se rencontrent très vite que la production du champ électromagnétique nécessaire demandera un grand nombre d’électroaimants. En effet, en estimant la production à 100 mg d’ $^{235}\text{U}$  par jour et par calutron, il faut plus de 1.000 enceintes pour obtenir les 50 Kg requis pour une bombe. Or le cuivre utilisé dans ce genre d’équipement est réservé en priorité à la fabrication des douilles d’obus. Aussi, les deux techniciens ont l’idée de remplacer le cuivre par de l’argent : le programme Silver est mis en œuvre. Le Congrès a donné son aval pour l’utilisation de 78.000 tonnes d’argent du Ministère des Finances à des fins militaires. Le 3 août 1942, NICHOLS rencontre le sous-secrétaire d’Etat aux finances pour se renseigner

sur la possibilité d'emprunter 5.000 tonnes d'argent au Trésor américain. En fait, il leur en faudra 13.000 tonnes, à rendre après la guerre au Département du Trésor.

La compagnie *Tennessee Eastman*, du consortium *Kodak*, est chargée de sa mise en œuvre. GROVES autorise, en début 1943, la construction de cinq unités d'enrichissement *Alpha-I* avec chacune 96 enceintes empilées en configurations ovales, les « pistes de course » (fig. 108), puis à l'automne 1943, le montage de quatre « pistes de course » *Alpha-II*, rectangulaires cette fois, contenant également 96 calutrons chacune. La production de toutes ces unités n'est que de 15%. Aussi, GROVES approuve-t-il la construction de huit unités plus petites, *Bêta*, destinées à enrichir l'uranium sorti des unités *Alpha* afin d'obtenir un rendement de 90%. En final, l'ensemble de ces différentes entités comporte 1.152 calutrons.

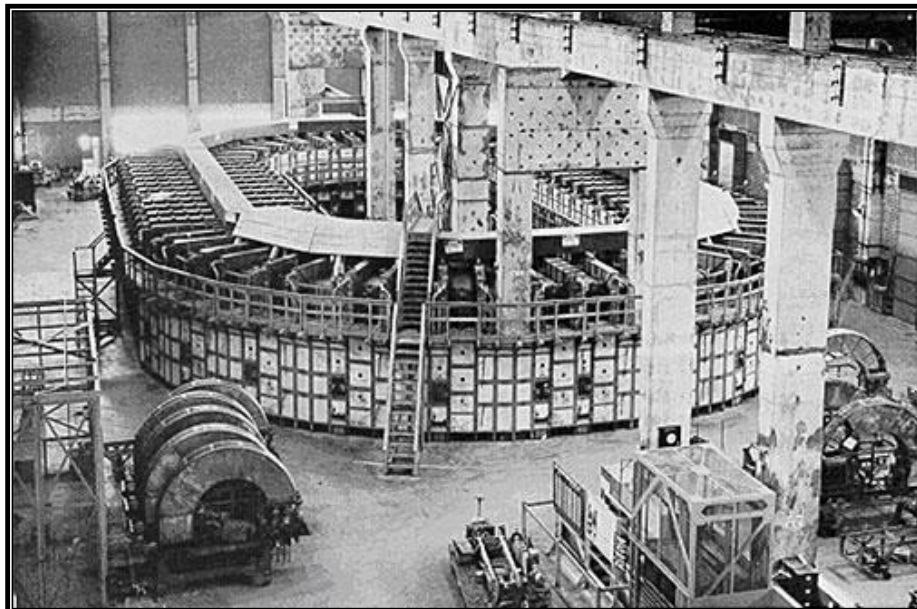


Fig. 168 - L'usine de séparation électromagnétique Y-12, construite à Oak Ridge (L.A. Lab./Arch. B. CROCHET)

Les électroaimants de ces séparateurs électromagnétiques, d'un poids de près de 10.000 tonnes, mesurent plus de huit mètres de long. Les bobines en argent qui les équipent possèdent 30 enroulements et sont alimentées par un courant de 30.000 ampères pour fournir le champ requis. A plein rendement, durant l'été 1945, le site consommera l'équivalent de 1% de toute l'électricité produite aux Etats-Unis.

La filière par laquelle sont passé les 400.000 lingots d'argent d'environ 31,1 Kg et titrés à 0,999, depuis leur retrait de la réserve de West Point (Etat de New York) jusqu'à l'usine d'Oak Ridge, est fort complexe. La première étape consiste à les transformer par fusion en 75.009 billettes dans l'usine *U.S. Metas Refining Company* à Carteret (New Jersey). Ensuite, les 12.700 tonnes que constituent ces billettes sont extrudées chez *Phelps-Dodge Copper Products Company*, à Bayway (New Jersey), pour fournir 74.668 bobines. De là, elles passent chez *Allis-Chalmers Manufacturing Company*, à Milwaukee (Wisconsin) pour être transformées en 940 bobines électromagnétiques et 122 tonnes de barres omnibus (barres transportant le courant), avant d'être livrées aux installations Y-12 de Oak Ridge.



Afin de surmonter les nombreuses difficultés, **LAWRENCE**, à la mi 1943, insiste pour que l'équipe britannique de **Markus OLIPHANT**, spécialisée dans ce domaine, le rejoigne. Au début de 1944, il obtient satisfaction et 35 experts, dont **OLIPHANT** le secondent.

Les nombreux problèmes de mise au point surmontés, l'usine entre en service en janvier 1944 et tourne nuit et jour. Les résultats sont décevants : près de 90% de l'uranium se déposent sur les parois et seuls 10% sont récupérés à la sortie. Tous les quatre à cinq jours, les installations sont démontées et nettoyées pour récupérer la matière qui s'est littéralement incrustée dans l'acier des parois sous l'effet du champ magnétique très puissant. Une solution est trouvée qui consiste à tapisser l'intérieur des **calutrons** de plaques de cuivre qui sont ensuite dissoute dans un acide pour récupérer l'uranium. A la sortie des **équipements Alpha**, l'uranium enrichi ne dépasse pas 13 à 15% d'<sup>235</sup>U. Lavée « chimiquement », la poudre est introduite dans les batteries des **machines Beta** où, là aussi 90% d'uranium s'accrochent aux parois.

## 2. L'usine K-25, diffusion gazeuse

La construction du complexe de production d'uranium enrichi par **diffusion gazeuse** débute en septembre 1943 également à **Oak Ridge**. La méthode a été décrite dans le chapitre précédent. La mise en œuvre de cet ensemble gigantesque est confiée à la *Carbide and Carbon Chemicals Company*. L'installation comporte 3.000 étages en série, plusieurs milliers de compresseurs qui tournent à sec à grande vitesse, 40.000 appareils de contrôle pour détecter les fuites d'hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>), gaz très corrosif. Le bâtiment qui abrite les installations, mesure près de 750 mètres de long, 120 mètres de large et 20 mètres de haut. L'ensemble consomme plus de 200.000 kW.

Une centaine d'ingénieurs travaille pendant près d'un an pour surmonter toutes les difficultés rencontrées et l'usine démarre en février 1945. L'uranium enrichi n'est que de 1,1% ce qui est nettement insuffisant, aussi l'uranium produit par **K-25** est retraité dans l'**usine Y-12** afin d'améliorer le taux d'<sup>235</sup>U.

## 3. L'usine S-50, diffusion thermique

A la fin de 1944, une troisième filière d'enrichissement est montée à **Oak Ridge**. Il s'agit d'une méthode développée par l'US Navy dans le cadre de recherches sur la propulsion nucléaire basée sur la **séparation des deux isotopes de l'uranium par diffusion thermique**.

Cette technique consiste à maintenir un gradient de température dans un gaz formé de deux sortes de molécules : il y a concentration de molécules lourdes dans la région froide et de molécules légères dans la zone chaude. On utilise généralement un tube vertical refroidi et un fil axial porté à haute température, de l'ordre de 500 à 600°C. Les molécules de gaz lourd se concentrent le long du tube, s'y refroidissent et descendent vers le bas, tandis que les molécules légères s'agglutinent le long du fil et montent.

L'**usine S-50 d'Oak Ridge**, dont la construction est confiée à la *Ferguson Company*, comporte plus de 2.000 colonnes de séparation, et entre en service en septembre

1944 (fig. 169). Malheureusement, la faible quantité produite n'est enrichie qu'à 1,4% et doit donc subir le même sort que la production de l'usine K-25

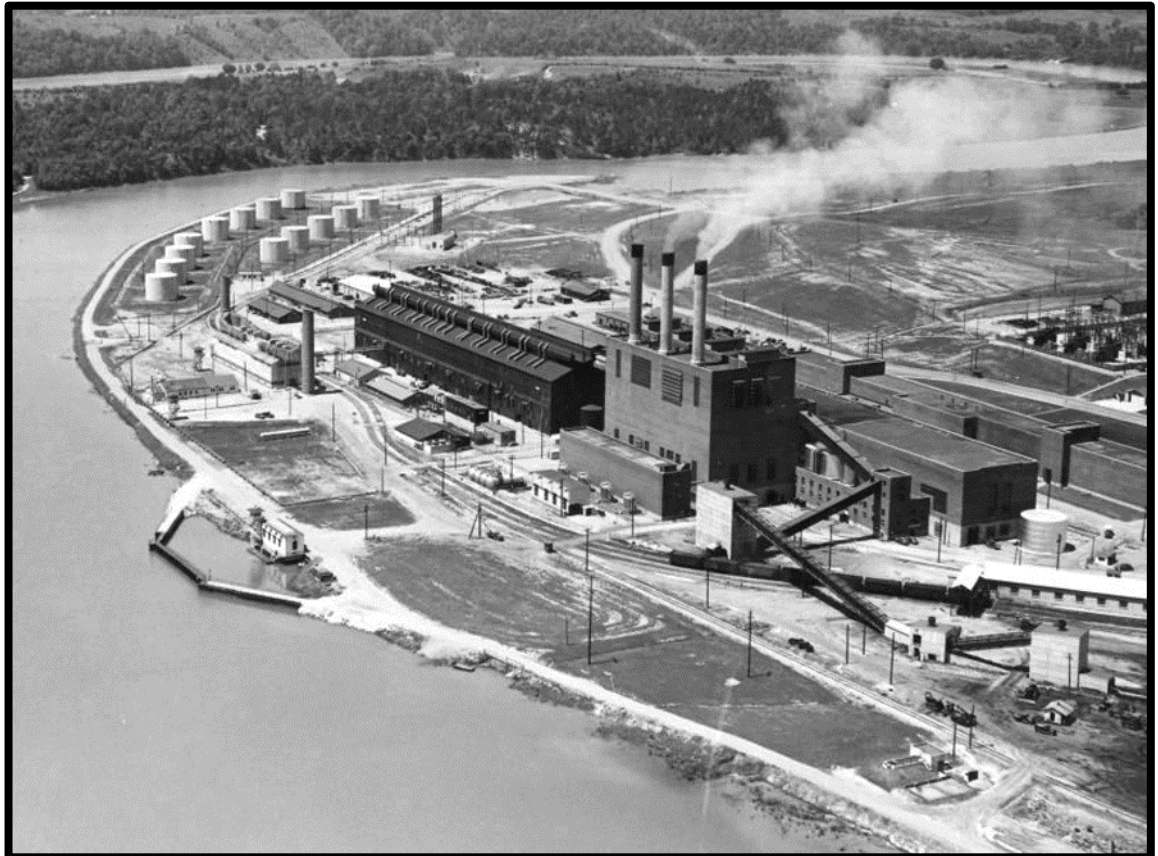


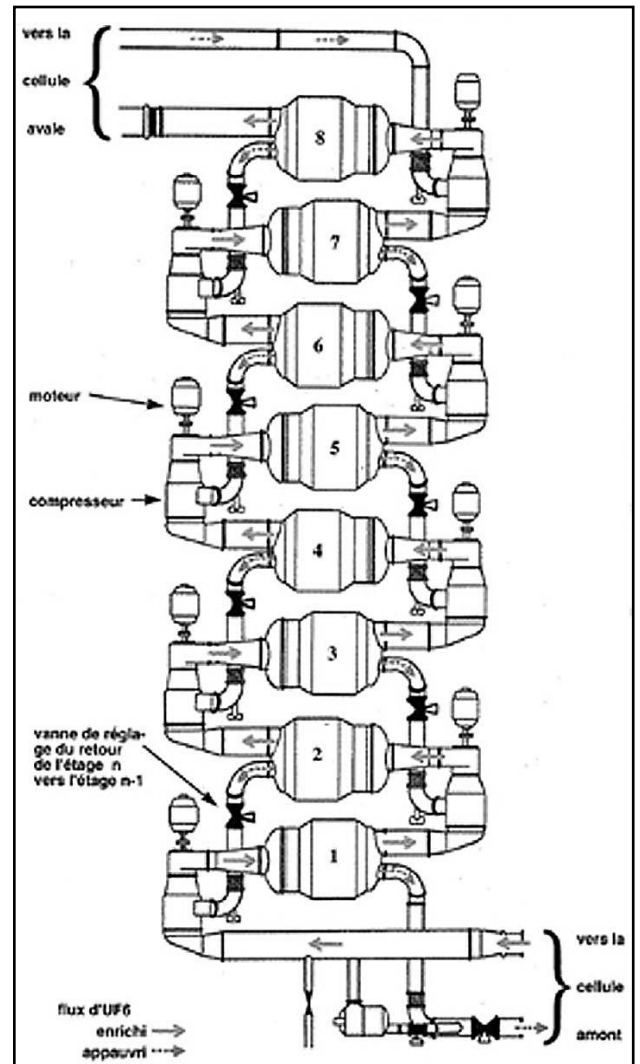
Fig. 169 – Implantation de l'usine S50 (bâtiment noir derrière la centrale thermique

### Unité de travail de séparation (UTS)

La capacité d'une usine d'enrichissement de l'uranium en  $^{235}\text{U}$  est formulée en **Unités de travail de séparation (UTS)**. Cette unité sert à mesurer le travail nécessaire à la séparation d'uranium en deux fractions de teneurs différentes, indépendamment du procédé utilisé. Le nombre d'UTS produites par an sert à caractériser la capacité d'une installation d'enrichissement de l'uranium.

Cette capacité dépend uniquement des débits et des teneurs (ou enrichissements) à l'entrée et à la sortie de l'installation. Elle a la dimension d'une masse et s'exprime en kilogrammes (KgUTC/an). Elle est en rapport direct avec la quantité d'énergie consommée par cette installation et s'exprime à l'aide du « potentiel isotopique » lié à la teneur isotopique du combustible en  $^{235}\text{U}$ .

**Fig. 170 – Cellule d'enrichissement par diffusion gazeuse.**  
**Pour progressivement s'enrichir en  $^{235}\text{U}$ , l'hexafluorure d'uranium ( $\text{UF}_6$ ) va franchir 3.000 étages en série. Dans l'usine K-25, une cellule d'enrichissement comporte 8 étages. Entre chaque étage, un compresseur presse le gaz au travers de l'étage suivant et une vanne permet de régler le retour du gaz appauvri d'un étage vers l'étage précédent.**



On définit le « **potentiel isotopique** »  $V(x)$  (où  $x$  représente la teneur en isotope fissile) comme étant tel que  $\Delta V$  est l'énergie nécessaire pour porter l'enrichissement d'une valeur initiale  $x$  à une valeur finale  $x + \Delta x$ .  $\Delta V$  ne dépend que de ces enrichissements. On peut voir l'UTS comme l'effort nécessaire pour parvenir à un niveau d'enrichissement donné. Plus on cherche à réduire la quantité de  $^{235}\text{U}$  du flux entrant qui aboutit dans l'uranium appauvri, plus il faut d'UTS pour parvenir au niveau d'enrichissement visé.

Les installations de production industrielle ont en général des capacités qui vont de **quelques centaines de milliers à plusieurs millions d'UTS (MUTS) par an**.

Outre les UTS, un autre paramètre important à prendre en compte est la **masse d'uranium naturel** nécessaire pour obtenir la **masse d'uranium enrichi** désirée. Comme pour le nombre d'UTS, la quantité de matière première nécessaire dépendra aussi du niveau d'enrichissement souhaité et de la quantité d' $^{235}\text{U}$  qui se retrouvera au final dans l'uranium appauvri. La quantité d'uranium naturel nécessaire diminuera parallèlement à la diminution des teneurs en  $^{235}\text{U}$  tolérées dans l'uranium appauvri à l'arrivée.

Pour produire un kilogramme d'uranium enrichi à 3%, il faut 6 Kg d'uranium naturel à 0,7% et 4 Kg UTS lorsque les 5 Kg appauvri restants sont rejetés à une teneur de 0,25% en  $^{235}\text{U}$ .

De même, pour obtenir un kilogramme d'uranium *hautement* enrichi (c'est-à-dire contenant 90% d' $^{235}\text{U}$ ), il faut plus de 193 UTS, et près de 219 kilogrammes d'uranium naturel si l'uranium appauvri contient 0,3 % d' $^{235}\text{U}$ .

#### 4. Le réacteur X-10

Nous avons vu que le deuxième réacteur, entrepris par **FERMI** et son équipe à Argonne, est déménagé à **Oak Ridge**. Celui-ci est destiné à obtenir suffisamment de **plutonium** pour permettre la mise au point des **procédés chimiques** de séparation du plutonium et de l'uranium, et de valider les caractéristiques d'un réacteur de production du  $^{239}\text{Pu}$ .

Les travaux d'installation du **réacteur X-10** commencent **le 22 février 1943** et progressent tout **au long de l'année 1943**. Ceux-ci sont supervisés par les ingénieurs de TNX et par une équipe de physiciens de Chicago : celle-ci, initialement installée au siège de **DuPont** à Wilmington (Etat du Delaware) est transférée à **Oak Ridge en août 1943**. **Fin novembre 1943**, X-10 diverge. **Début 1944**, les **premiers grammes de plutonium** sont envoyés à Chicago et à **Los Alamos**, là où la conception des bombes est étudiée sous la direction d'**OPPENHEIMER**.

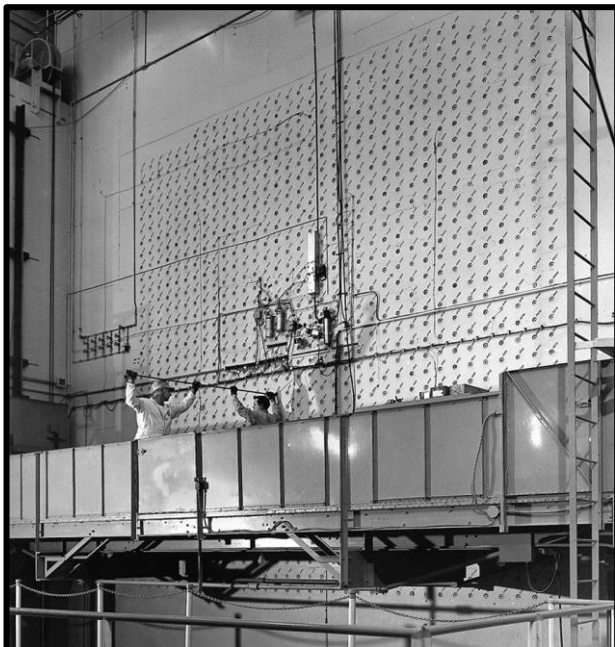
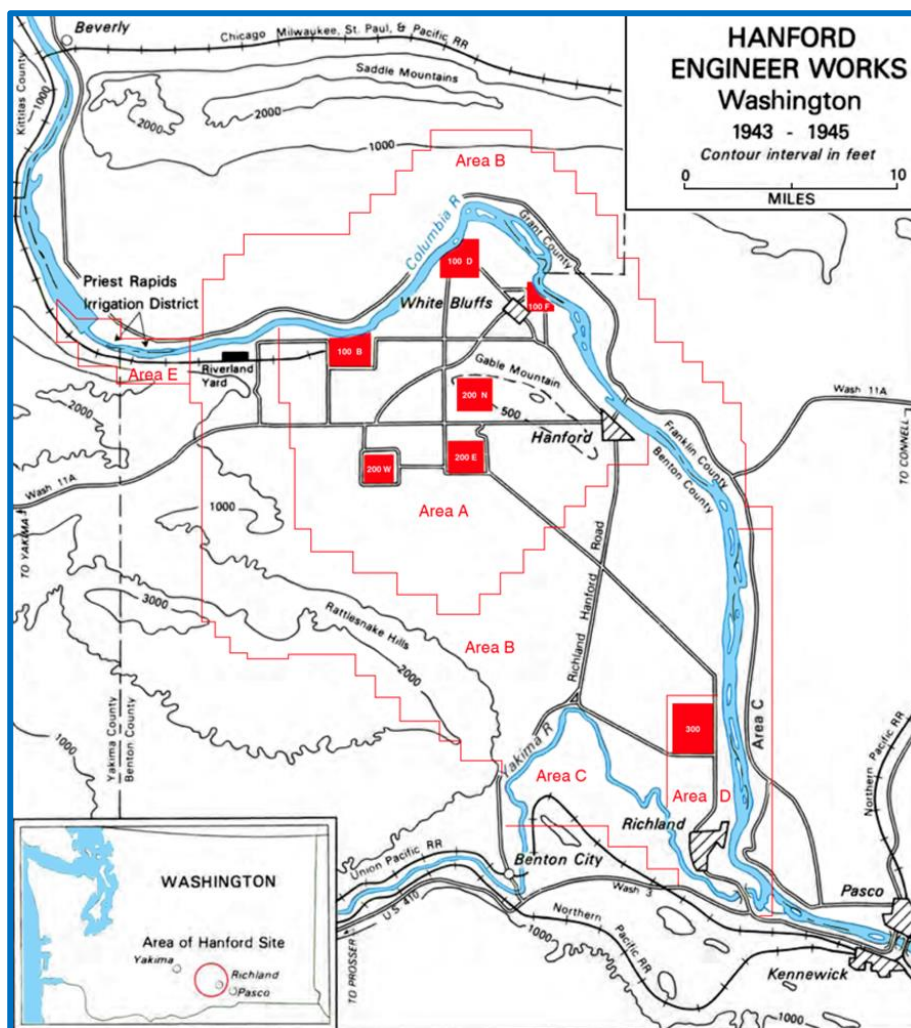


Fig. 171 – Introduction des cylindres d'uranium dans le réacteur X10

#### B. W - HANFORD, FABRICATION DU PLUTONIUM

Le site choisi pour la construction d'un gigantesque **complexe de production du plutonium**, comportant **huit réacteurs**, est **Hanford**, près du bourg de Richland, sur les bords du Columbia, dans l'Etat de Washington (fig. 172). Là également, les critères qui

ont poussé à choisir **Oak Ridge**, ont joué : isolement, abondance d'eau pour le refroidissement des réacteurs et la production d'électricité. Les travaux débutent **en juin 1943**. Ils occuperont **près de 45.000 techniciens et ouvriers** et nécessiteront la construction de **600 Km de routes et 250 Km de voies ferrées**. **800.000 m<sup>3</sup> de béton** sont coulé et **40.000 tonnes d'acier** sont utilisées.



**Fig. 172 – Implantation du site de Hanfort.**

Les réacteurs sont représentés par les trois zones rouges situées le long de la rivière Columbia. Les installations de séparation correspondent aux deux carrés rouges au sud des réacteurs. La zone 300 se trouve dans le bas du plan près de la rivière Columbia.

Les **réacteurs**, gros cubes de plus de **10 m de haut**, et dont les **parois d'acier ont 25 cm d'épaisseur**, contiennent **2.000 tonnes de graphite** dans lesquelles **2.000 tubes horizontaux** permettent d'introduire les barres d'uranium. Après un certain temps d'irradiation, ces dernières se sont enrichies d'un peu de plutonium. Celui-ci doit être séparé de l'uranium.

Pour cela, **deux usines (B et T) de traitement des barres irradiées** sont construites, pour des raisons de sécurité, **à plus de huit kilomètres** des réacteurs et **à cinq kilomètres** l'une de l'autre. Du fait de l'irradiation intense, aucun être humain ne peut pénétrer dans

celles-ci et toutes les manipulations se font par robots. Complètement fermé sur l'extérieur, ces ensembles se présentaient comme un **bloc de béton de 250 m de long et 30 m de haut**. Ils fonctionnèrent durant toute la durée du **projet Manhattan**. Le transport depuis les réacteurs se fait au moyen de lourds containers protecteurs sur des voies ferrées spécialement construites à cet effet.

Dès le départ, un conflit de compétence oppose le groupe des physiciens à celui des ingénieurs. Le physicien **Eugene WIGNER** veut établir les plans. L'ingénieur **GREENEWALT** fait remarquer que ce n'est pas la pratique habituelle chez *DuPont* : ce sont les ingénieurs qui prennent en charge la construction, quitte à demander des informations aux scientifiques. Les scientifiques sont convaincus que la bureaucratie d'une firme comme *DuPont* va paralyser le projet et passant trop de temps aux questions de sécurité et que de ce fait le délai ne sera pas respecté. Ils devront se rendre à l'évidence que le pouvoir d'exécution a changé de mains. De plus c'est le souhait du **général GROVES** qui se sent plus proche des ingénieurs et de leurs méthodes que des physiciens et de leur savoir ésotérique. **GREENEWALT** confie que les physiciens n'ont pas été des partenaires faciles :

*« SZILARD et WIGNER souffraient d'une maladie commune chez les gens brillants, en particulier les physiciens : parce qu'ils sont brillants dans leur spécialité, ils pensent qu'ils le sont en tout. WIGNER n'aurait pas hésité un instant à nous expliquer comment gérer Du Pont. En fait, tous les problèmes - et il y en avait vraiment beaucoup - venaient du fait qu'ils pensaient être plus savants que nous. »*

Les ingénieurs concrétisent leur projet par une configuration du produit ou du procédé envisagé : pour cela, ils établissent des plans. Les physiciens, quant à eux, s'expriment au moyen de formules mathématiques.

**GREENEWALT** relate qu'en examinant les plans, **Sam ALLISON**, directeur adjoint du laboratoire de Chicago, « s'arrangeait toujours pour lâcher une remarque désobligeante ». **Richard FEYNMAN**, le futur prix Nobel de physique, lui fait écho en demandant « comment regarder une usine qui n'est pas encore construite ? Je n'en sais rien ! ... je n'arrive pas à lire les plans » Les plans ne disent rien aux physiciens. **GREENEWALT** observe justement que « les deux groupes ne parlaient pas le même langage, et il fallait traduire, prendre les résultats de la recherche et les traduire pour le dessin des équipements ».

Malgré ces divergences de vues, le **13 septembre 1944**, les **premières barres d'uranium** sont chargées, en présence de **FERMI**, dans le **premier réacteur (B)**. Le complément est introduit les jours suivant, et deux semaines plus tard, lorsque la masse critique théorique est atteinte, les barres de contrôle sont retirées progressivement. Le réacteur diverge comme prévu, mais au bout de trois heures, il s'arrête. Que se passe-t-il ? Le lendemain, le réacteur redémarre, pour s'arrêter à nouveau au bout de trois heures. Finalement le diagnostic est établi : il s'agit du Xénon 135 produit par la fission qui absorbe trop de neutrons et empêche à la réaction en chaîne de s'entretenir. **500 barres supplémentaires de combustible** sont introduites dans le réacteur, soit **25% de plus que le calcul prévu**. Le réacteur diverge nettement et le **25 décembre**, les **premières**

barres enrichies de plutonium sont expédiées à l'usine T. A la fin du mois de janvier 1945, les premiers grammes de plutonium sont extraits.



Fig. 173 - Hanford. L'un des huit réacteurs au plutonium, celui-ci fut en pleine charge pour la première fois le 17 décembre 1944 (L.A. Lab./Arc. B. CROCHET)



Fig. 174 - Emblème non officiel du Projet Manhattan

(A suivre : « *Le Projet Manhattan* (suite) ».)