Histoire du nucléaire

Les découvertes fondamentales (Pr. J. Foos)

Pierre et Marie Curie aux origines de l'énergie nucléaire

La genèse de l'énergie nucléaire (1939-1945)

Le premier réacteur et la première bombe

La maturité de l'énergie nucléaire (1945-1975)

Le développement industriel et les premières filières **(suite)**

Heurts et malheurs de l'énergie nucléaire

Radioprotection, accidents, et prolifération…

Les perspectives du nucléaire au XXI° siècle

La maturité de l'énergie nucléaire (1939-1945)

Les grands défis techniques et les grands choix

Uranium et/ou Plutonium : quels combustibles

Sous-générateurs ou surgénérateurs : les réacteurs à neutrons rapides

Et le Thorium ?

Pour quoi faire : les projets les plus fous...

La puissance des réacteurs s'élève, les risques arrivent

Les premiers accidents de criticité et de réacteurs

La prise de conscience du public

Organisations nationales et réponses des gouvernants

Les organisations internationales : AIEA, Plowshare,

Les grands défis techniques et les grands choix

Uranium et/ou Plutonium : quels combustibles

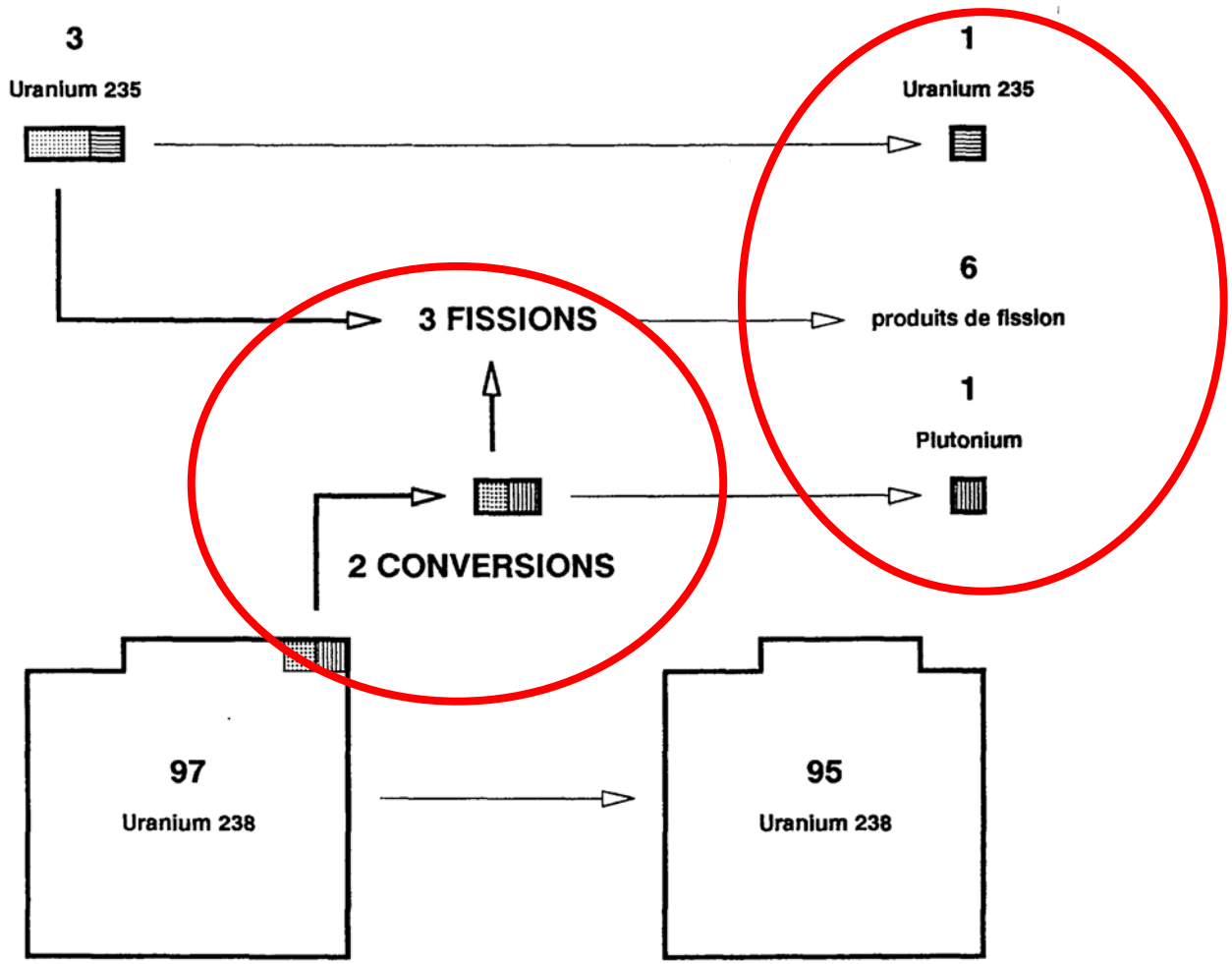
Il existe **deux voies** pour produire de l'énergie

- Utiliser les **neutrons rapides** tels que produits
  mais il faut un enrichissement important
  pour éviter les pertes par captures stériles : **Réacteurs rapides**

- profiter des sections efficaces élevées en thermique, et donc
  ralentir les neutrons (modérateur) : **Réacteur thermiques**
  dans ce cas on peut même utiliser de l'uranium naturel

Mais le plutonium doit d'abord être produit dans un réacteur à U235

Bilan en noyaux lourds suite à l'irradiation de l'UOx



Projets de centrales dans les grands pays industrialisés

En Angleterre : CALDER HALL (UNGG), 184 MWth

Bradwell, Berkeley, et Parincross (4000 MWe au total)

Développement su site de retraitement de Sellafield

Problématique des combustibles usés : les premiers choix

Aux **USA** on s'oriente vers la filière à eau légère (voir plus tard)

En **URSS** : filière RBMK et grands centre de traitement et d'enrichissement

Les premiers accidents de criticité et de pollution à grande échelle

Sous-générateurs ou surgénérateurs :

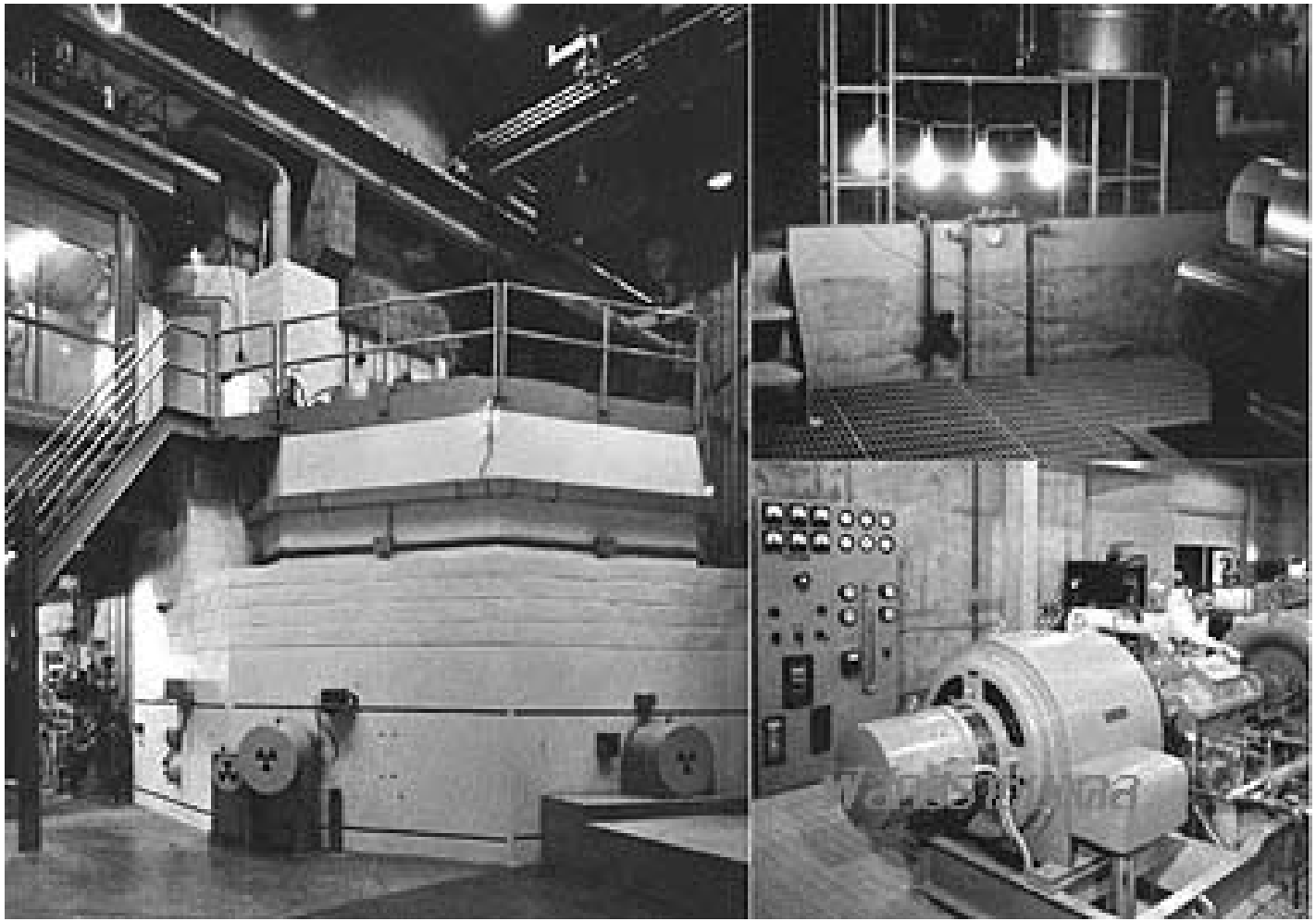
Les réacteurs à neutrons rapides, quels intérêts…

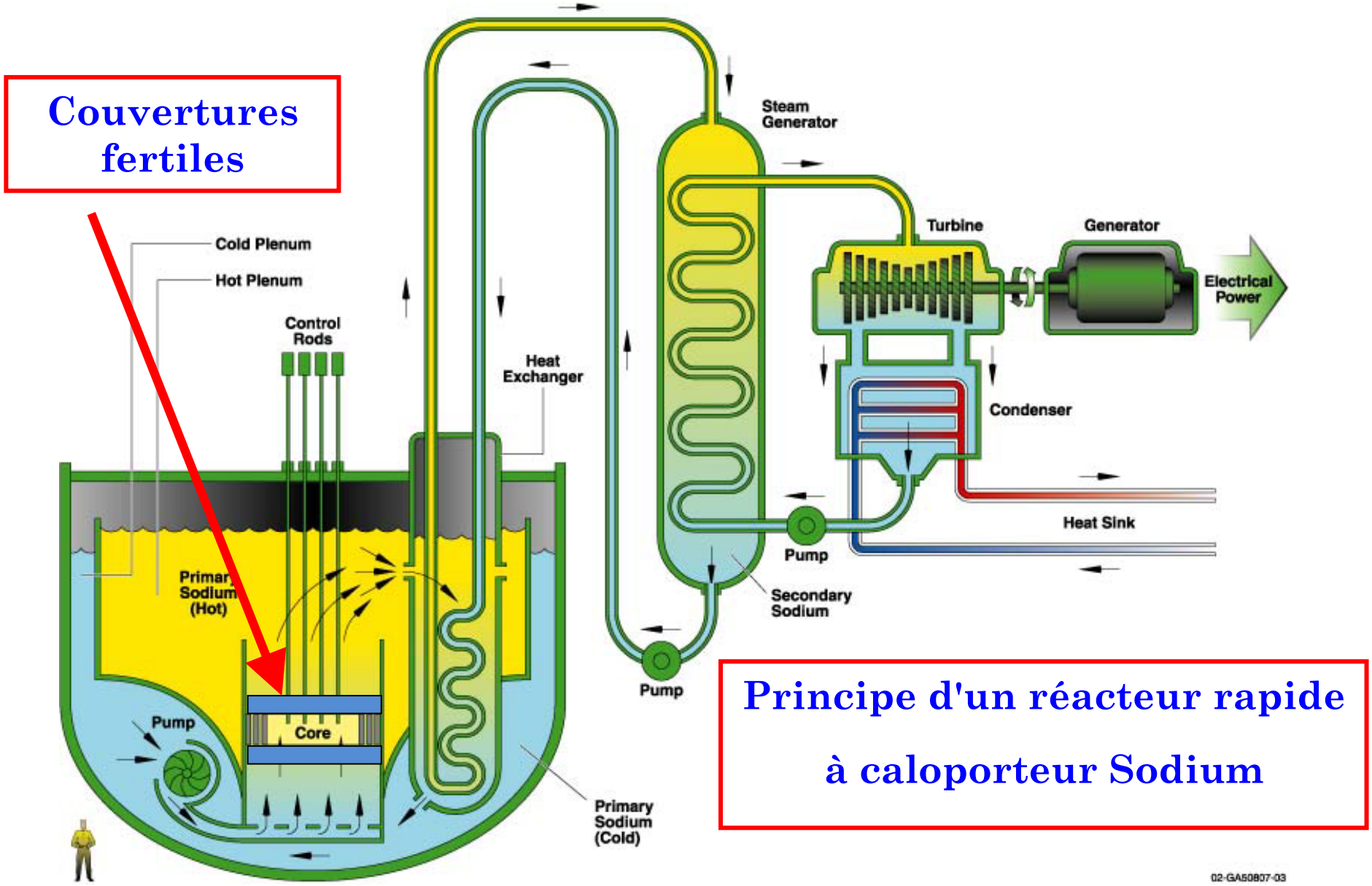
- **conception plus délicate (caloporteurs, pompes, risques)**
- **combustible beaucoup plus enrichi**
- **matière fissile plus reproductrice**
- **mais pilotage plus délicat…**

Risque de prolifération, radiotoxicité, image négative dans le public…

Les premières réalisations de réacteurs rapides :

Aux USA : EBR-1, "four bulbs", et le "SEAWOLF"




Couvertures fertiles
Cold Plenum
Hot Plenum
Control Rods
Heat Exchanger
Steam Generator
Turbine
Generator
Electrical Power
Condenser
Heat Sink
Pump
Secondary Sodium
Primary Sodium (Hot)
Pump
Core
Pump
Primary Sodium (Cold)
Principe d'un réacteur rapide à caloporteur Sodium
02-GA50807-03

Autres réalisations

En union soviétique : première centrale rapide **couplée au réseau**

En même temps que le premier prototype de RBMK…

En France **Rapsodie** (24 MWth) 1967 à Cadarache

Puis **Phénix** (250 MWth) et **Superphénix** à Creys-Malville (1200 MWe, 1986)

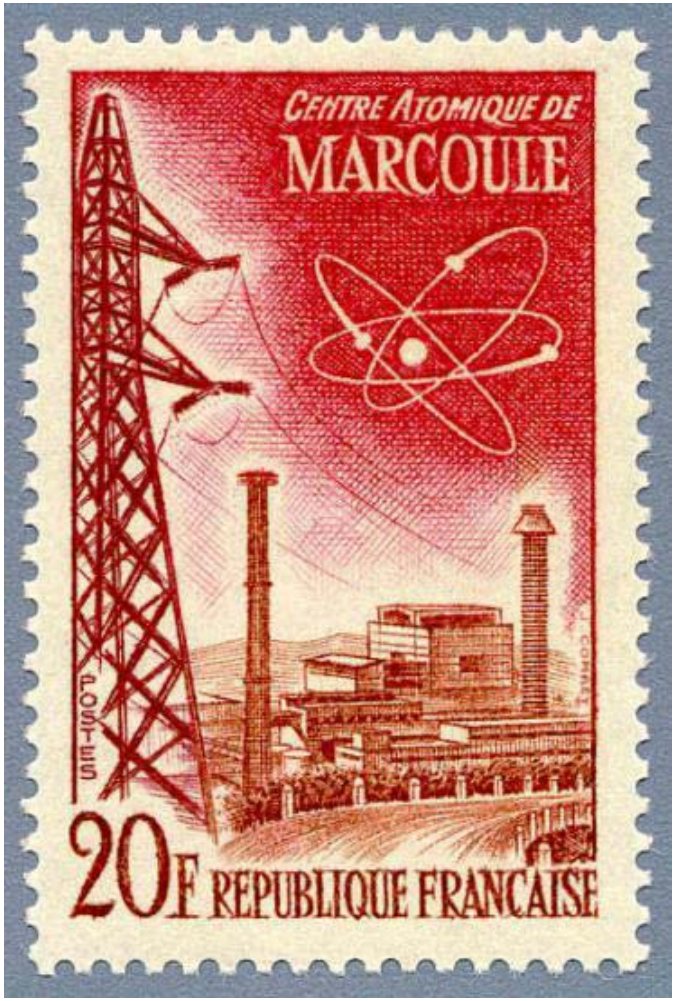
Arrêt définitif plus politique que technique en 1997-1998

En début de démantèlement…

Problèmes du caloporteur sodium, corrosion et retraitement

Gestion des stocks de Plutonium et de l'Uranium de retraitement

Expertise française indéniable dans les projets de Génération IV



Les réacteurs de démonstration

Et le Thorium ?

Quatre fois plus abondant sur terre que l'Uranium

Egalement fissile mais uniquement en rapide

Production **d'Uranium 233 fissile** (descendants radiotoxiques)

Quelques réalisations originales aux USA et en Inde

Production de matière fissile à destination d'armes (Inde et Pakistan)

De nouvelles filières : eau légère par Westinghouse, RBMK…

Réacteurs à combustibles solides ou à sels fondus…

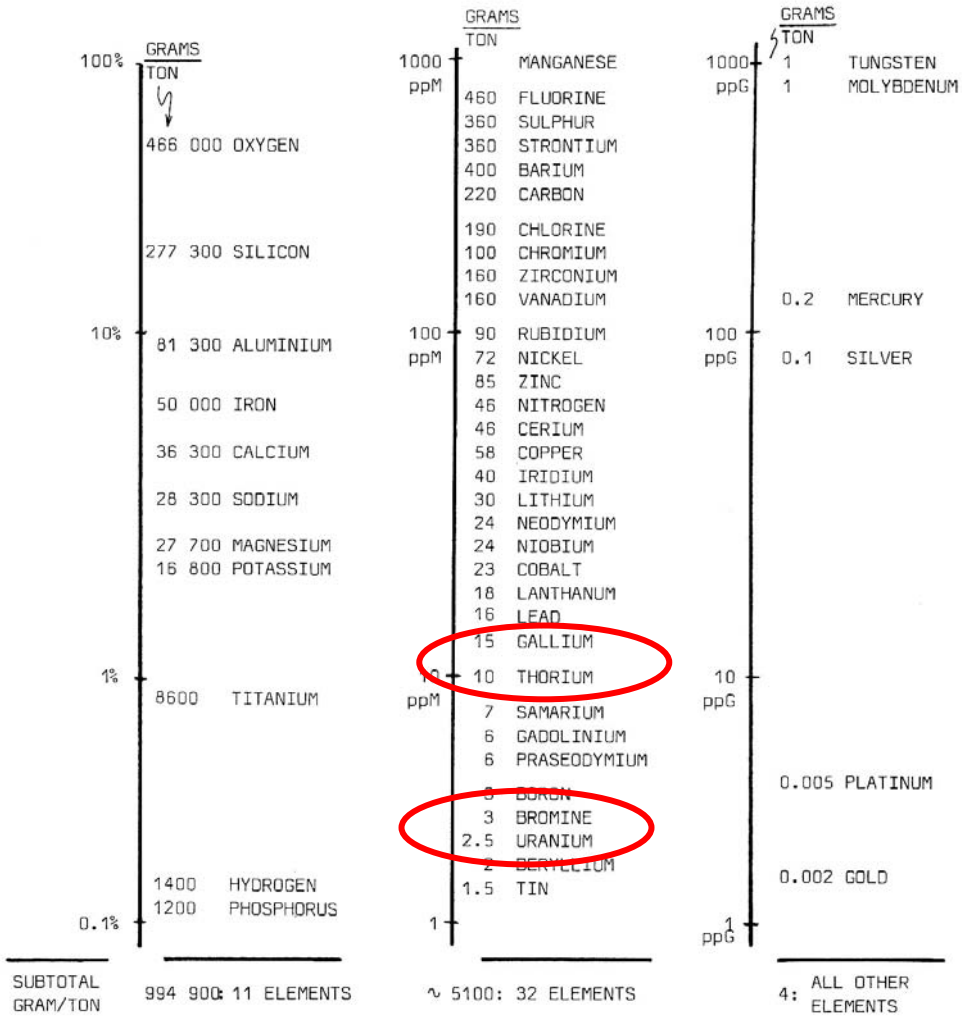
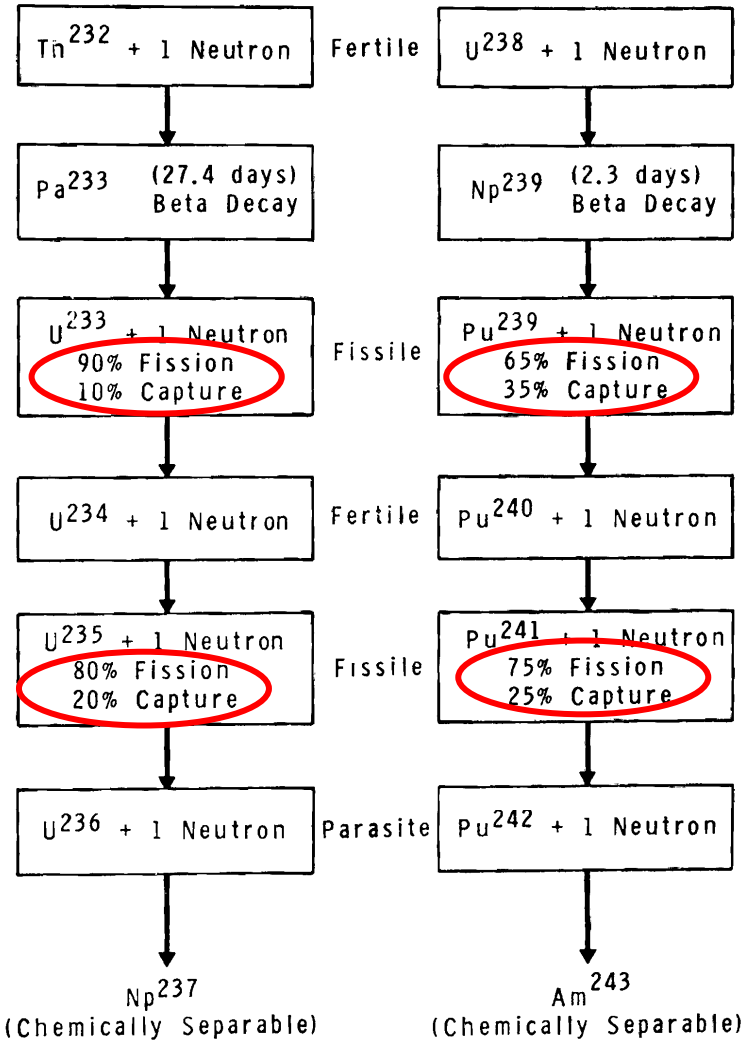


Fig. 5.13. The chemical composition of the Earth's crust.



Les projets les plus fous….

- Du **train nucléaire** …
- … aux **travaux de terrassement** !
- Des **brises-glace (Lenine)**, des porte-avions, des sous-marins…
- Et trois **cargos nucléaires** (USA Savannah, Allemagne Otto Hahn, et Mutsu au Japon)
- Même des **avions nucléaires** !
- Et en plus les armes…

Plus de 3000 projets recensés !
Pour 200 types de modèles de réacteurs (REB, VVER…)

Marine nucléaire : avenir très incertain

LA propulsion nucléaire des navires marchands (voir Sciences et Avenir, février 1965) semble avoir beaucoup de mal à passer le stade des réalisations commerciales, bien que l'on annonce que le Savannah commencera sous peu son service commercial régulier sur l'Atlantique Nord.

En effet, la First Atomic Ship Transport Commission a élaboré un programme prévoyant six voyages par an, sur Bilbao, Rotterdam, Anvers, Bremerhaven et Le Havre et deux autres, en hiver, vers des ports méditerranéens. La compagnie estime que les frais annuels d'exploitation du navire s'élèveront à quelque trois millions et demi de dollars dont la moitié serait couverte par des charges payées pour le fret, et l'autre, sous forme de subventions versées par l'Inscription maritime. Cependant, les grandes puissances montrent une certaine réserve vis-à-vis de la marine atomique.

Ce fut tout d'abord le Japon qui, dans le courant du mois de juillet, annonça qu'il renonçait dans l'immédiat à construire un pétrolier à propulsion nucléaire.

Dernièrement, le ministre du commerce britannique, Monsieur Douglas Jay, a précisé dans une réponse écrite que la Grande-Bretagne ne construira pas avant longtemps de flotte marchande à propulsion atomique.

Dans les deux cas, cette prudence vis-à-vis de la propulsion nucléaire est essentiellement dictée par des questions de rentabilité. Économiquement, les chiffres le montrent, le Savannah est une très mauvaise affaire. Le Otto Hann construit par les Allemands reste une unité expérimentale. On doit, toutefois, noter que les Soviétiques ont annoncé leur intention de construire de nouveaux brise-glace atomiques après l'expérience acquise avec le Lénine.

Le premier navire atomique européen sera allemand

Il a beaucoup été question d'un navire atomique français. L'Angleterre aussi, et encore l'Italie, ont remué des projets dans le même sens. Mais, finalement, c'est l'Allemagne qui va gagner cette course européenne.

La Société pour l'application de l'énergie nucléaire à la Navigation (G.K.S.S.), dont le siège est à Hambourg, vient en effet de choisir entre les projets soumis par divers chantiers allemands, celui d'une entreprise de Kühl, dont la réalisation doit commencer en 1962.

Nous voyons s'appliquer ici de façon particulièrement nette la politique scientifique allemande de l'après-guerre : la défaite a interdit à ce pays de courir sa chance dans les techniques nouvelles. Il n'a pas voulu s'essouffler à suivre le rythme d'autres nations : ce qui était perdu était perdu. C'est ainsi que l'Allemagne n'a pas tenté de tenir sa place dans le domaine des fusées chimiques ni dans celui des réacteurs, ni dans celui des piles atomiques, ni dans celui des avions à réaction. Mais elle joue des cartes de grand avenir en travaillant à fond sur des domaines comme la physique du plasma ou la propulsion ionique. C'est le même esprit qui a dicté la décision de construire un navire atomique : l'Allemagne qui n'a tenu aucun rôle dans les techniques nucléaires nées entre 1945 et 1950, entend jouer les premiers rôles dans une technique qui ne fait que débuter.

Il s'agit d'un cargo de 16 000 tonnes spécialisé dans le transport en vrac du charbon, de minerais ou de céréales. Le réacteur, construit par Interatom, société germano-américaine, sera chargé de 6,9 tonnes d'uranium enrichi à 2 %, qui donnera 30 mégawatts-chaleur et 10 000 CV disponibles sur l'arbre d'hélice ; le modérateur sera un liquide organique, système qui n'a pas encore été appliqué en Europe.

Le montage du réacteur exigera des mesures spéciales de sécurité. Le réservoir du réacteur, d'un diamètre de 2,32 mètres, comportera une enveloppe de quatre centimètres d'épaisseur. Le cœur sera protégé par un écran biologique d'eau et d'acier dans un réservoir d'un diamètre extérieur de 5,2 mètres. Le système primaire sera placé dans une chambre de sécurité de dix mètres de diamètre, construite de telle sorte qu'elle pourra résister à la pression d'eau extérieure, si le bateau coule, à une profondeur de 35 mètres. Aux plus grandes profondeurs, des soupapes entreront en action afin de rétablir par inondation l'équilibre de la pression.

Des essais du réacteur auront lieu à terre pour lui faire prendre toutes les positions que pourront lui imposer, en mer, le tangage et le roulis.

Ce navire coûtera environ 40 millions de DM, soit 5 milliards d'anciens francs.

Depuis deux ans, Euratom participe à l'étude des installations proprement nucléaires du navire. Pour coopérer à la construction, un nouveau contrat va être nécessaire. Mais la signature de ce contrat, qui devrait intervenir dans les tout premiers mois de 1962, semble très probable. Ainsi, l'Europe toute entière bénéficiera-t-elle des enseignements techniques de cette importante entreprise.

Le droit maritime des navires nucléaires

Une convention internationale réglant la responsabilité des exploitants de navires à propulsion nucléaire en cas de dommages provoqués par le combustible nucléaire, a été signée le 25 mai à Bruxelles par la onzième session de la Conférence diplomatique de droit maritime, dont les travaux s'étaient ouverts le 24 mai. 28 délégations ont approuvé ce texte. Il y a eu 10 oppositions et 4 abstentions.

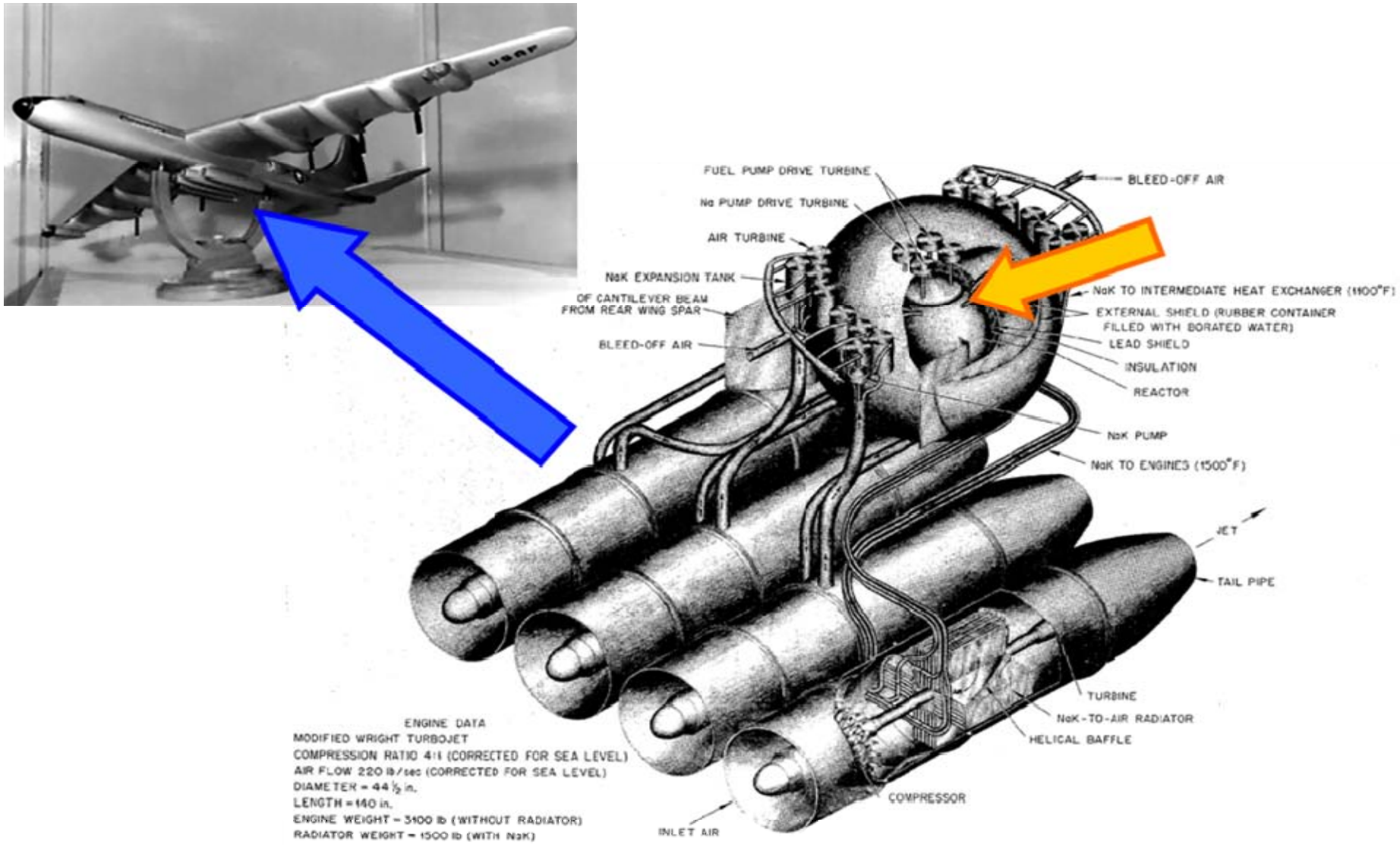
Les exploitants de navires nucléaires seront tenus de souscrire des assurances couvrant leur responsabilité pour dommage nucléaire. L'état dont émane la licence fixant le montant de cette assurance est, de son côté, tenu de compléter la différence entre ce montant et les 100 millions fixés par la Convention.

Suivant une proposition argentine, cette Convention ne pourra en rien affecter les droits des Etats contractants de refuser l'accès dans leurs ports et leurs eaux territoriales aux navires nucléaires, même si ces derniers se conforment à toutes les exigences formulées par la Convention.

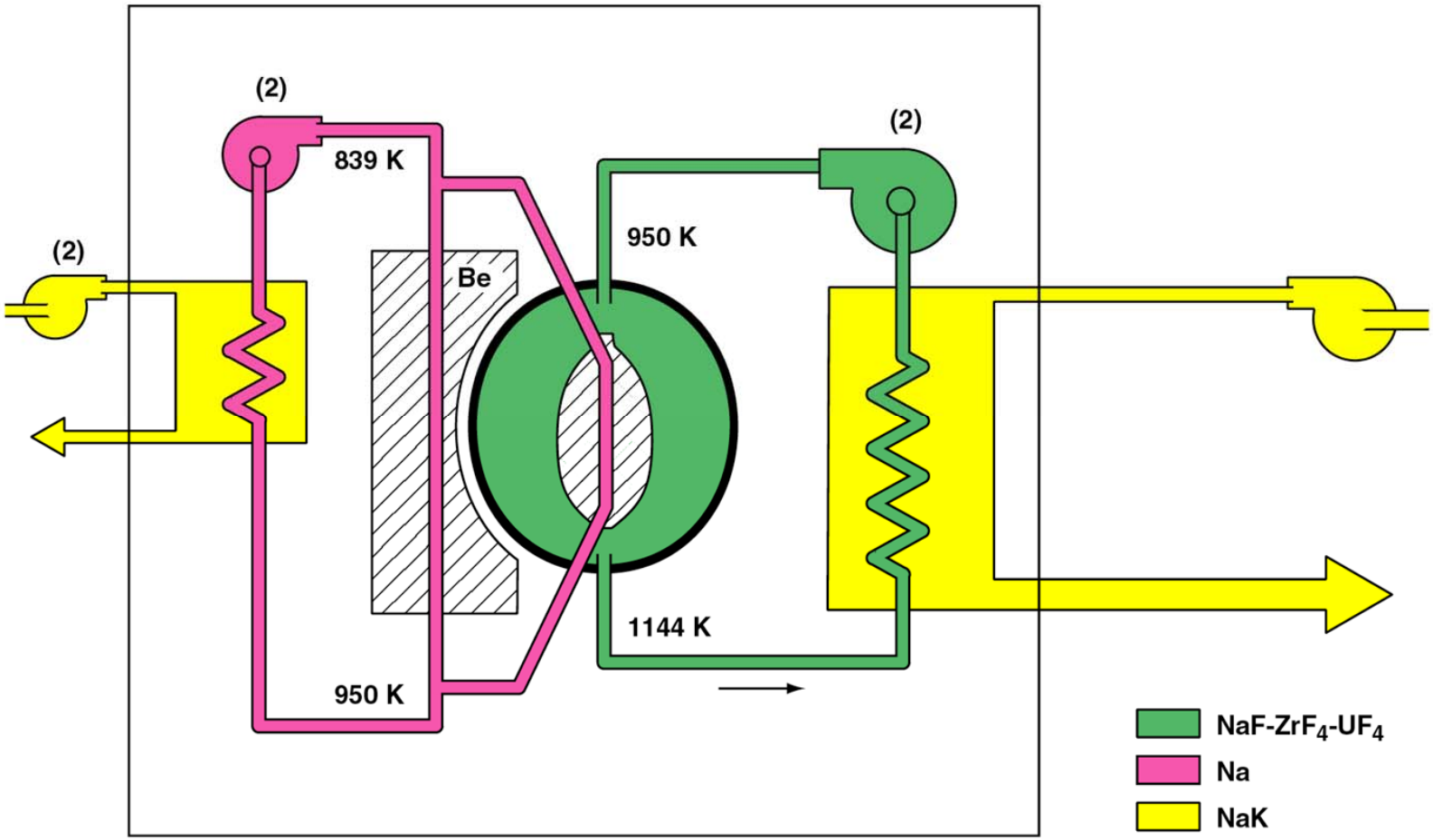
Les 10 opposants sont les Etats-Unis, l'U.R.S.S. et les pays du bloc communiste. Ils ne voulaient pas que les navires de guerre soient inclus dans le champ d'application de la Convention. Les Soviétiques notamment ont violemment protesté contre l'inclusion des navires de guerre, estimant que cette mesure légitimerait en quelque sorte l'usage de l'énergie nucléaire dans les armements.

Les pays qui se sont abstenus sont les pays scandinaves (Suède, Norvège et Danemark) et la Suisse. Ils ont manifesté ainsi leur opposition au plafond de 100 millions de dollars limitant la responsabilité de l'exploitant d'un navire nucléaire. Ces quatre pays, arguant du fait que les compagnies d'assurances ne pourraient assumer la responsabilité d'une telle somme, auraient voulu que le plafond soit fixé à 70 millions de dollars.

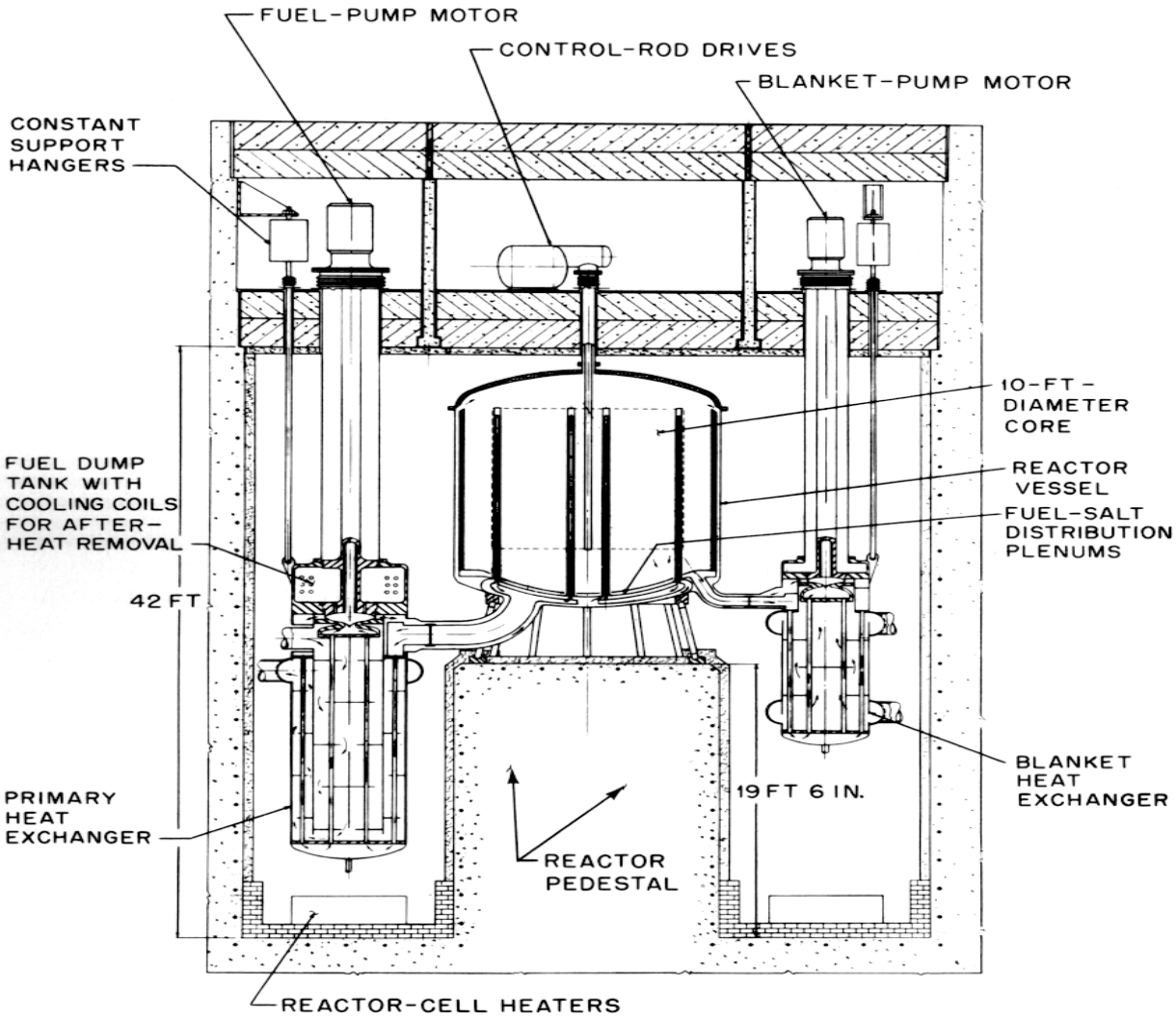
Cargo japonais MUTSU


FUEL PUMP DRIVE TURBINE
Na PUMP DRIVE TURBINE
AIR TURBINE
NaK EXPANSION TANK
OF CANTILEVER BEAM
FROM REAR WING SPAR
BLEED-OFF AIR
BLEED-OFF AIR
NaK TO INTERMEDIATE HEAT EXCHANGER (1100°F)
EXTERNAL SHIELD (RUBBER CONTAINER
FILLED WITH BORATED WATER)
LEAD SHIELD
INSULATION
REACTOR
NaK PUMP
NaK TO ENGINES (1500°F)
JET
TAIL PIPE
TURBINE
NaK-TO-AIR RADIATOR
HELICAL BAFFLE
COMPRESSOR
INLET AIR
ENGINE DATA
MODIFIED WRIGHT TURBOJET
COMPRESSION RATIO 4:1 (CORRECTED FOR SEA LEVEL)
AIR FLOW 220 lb/sec (CORRECTED FOR SEA LEVEL)
DIAMETER = 44 ½ in.
LENGTH = 140 in.
ENGINE WEIGHT = 3100 lb (WITHOUT RADIATOR)
RADIATOR WEIGHT = 1500 lb (WITH NaK)

Réacteur à sels fondus (Fluorure d'Uranium)



Réacteurs expérimentaux à sels de Thorium (1958)



MSBR

Programme Plowshare (soc de charrue)… 62 tirs !

Les besoins d'enrichissement en U235

Usines de Oak Ridge (**diffusion gazeuse**)

Procédé **PUREX** pour extraire le Plutonium

Usine militaire de **Pierrelatte**

Usine de **diffusion gazeuse** d'EURODIF (1978)

Usine George Besse II (2008) **centrifugation**

Projets SILVA **par laser**

La méthode d'enrichissement par centrifugation…

La gestion du combustible usé

Mise en place de capacités de traitement du combustible

Usine de Sellafield (Angleterre) auprès des réacteurs de recherche

Création de l'usine de Pierrelatte (1950) puis de la Hague (1961)

Les premiers grands accidents dans les centrales

Windscale (1957), Saint-Laurent (1969 et 1980), TMI (1979)

Mise en place de structures suprationales

Création de l'AIEA sous contrôle de l'ONU

Organisation EURATOM en Europe pour contrôler les installations nucléaires en Europe
Sous mandat de l'AIEA

En France

Développement de l'enseignement
(INSTN/CEA, pile Ulysse)
Autorité de sûreté
Direction de la sûreté des installations nucléaires
Institut de prévention et de sûreté nucléaire
Office de protection contre les rayonnements ionisants

Les conférences de GENEVE

Le **Manhattan district** devient **l'Atomic Energy Commission**

Assemblée de l'ONU : 8 décembre 1953

Programme "Atoms for Peace" (Eisenhower)

En même temps que se développent les bombes H…

Deux grandes conférences internationales

Du 8 au 20 août 1955

et du 1° au 13 septembre 1958

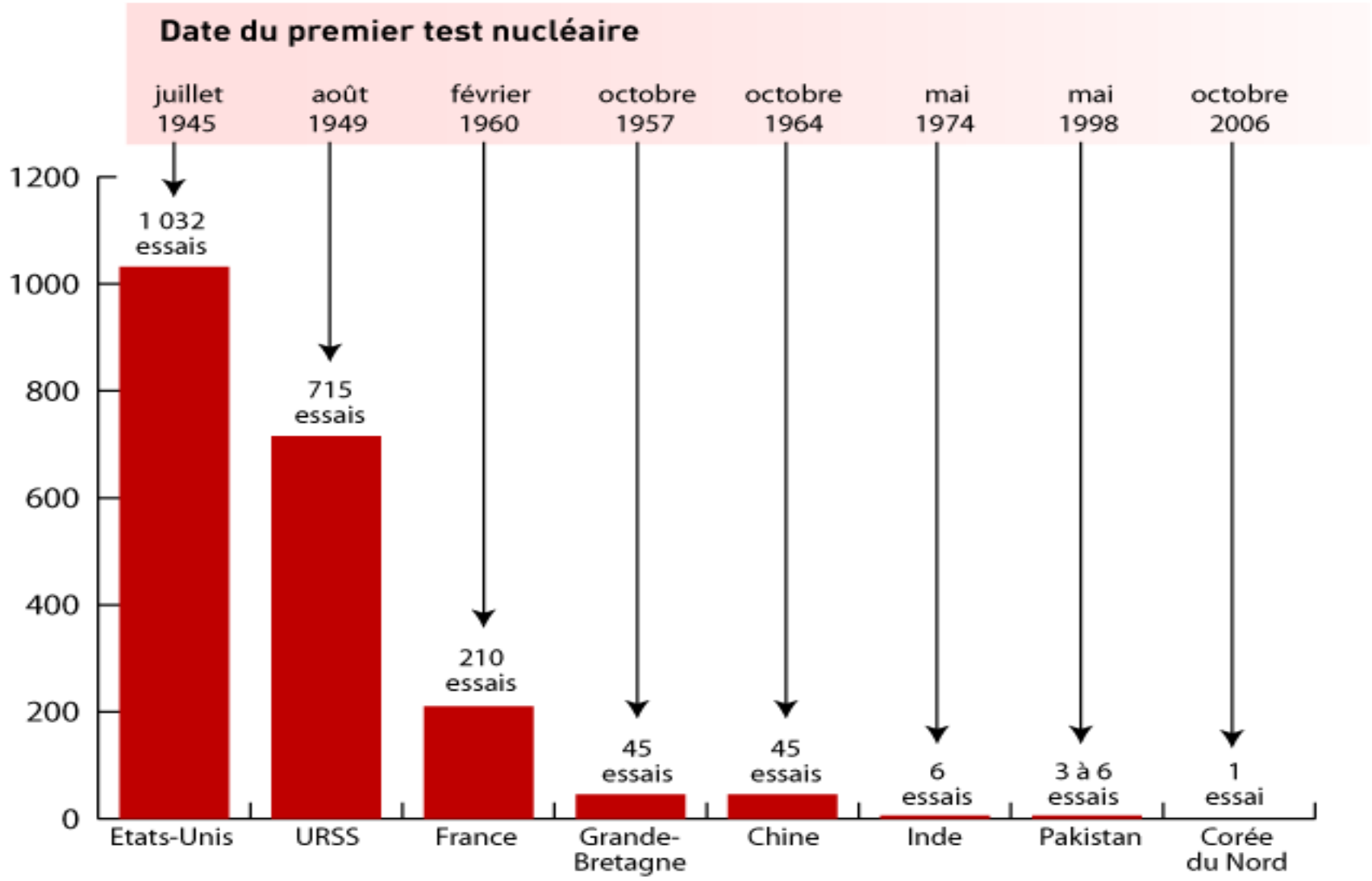
Le Nautilus et le Seawolf (premiers sous-marins nucléaires)

Le nucléaire militaire français : du PAT au SNG

Volonté d'indépendance manifestée dès 1950
Création d'un CEA/DAM (Bruyère le Chatel)

Gerboise bleue (1960) et l'arme nucléaire
Prototype à Terre (PAT) et chaufferie avancée (CAP)

Projet du Q244 : Nécessité d'enrichir en U235


Date du premier test nucléaire
juillet 1945
août 1949
février 1960
octobre 1957
octobre 1964
mai 1974
mai 1998
octobre 2006
1200
1000
800
600
400
200
0
1 032 essais
715 essais
210 essais
45 essais
45 essais
6 essais
3 à 6 essais
1 essai
Etats-Unis
URSS
France
Grande-Bretagne
Chine
Inde
Pakistan
Corée du Nord