

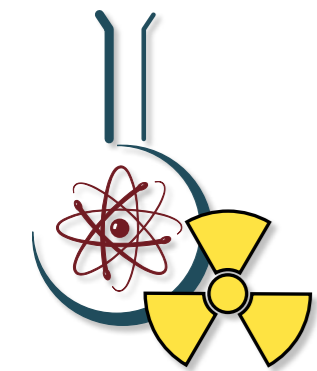


Szkolenie polskich edukatorów energetyki jądrowej we Francji

Przemysław Olbratowski

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

- Polski program energetyki jądrowej
- Makrokierunek *Energetyka i Chemia Jądrowa*
- Program szkolenia polskich edukatorów
- Szkolenie





Polski program energetyki jądrowej

2005 **Polityka Energetyczna Polski do roku 2025**

2009 **Ramowy Harmonogram Działań na rzecz
Energetyki Jądrowej**

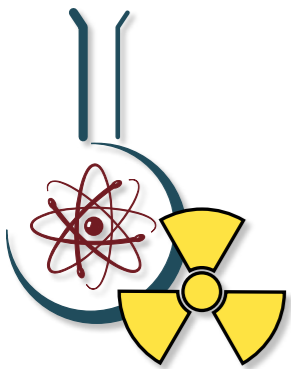
- Budowa dwóch elektrowni o łącznej mocy ok. 5 GW
- Uruchomienie pierwszego bloku do roku 2020

**Powołanie Pełnomocnik Rządu do spraw
Polskiej Energetyki Jądrowej**

- Hanna Trojanowska

2010 **Wizyta na Wydziale Fizyki UW**

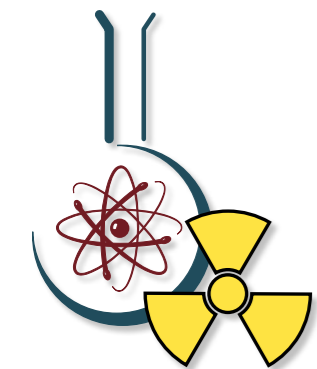
2011 **Wizyta na Wydziale Chemii UW**





Makrokierunek *Energetyka i Chemia Jądrowa*

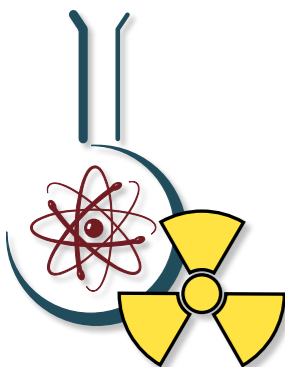
- **Wydziały Chemii i Fizyki UW**
- **Studia I stopnia**
 - Trzyletnie studia licencjackie od roku 2011/12
 - Inspektor Ochrony Radiologicznej IOR-1
- **Studia II stopnia**
 - Dwuletnie studia magisterskie od roku 2012/13
 - Specjalizacje *Chemia Jądrowa* oraz *Fizyka u Podstaw Energetyki Jądrowej*



<http://atom.chem.uw.edu.pl>

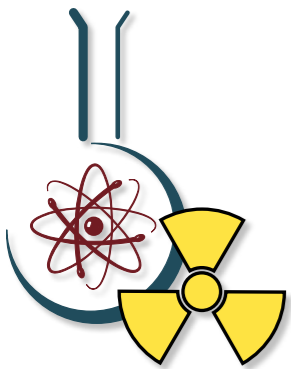
Program szkolenia polskich edukatorów

- **Organizatorzy**
 - Ministerstwo Gospodarki
 - Agencje Francje Nucléaire International (AFNI)
- **Etapy szkolenia**
 - 1) Zwiedzanie instalacji jądrowych (2009)
 - 2a) Wykłady i ćwiczenia (2010)
 - 2b) Staże
 - 3) Przygotowanie programów nauczania



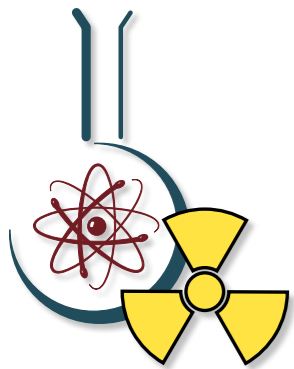
- **25 osób z 12 uczelni i 2 instytutów**

Gdańsk	Politechnika Gdańska	4
Gliwice	Politechnika Śląska	1
Katowice	Uniwersytet Śląski	1
Kraków	Akademia Górniczo-Hutnicza	4
Łódź	Politechnika Łódzka	1
Łódź	Uniwersytet Łódzki	1
Olsztyn	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski	1
Poznań	Politechnika Poznańska	2
Szczecin	Uniwersytet Szczeciński	2
Warszawa	Politechnika Warszawska	4
Warszawa	Uniwersytet Warszawski	1
Wrocław	Politechnika Wrocławska	1
Kraków	Instytut Fizyki Jądrowej	1
Warszawa	Instytut Problemów Jądrowych	1



- **Fizycy i inżynierowie**

- Energetyka
- Energetyka jądrowa - zagadnienia neutroniczne i ciepłno-przepływowe
- Fizyka jądrowa
- Promieniotwórczość środowiska
- Ochrona radiologiczna
- Chemia
- Budownictwo
- Inne - fizyka wysokich ciśnień, astrofizyka, ...

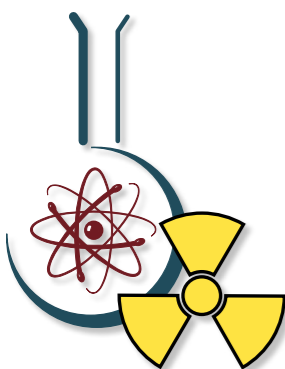
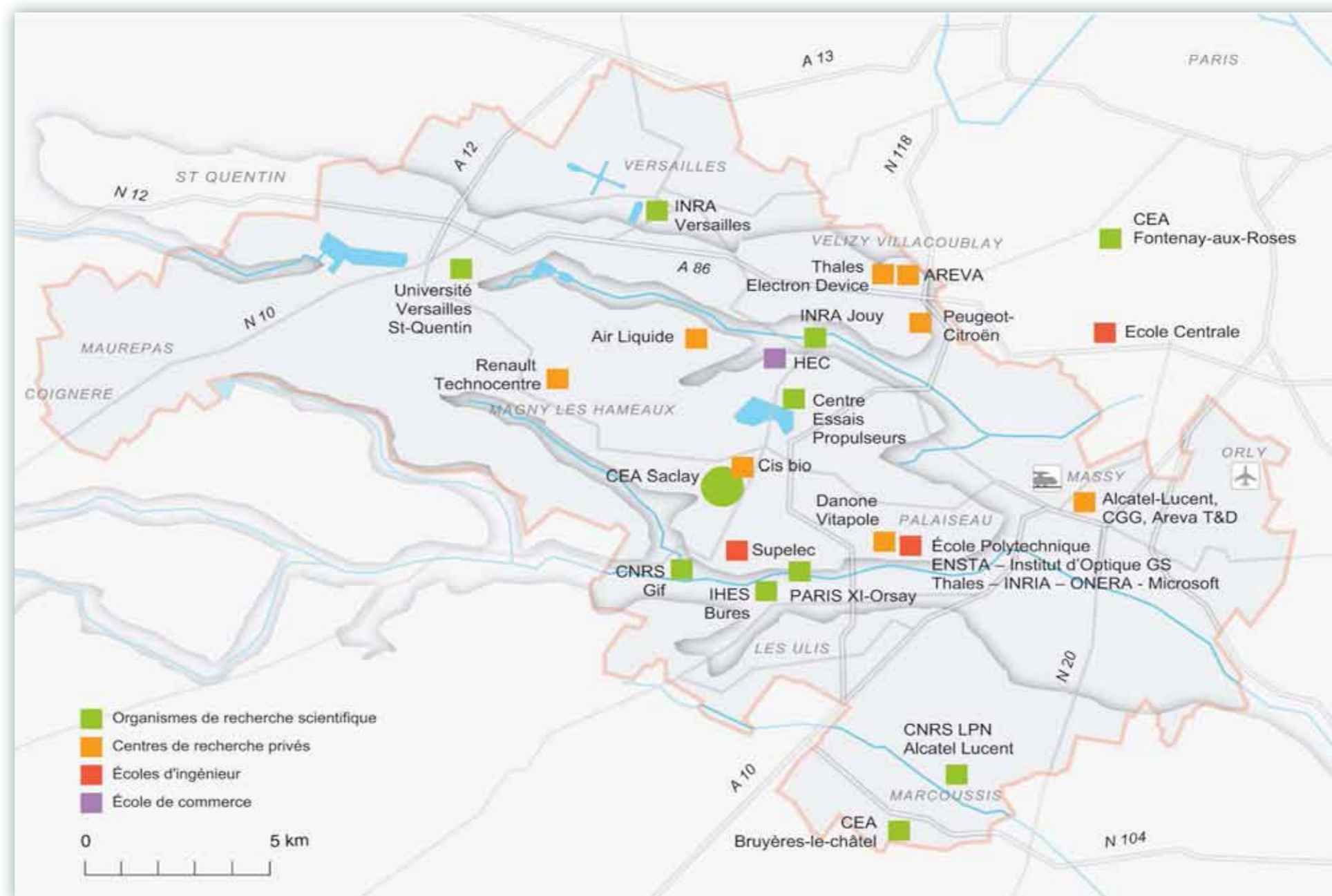


- **Czas**

- 2 października - 18 grudnia 2010 (11 tygodni)

- **Miejsce**

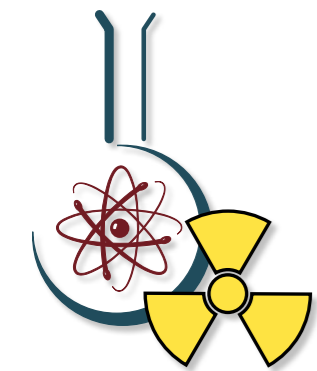
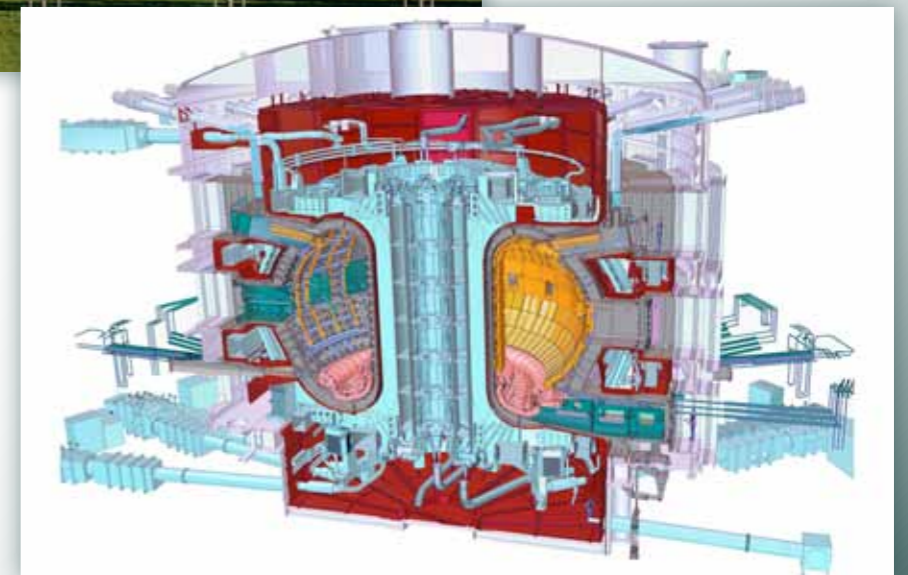
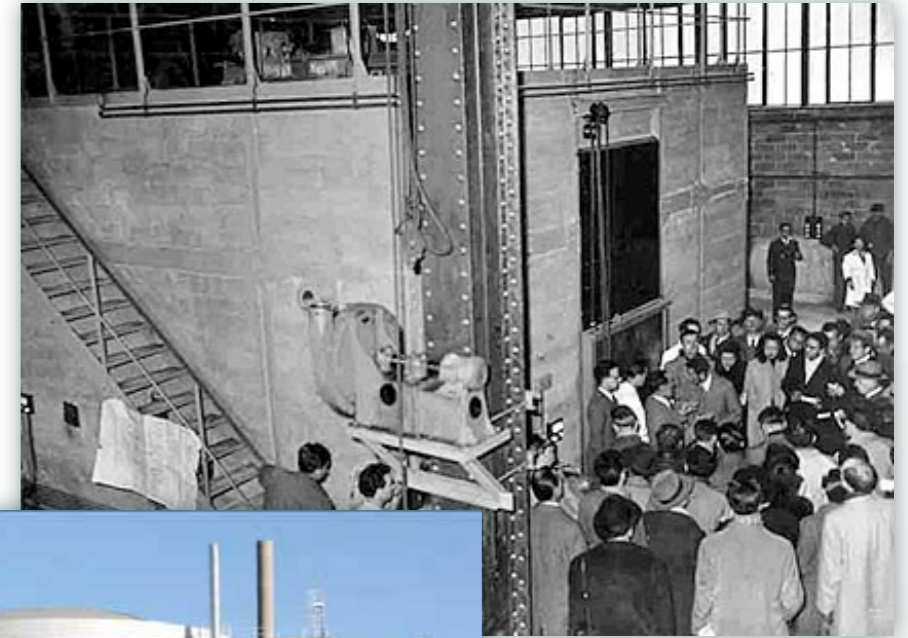
- Zakwaterowanie: Les Ulis
- Zajęcia: Saclay





- **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives**

- Założony w 1945 przez de Gaulle'a
- R&D w różnych dziedzinach





- **Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires**
 - Różne formy kształcenia

instn

INTERNATIONAL SEMINAR
PRINCIPLES AND OPERATION
OF NUCLEAR REACTOR

FRANCE
January 25th – February 5th 2010

instn

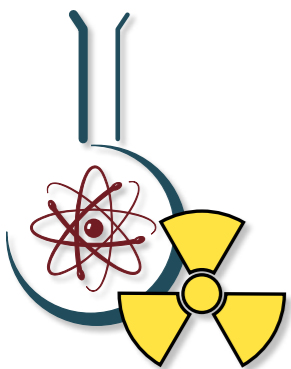
MASTER OF SCIENCE
Nuclear Energy
2010-2011

- Covers technical, economic, environmental and management aspects
- International careers
 - Engineer in nuclear industry
 - Design and construction,
 - Operation and maintenance
 - Decommissioning and waste management
 - Fuel cycle.
 - Research and Education
- Two-years MSc Program taught in English
 - Direct access to second year for holders of a BSc in Nuclear Engineering
 - First year (M1) basic courses: Physics, Mechanics, Chemistry, Engineering, and Economics
 - Second year (M2) five Majors
 - Nuclear Reactor Physics (Previously Nuclear Engineering)
 - Nuclear Plant Design
 - Operation
 - Fuel Cycle
 - Decommissioning and Waste Management
- Located in Paris (France)

<http://www.master-nuclear-energy.fr>
Contact: admin@master-nuclear-energy.fr

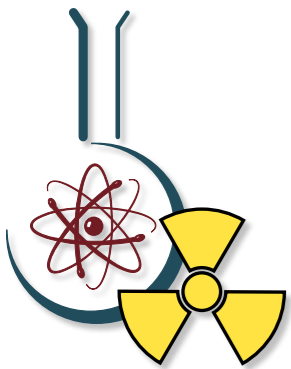
At leading academic institutions in Paris

ParisTech **instn**



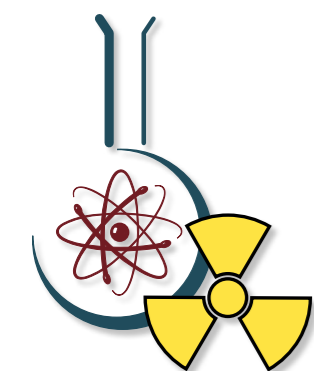


- **Électricité de France (EDF)**
 - Dostawca energii elektrycznej
- **European Pressurized Reactor / Evolutionary Power Reactor (EPR)**
 - PWR
 - $1650 \text{ MW}_e / 4500 \text{ MW}_{th}$
 - Generacja III+
 - Francja, Finlandia, Chiny





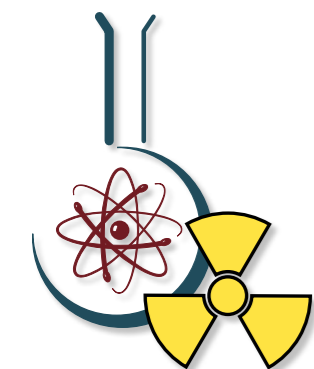
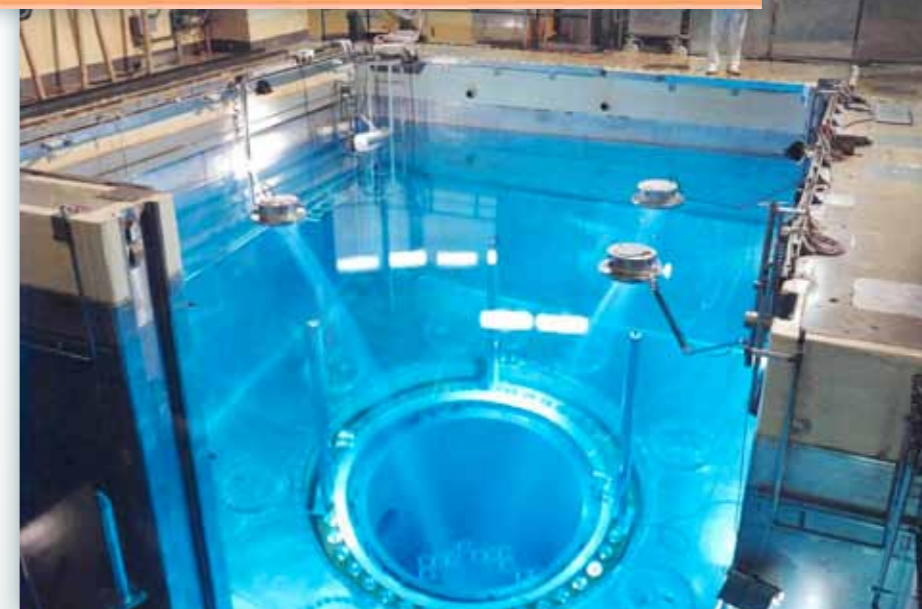
- AREVA
 - Producent reaktorów i dostawca paliwa
- Zakłady przerobu wypalonego paliwa
 - Separacja
 - Przechowywanie





GDF SUEZ

- **GDF Suez**
 - “Belgijski odpowiednik EDF”
- **Bloki**
 - $2 \times 430 \text{ MW}_e$
 - $2 \times 1000 \text{ MW}_e$



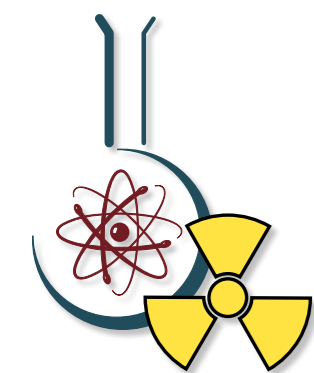
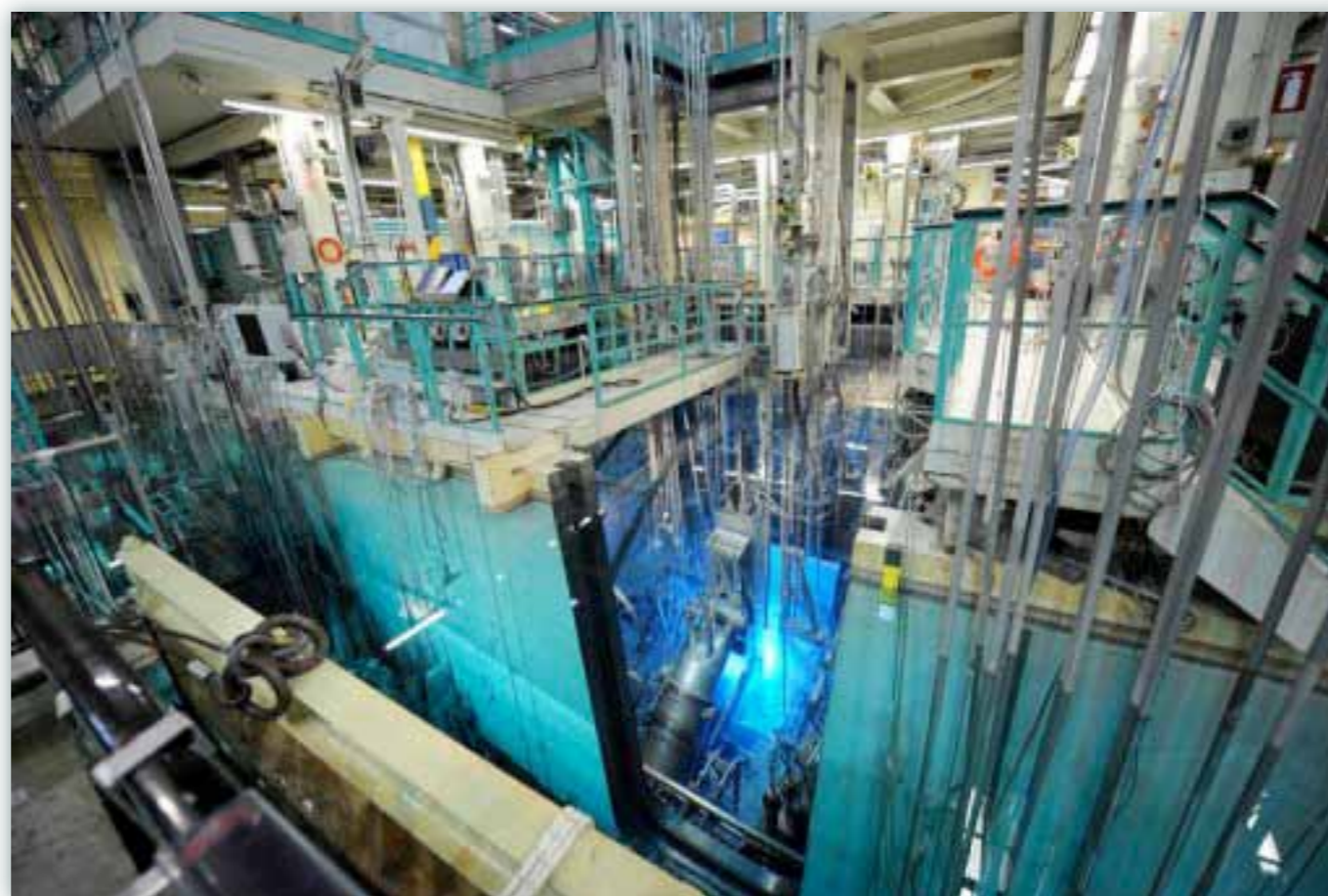


- **Reaktor**

- Basenowy o mocy $70 \text{ MW}_{\text{th}}$

- **Zastosowania**

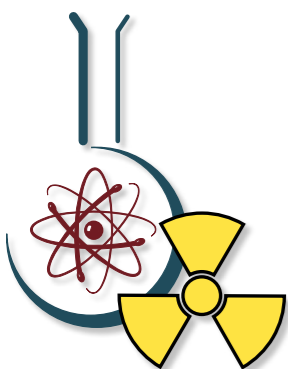
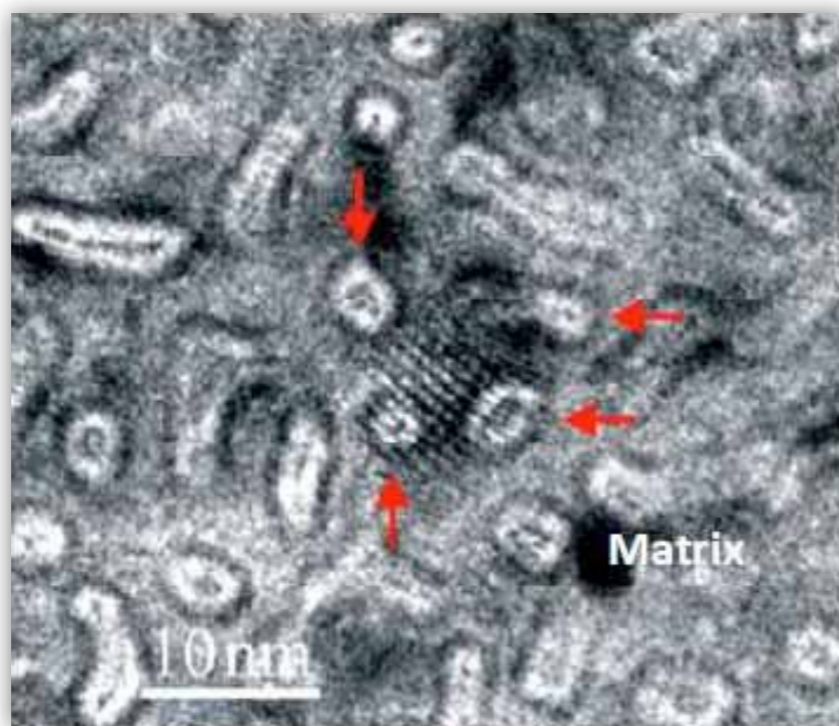
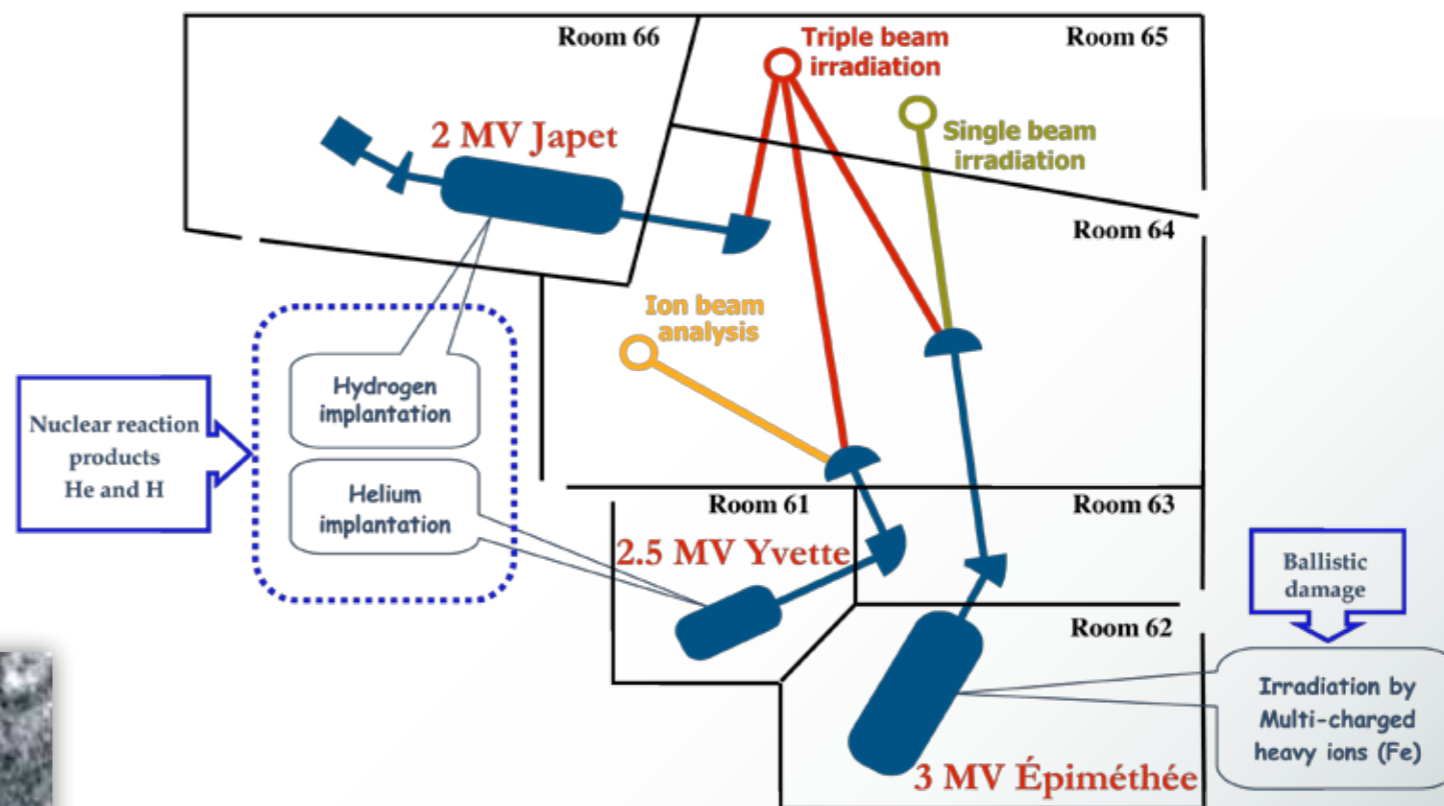
- Badania reaktorowe, materiałowe, produkcja radioizotopów, ...
(10% światowej produkcji ^{99}Tc)





• Joint Accelerators for Nanoscience and Nuclear Simulations

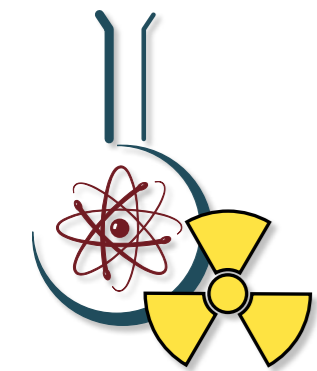
- Potrójna wiązka p, α, HI
- Badania materiałowe





- **Akcelerator protonów i cząstek alfa**
 - PIXE, NRA, ...
 - Wiązka w powietrzu

CENTRE DE
RECHERCHE
ET DE
RESTAURATION
DES MUSÉES
DE FRANCE

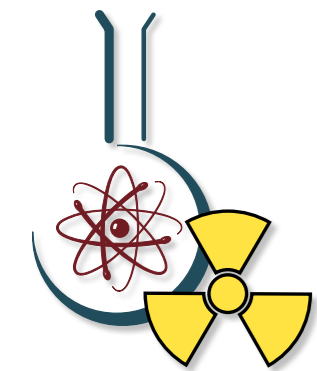


WCh
Wydział Chemii
Uniwersytet Warszawski

WYDZIAŁ FIZYKI
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

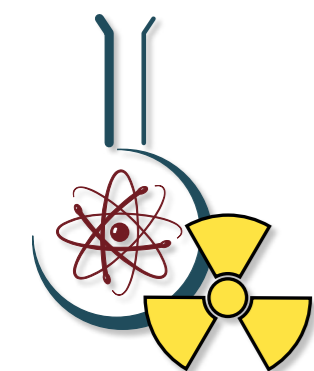


- Pałac księżnej Monako z XVIII wieku
- Ambasador Tomasz Orłowski



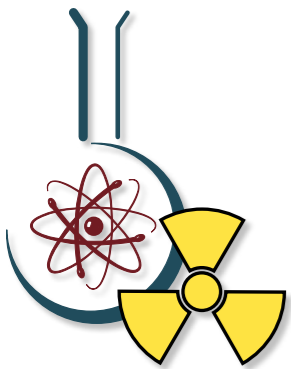
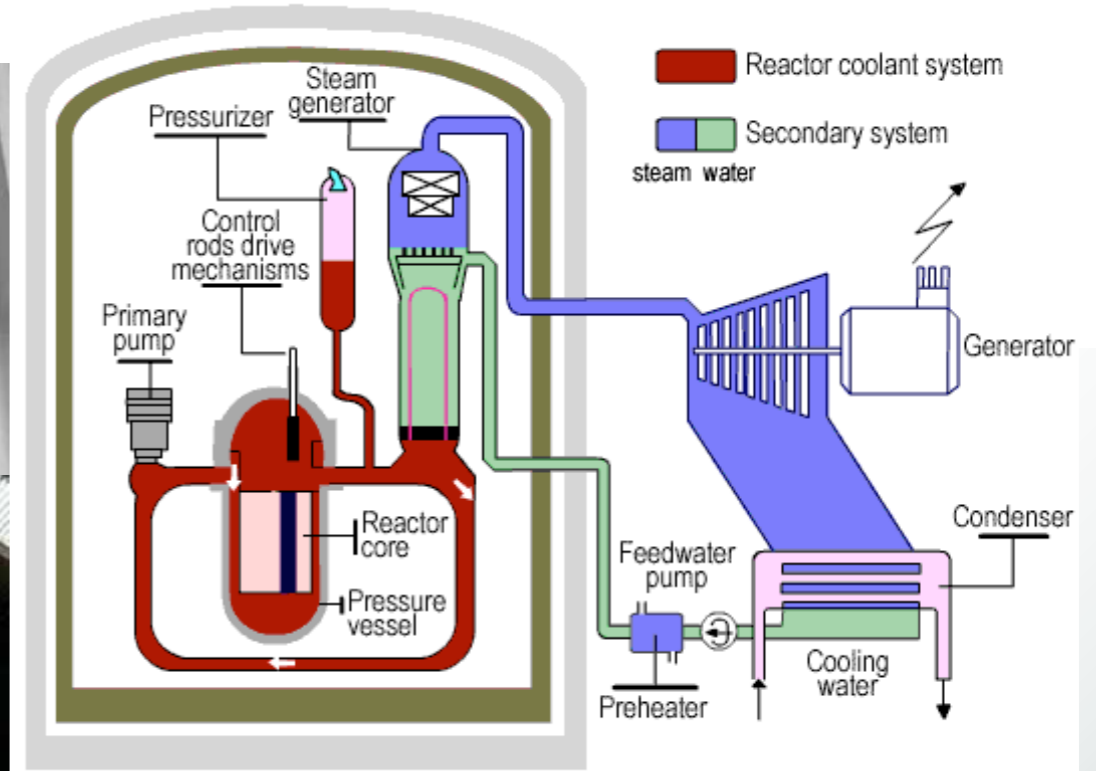
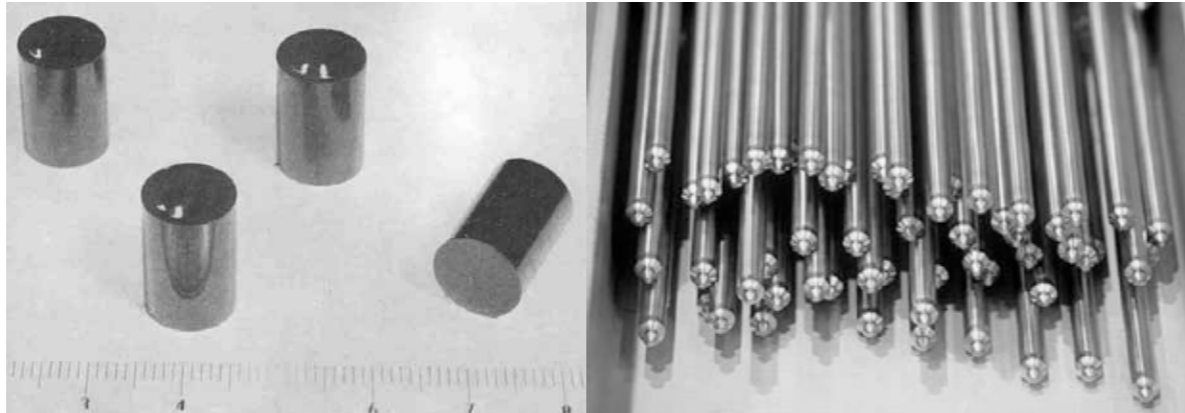


- **Wykłady i ćwiczenia**
 - Podstawy fizyki jądrowej
 - Fizyka reaktorowa
 - Neutronika
 - Termohydraulika
 - Nauki materiałowe
 - Systemy reaktorów jądrowych
 - Bezpieczeństwo
 - Cykl paliwowy
- **Ćwiczenia komputerowe**
 - Symulatory reaktorów i elektrowni
 - Kody neutroniczne i termohydrauliczne
- **Ćwiczenia laboratoryjne**
- **Projekty indywidualne**



Reaktor i elektrownia

- Reaktor PWR



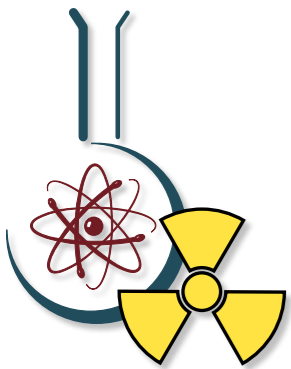
- **Reaktywność i krytyczność**

- Współczynnik mnożenia k i reaktywność $\rho = (k-1)/k$

$\rho < 0$	$k < 1$	reaktor podkrytyczny	wykładniczy spadek mocy
$\rho = 0$	$k = 1$	reaktor krytyczny	stała moc
$\rho > 0$	$k > 1$	reaktor nadkrytyczny	wykładniczy wzrost mocy

- **Neutrony natychmiastowe i opóźnione**

- Natychmiastowe - emitowane zaraz po rozszczepieniu (femtosekundy)
1000 - krotny wzrost mocy w ciągu sekundy!
czas wsuwania prętów - dziesiąte części sekundy
- Opóźnione - emitowane po rozpadzie β (sekundy)
ok. 140 prekursorów
- Reaktor zawsze podkrytyczny na neutronach natychmiastowych, krytyczność zapewniają neutrony opóźnione
- Udział neutronów opóźnionych $0.2 - 0.7 \% = \beta = 1\$$
- Warunek stabilności
 $\rho < 1\$$



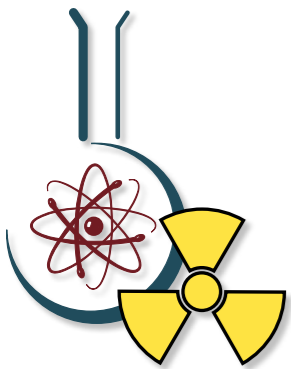
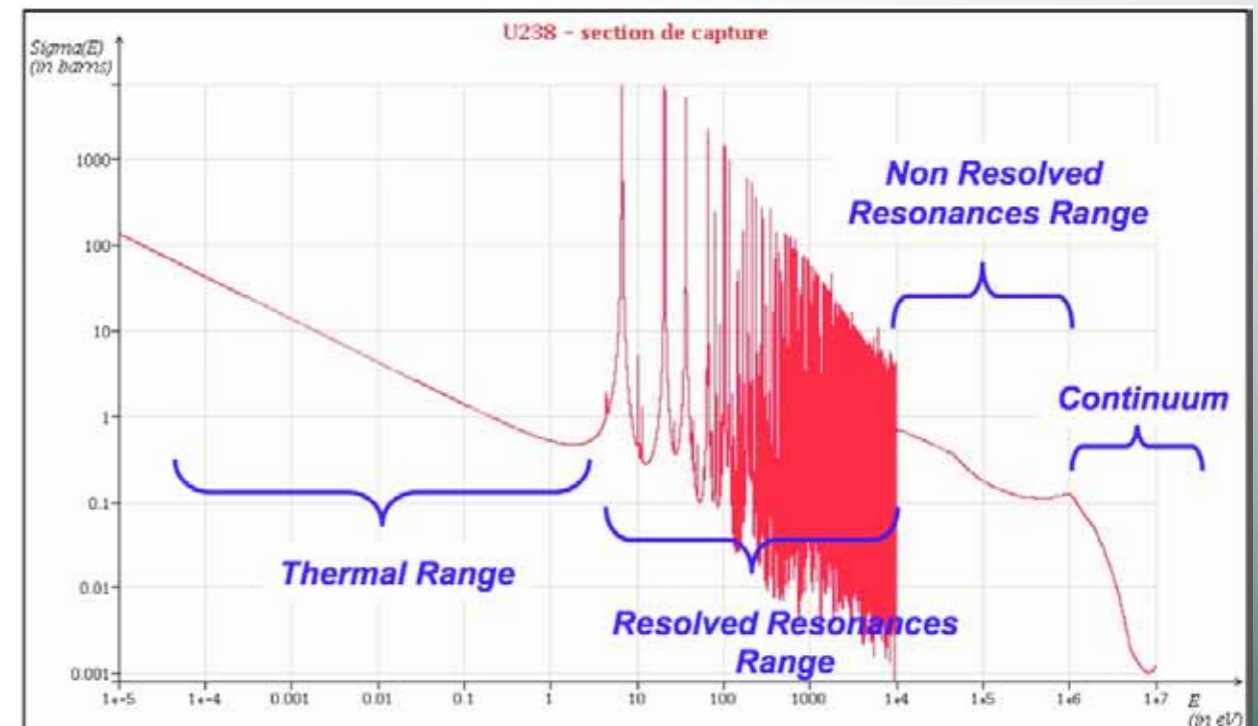
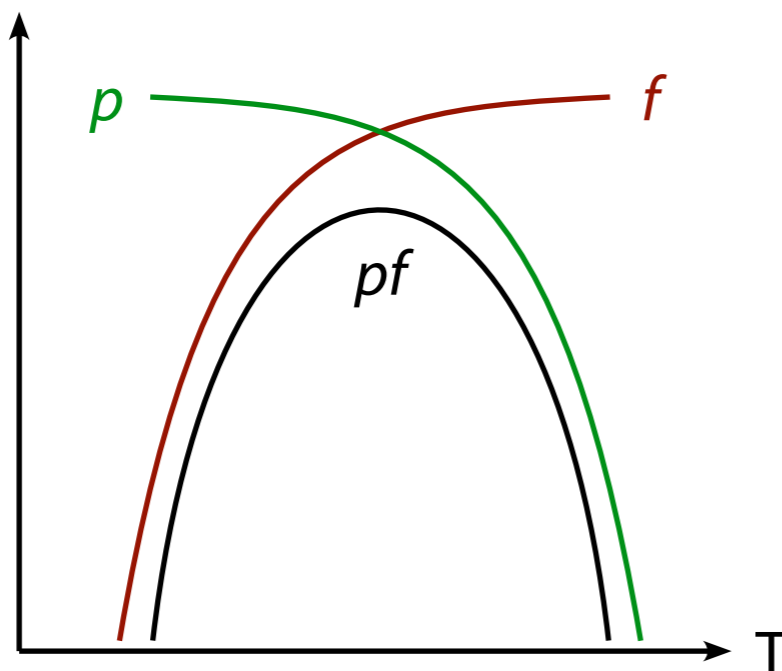
- **Równanie Boltzmann**

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \psi(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)}{\partial t} + \underbrace{\hat{\Omega} \cdot \vec{\nabla} \psi(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)}_{\text{streaming}} + \underbrace{\Sigma(\vec{r}, E) \psi(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)}_{\text{collision}} =$$

$$\int_0^\infty dE' \int_{4\pi} d^2\Omega' \underbrace{\Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E, \hat{\Omega} \cdot \hat{\Omega}') \psi(\vec{r}, E', \hat{\Omega}', t)}_{\text{scattering}} + \underbrace{S(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)}_{\text{independent source or fission}}$$

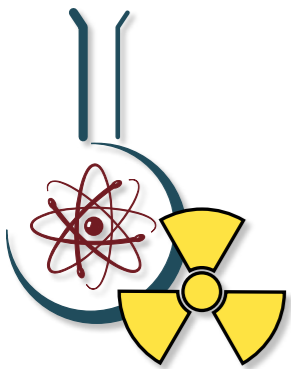
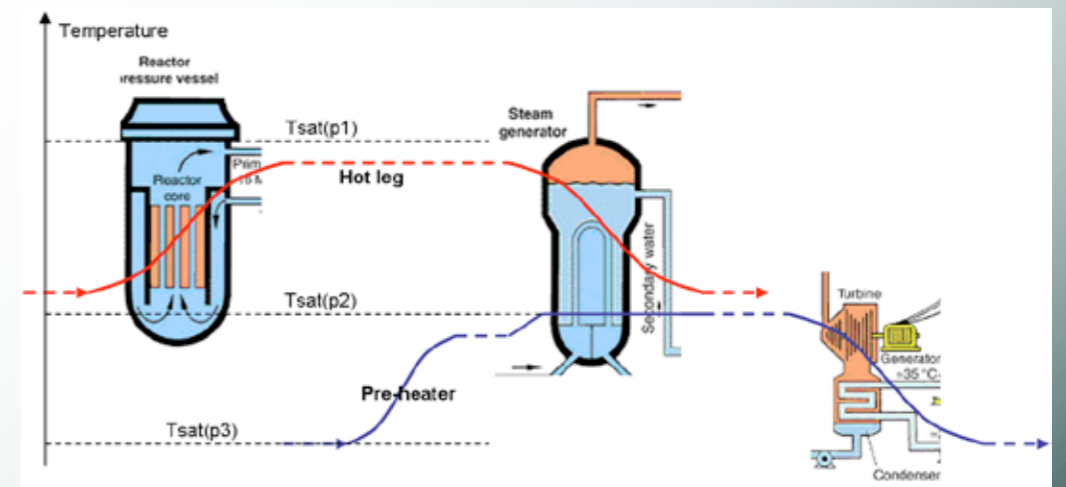
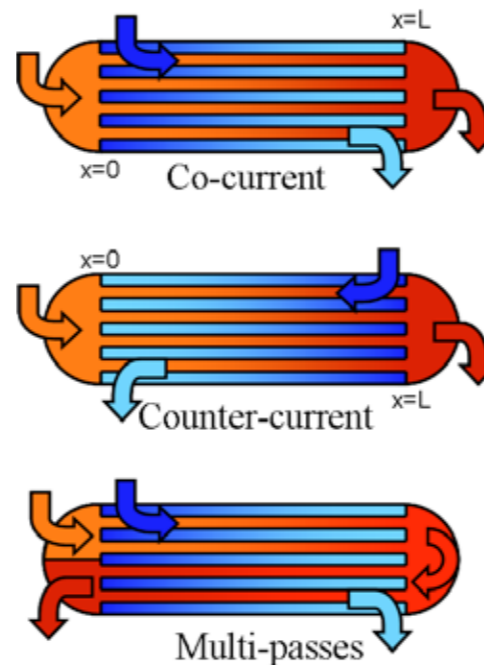
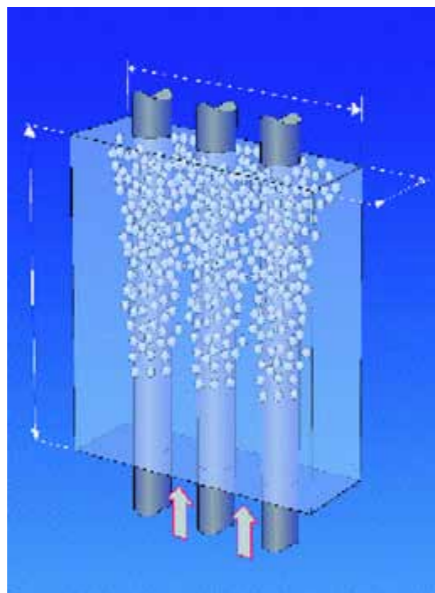
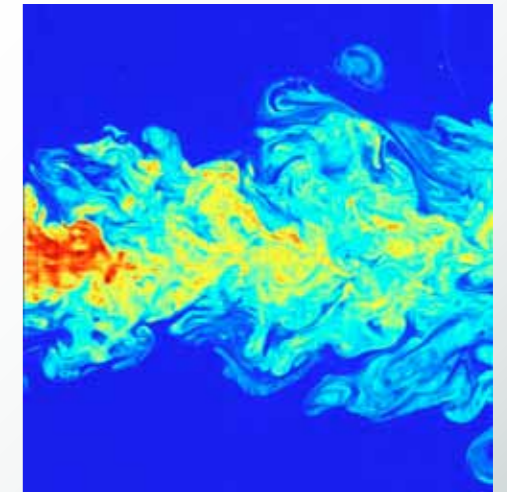
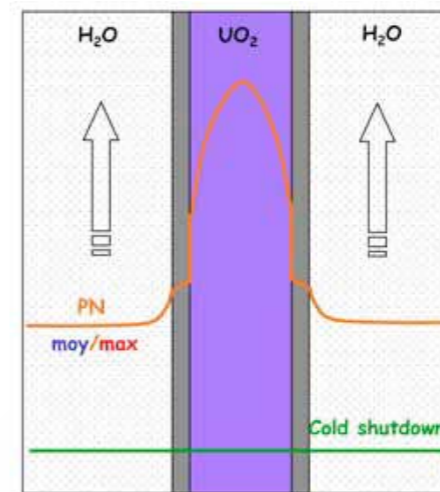
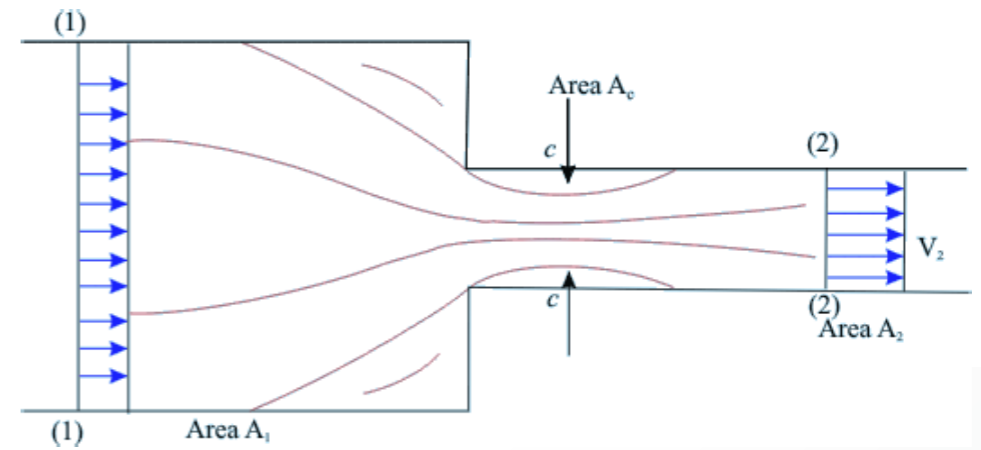
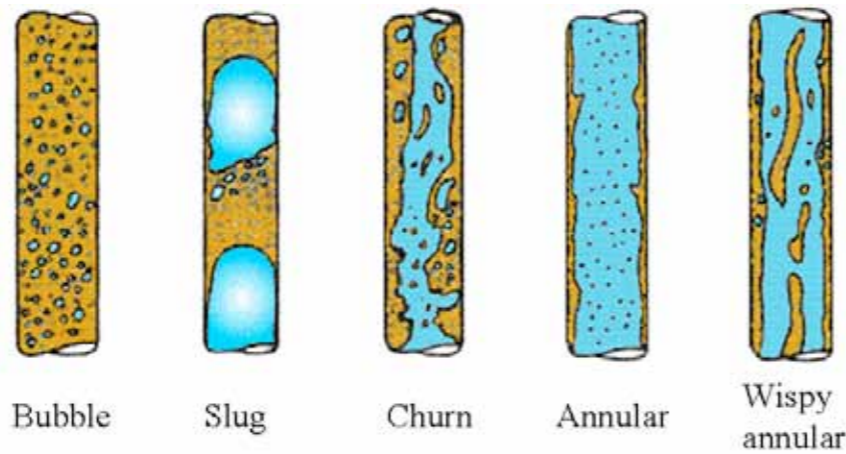
- **Formuła 4 czynników**

$$k = \epsilon p f \eta$$

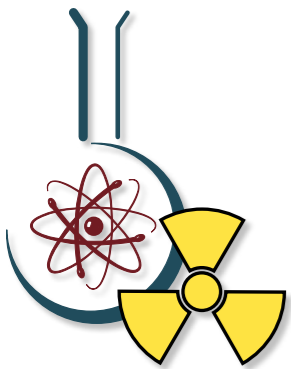
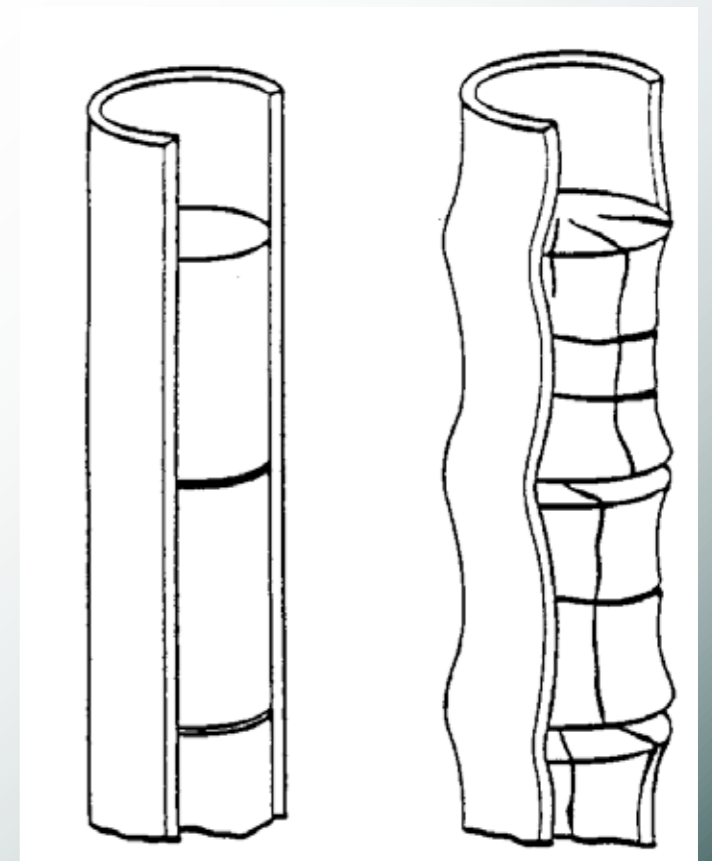
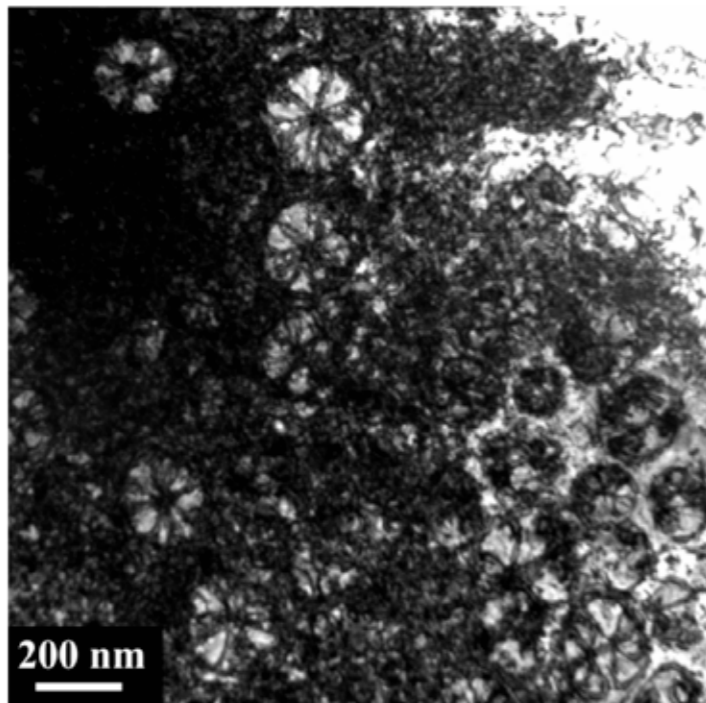
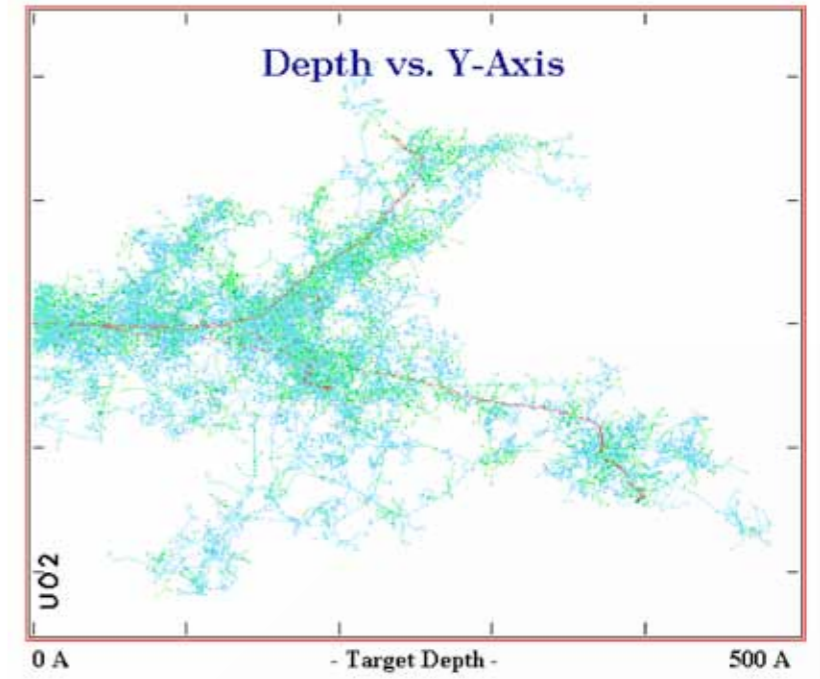
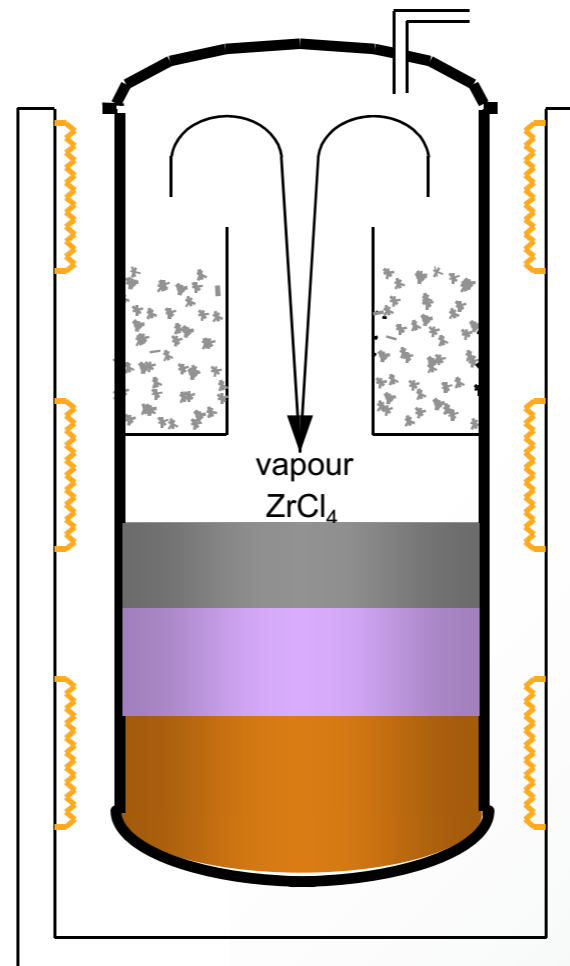
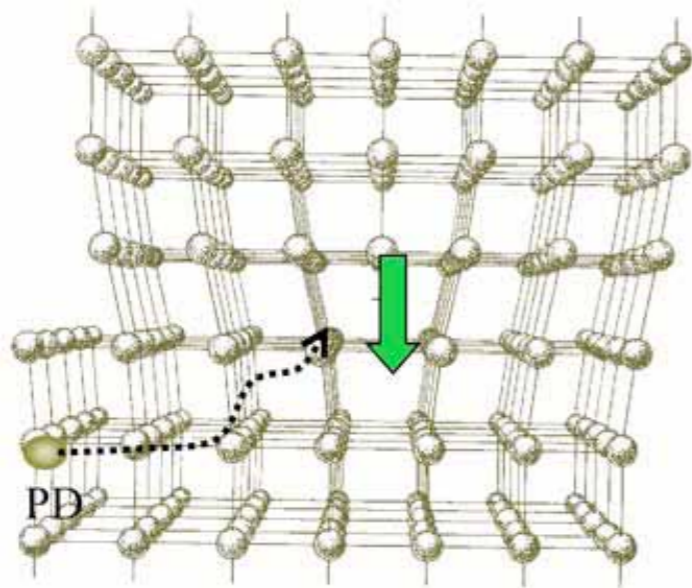


Termohydraulika

- Przepływy
- Transport ciepła
- Cykle termodynamiczne



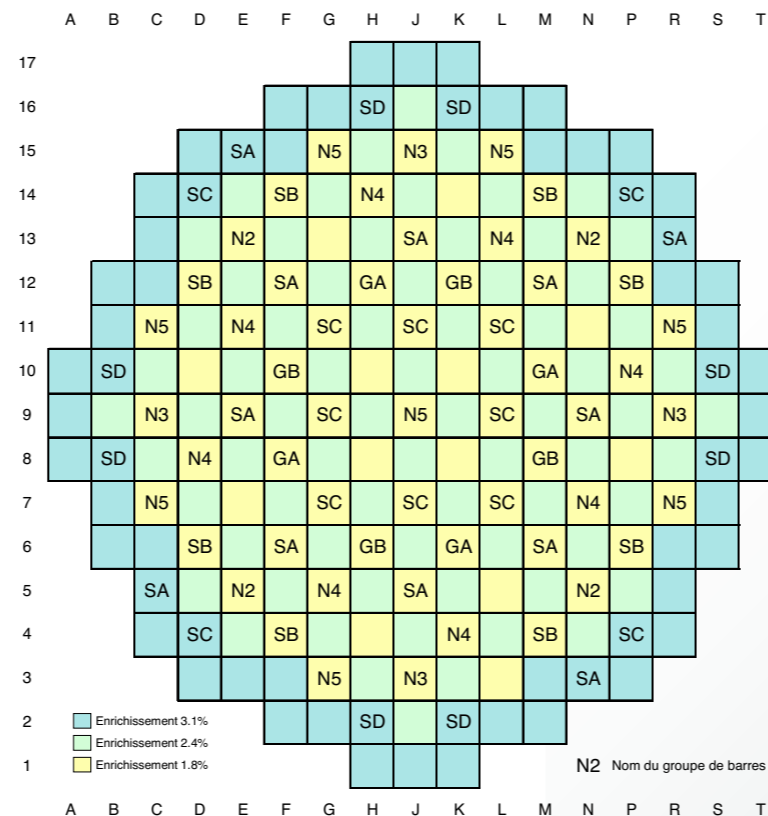
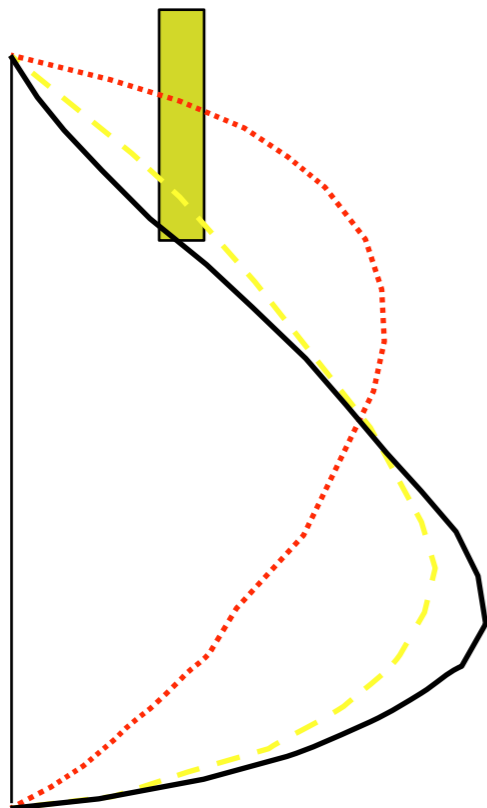
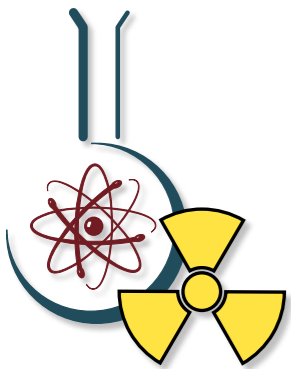
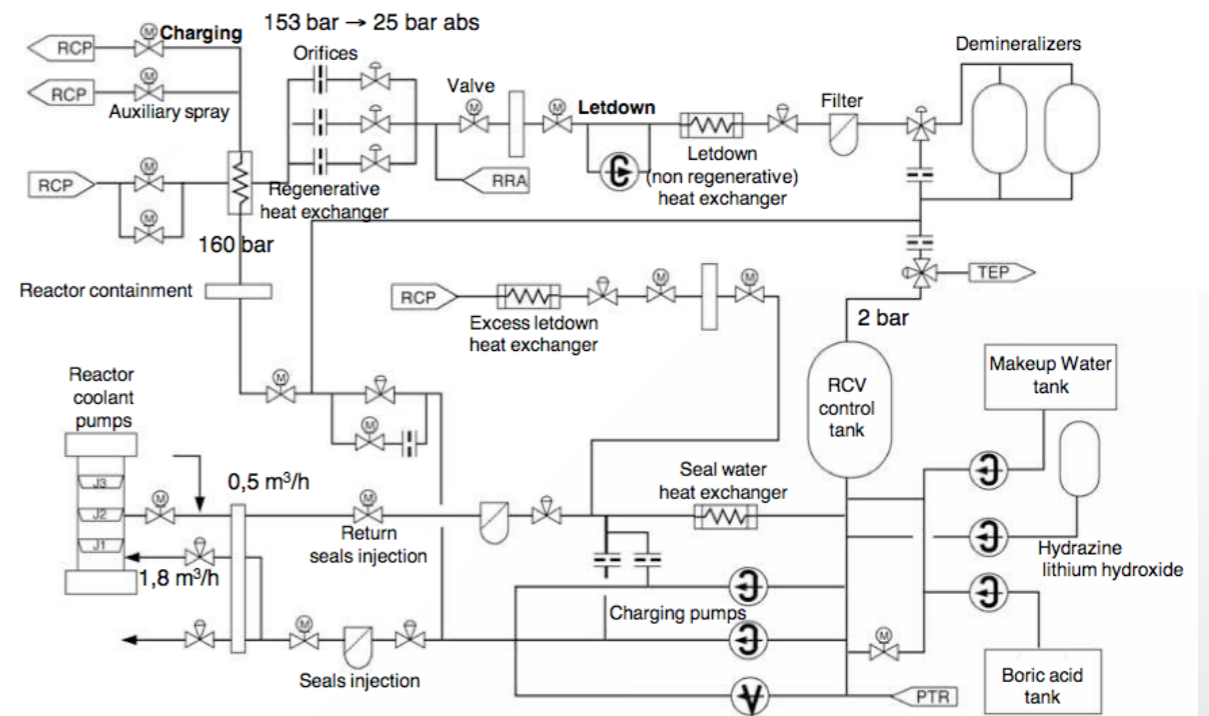
- Zniszczenia radiacyjne
- Materiały reaktorowe



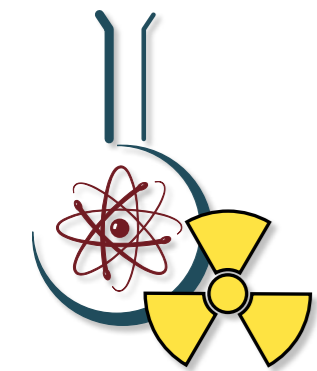
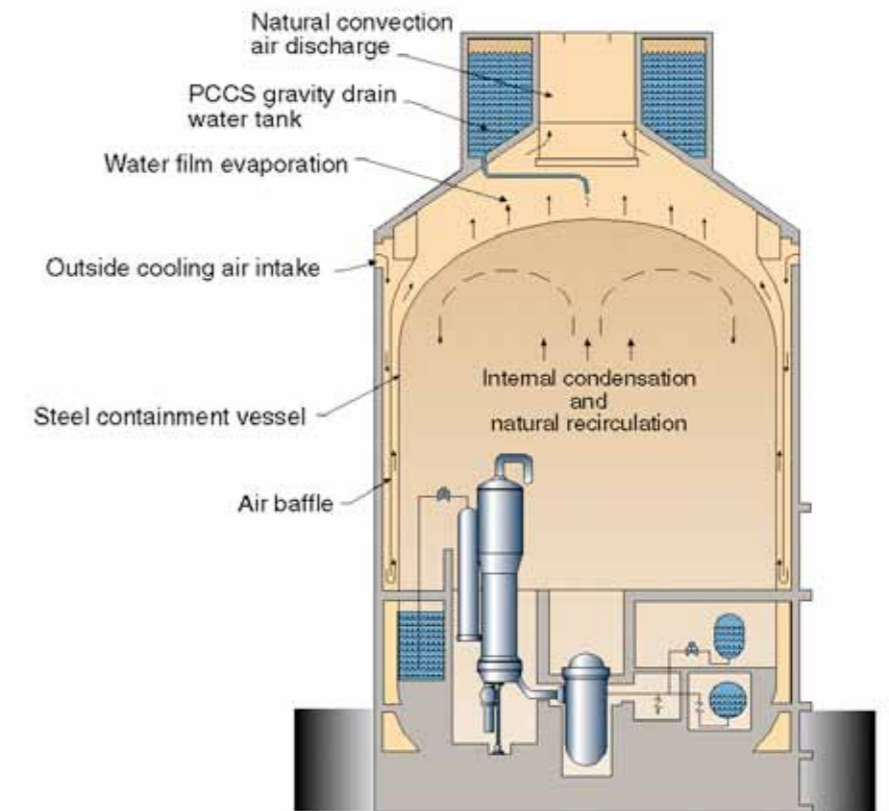
Systemy reaktorów jądrowych

- Rodzaje reaktorów
 - LWR, HTR, FBR, ADS, ...
- Systemy kontroli i awaryjne
- Sterowanie
- Wymiana paliwa

DIAGRAM OF THE RCV (1300 MWe)



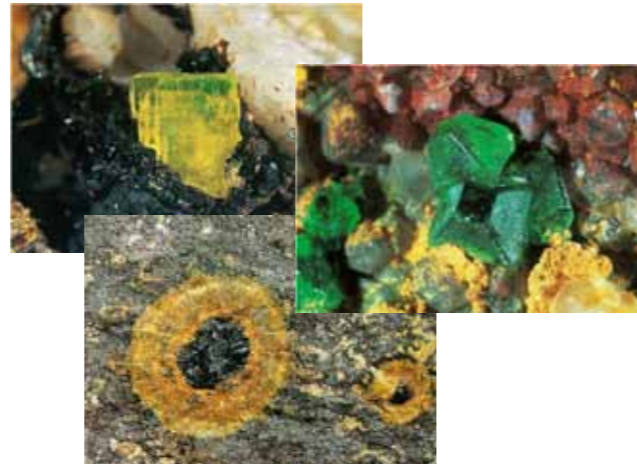
- **Bariery**
 - *In-depth defense*
- **Awarie**
 - *An accident anywhere is an accident everywhere*
- **Zabezpieczenia**



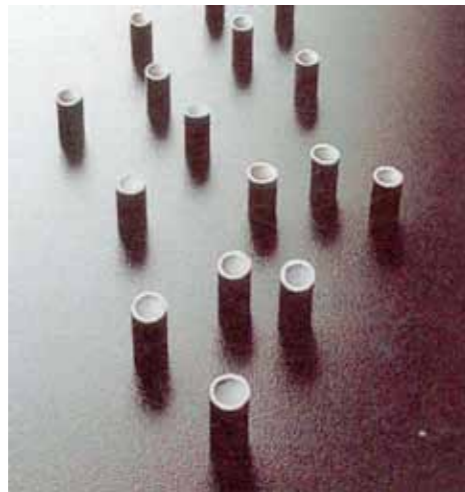
Paliwo jądrowe



Minerały



Kopalnia



Wzbogacanie:
dyfuzja gazowa
lub wirówki

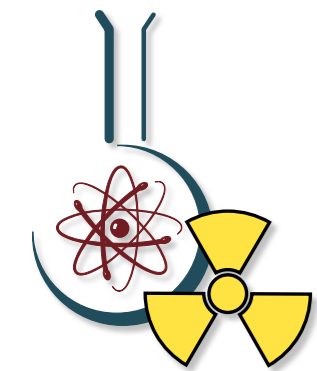
Yellow cake
 U_3O_8



Paliwo
 UO_2



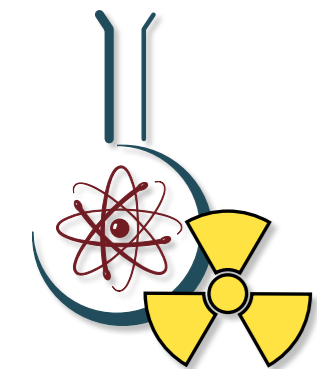
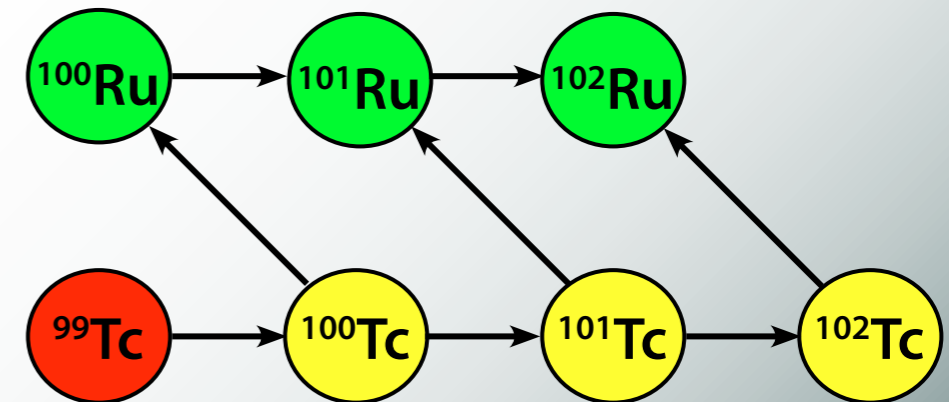
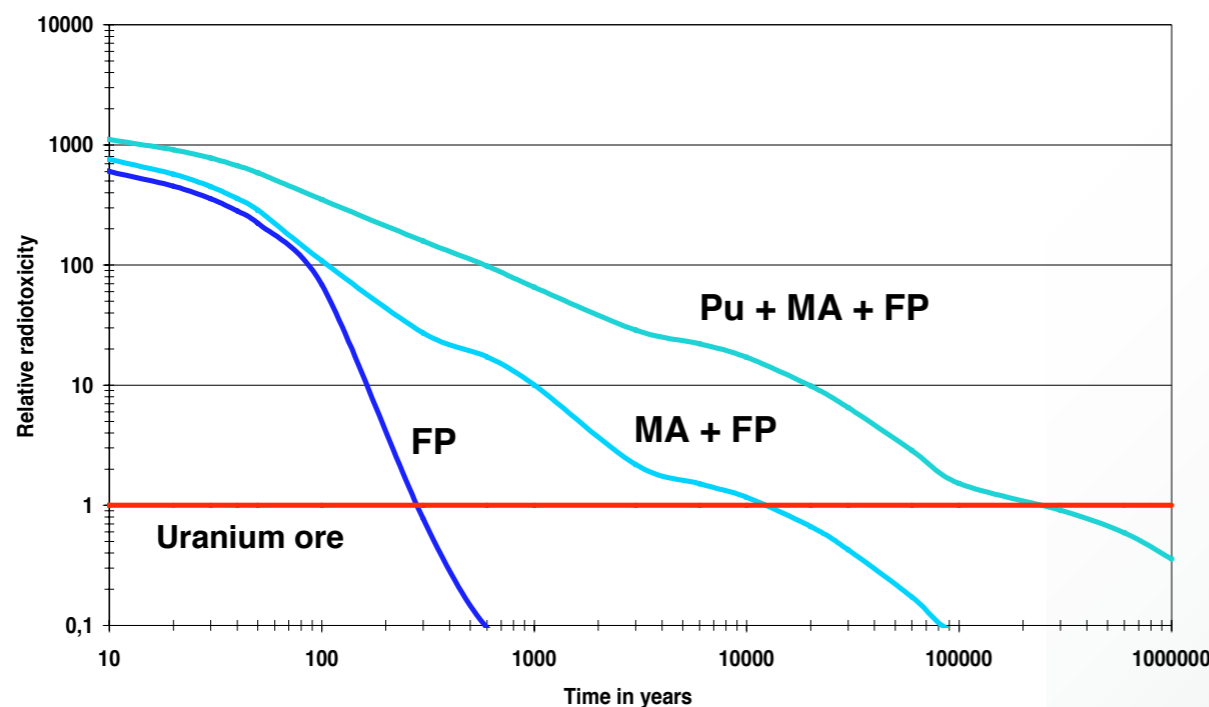
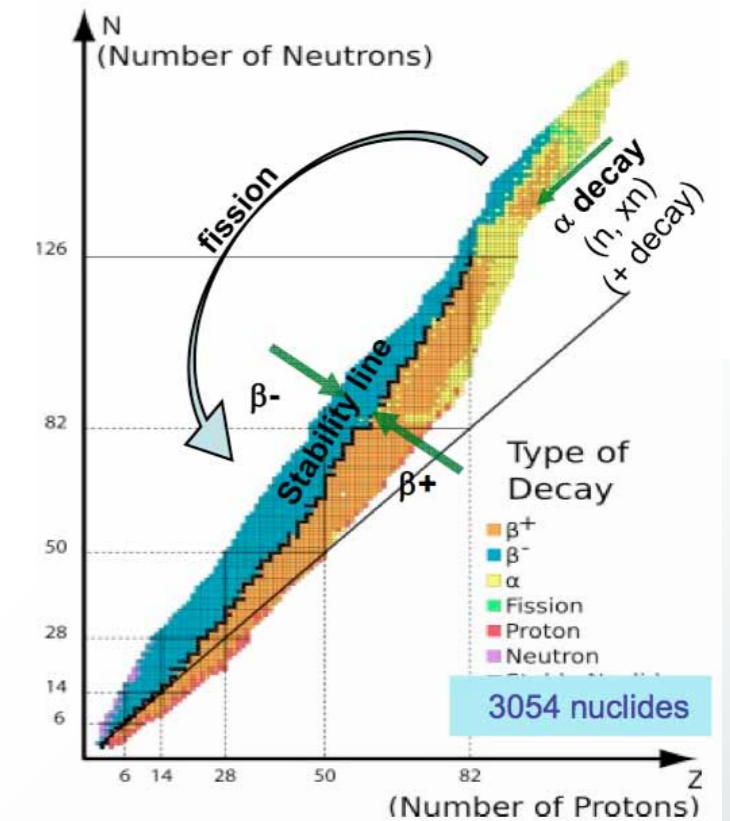
UF_6



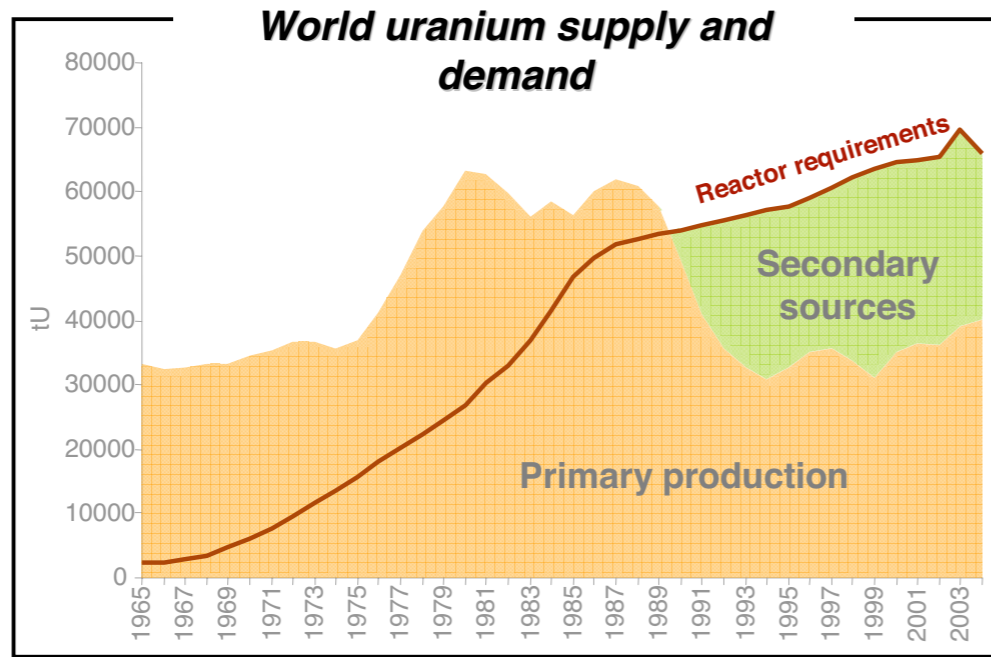
Odpady promieniotwórcze



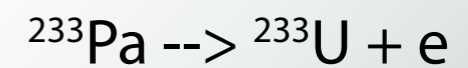
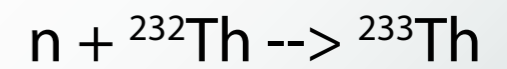
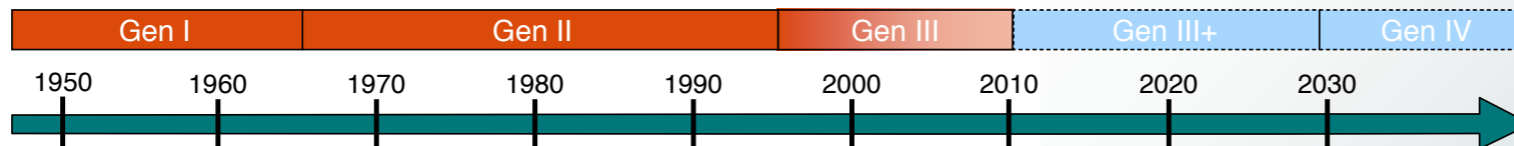
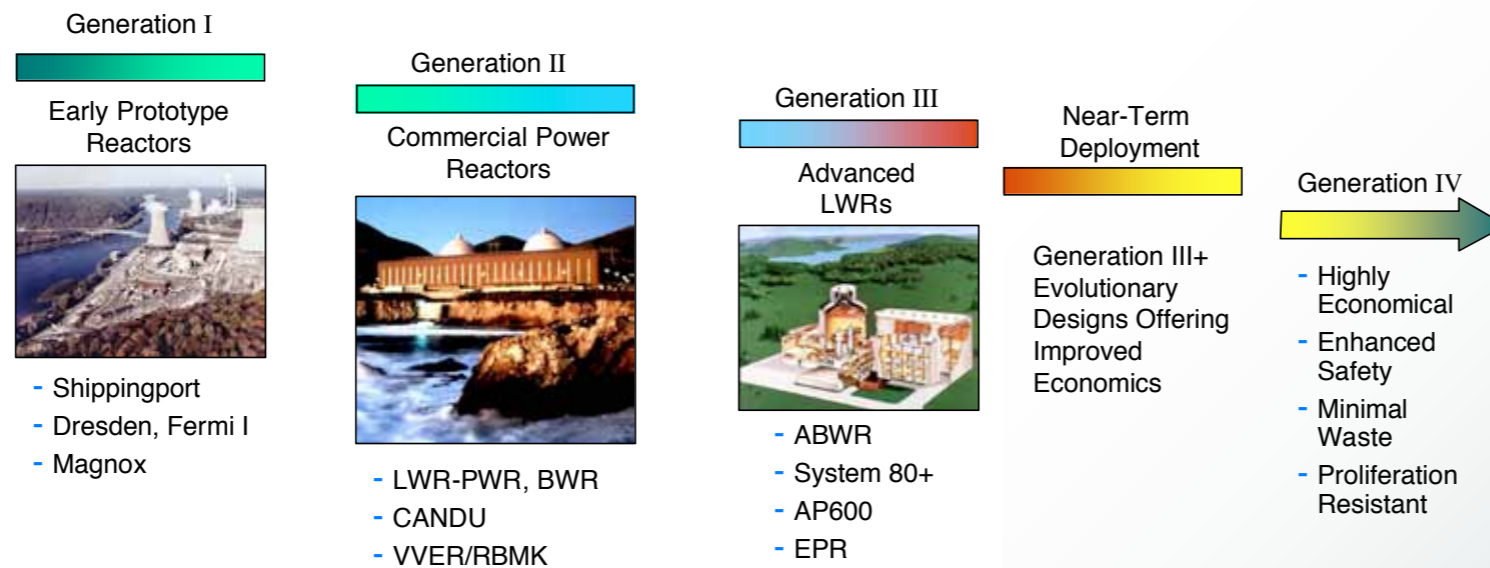
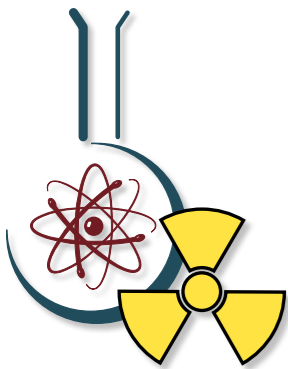
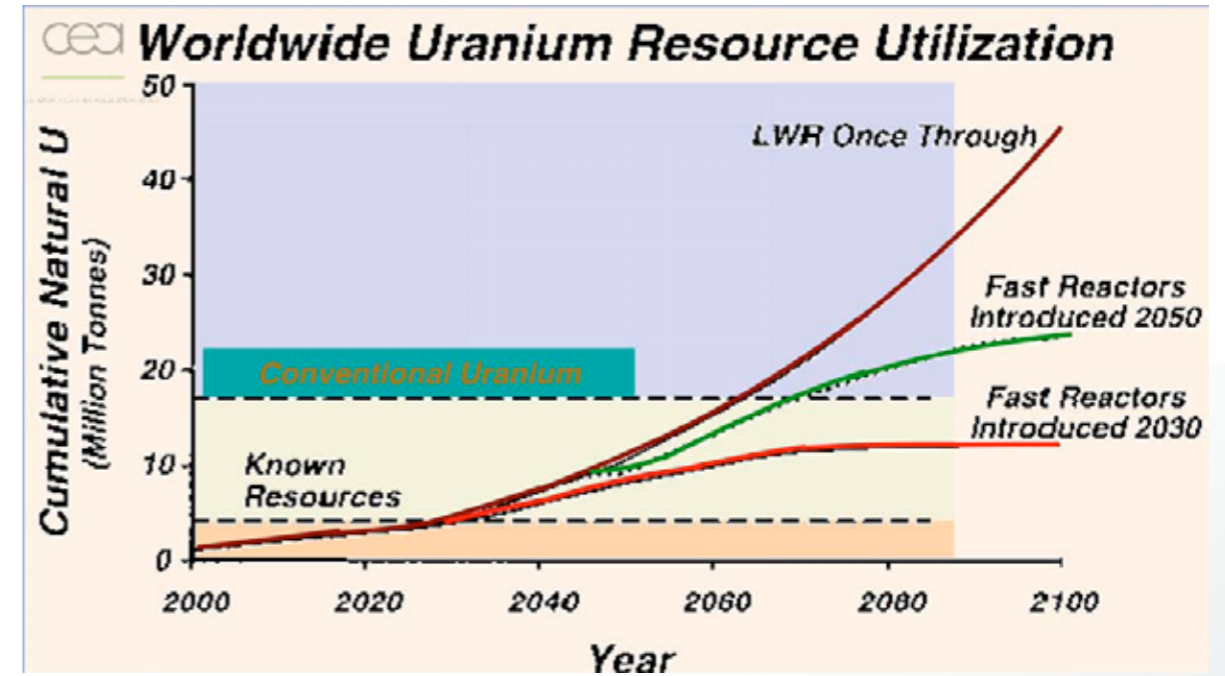
- **Powstawanie i podział**
 - Minor actinides (MA)
 - Fission products (FP)
- **Przechowywanie i składowanie**
- **Spalanie i transmutacja**



Zasoby uranu, zamknięty cykl paliwowy, generacje reaktorów i nowe paliwa



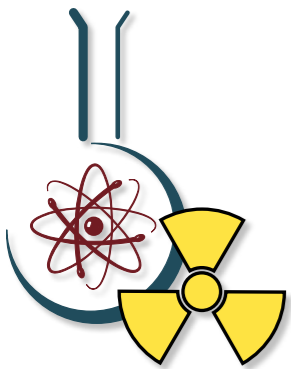
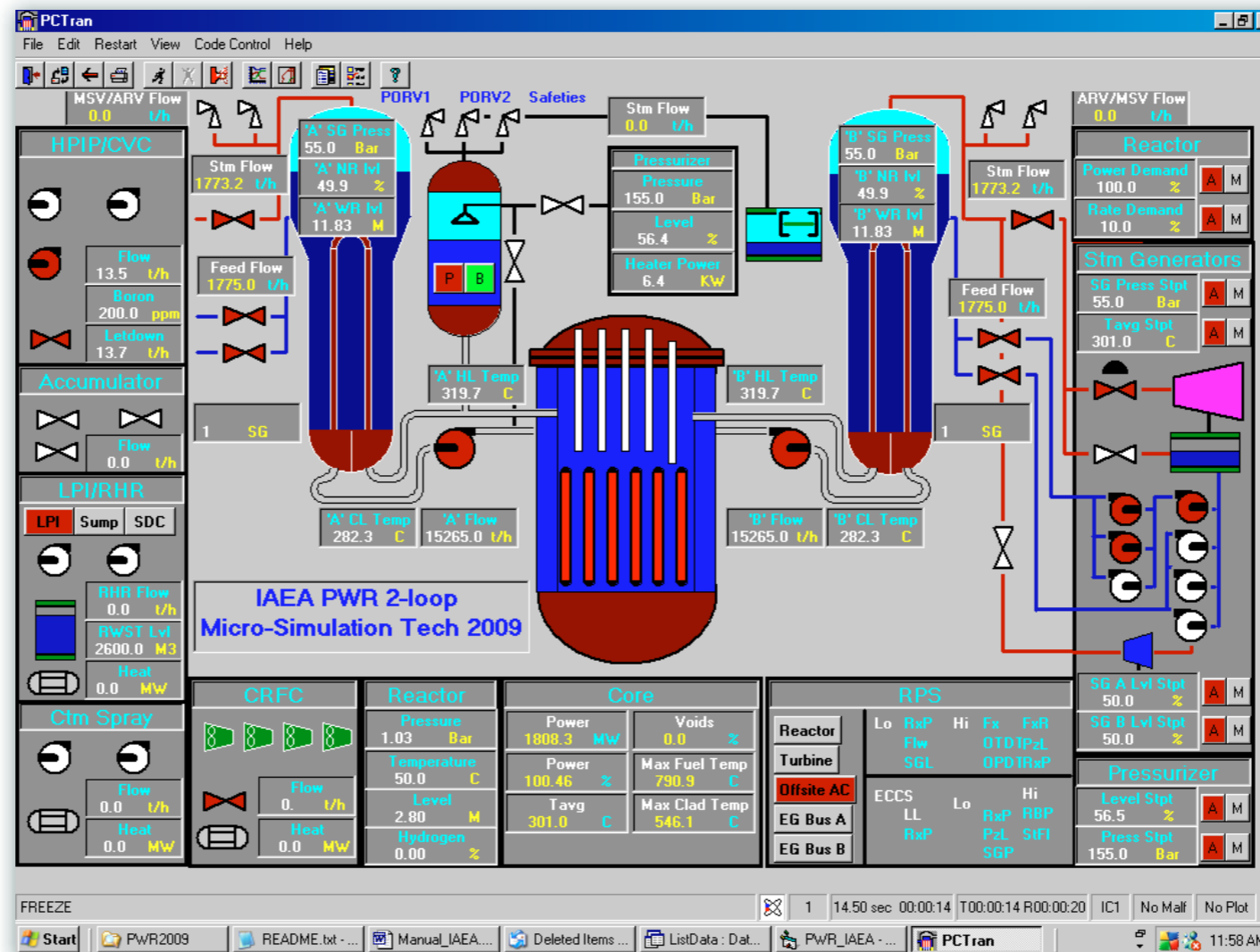
Graphic from AREVA



Fuzja ?

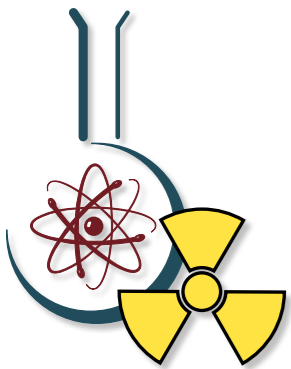
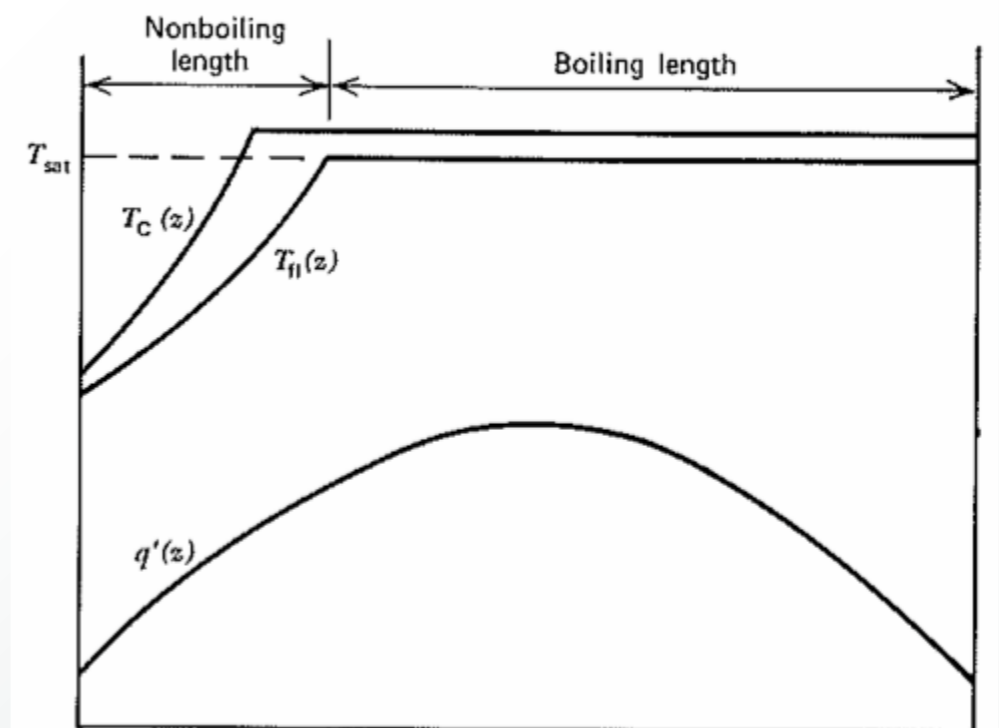
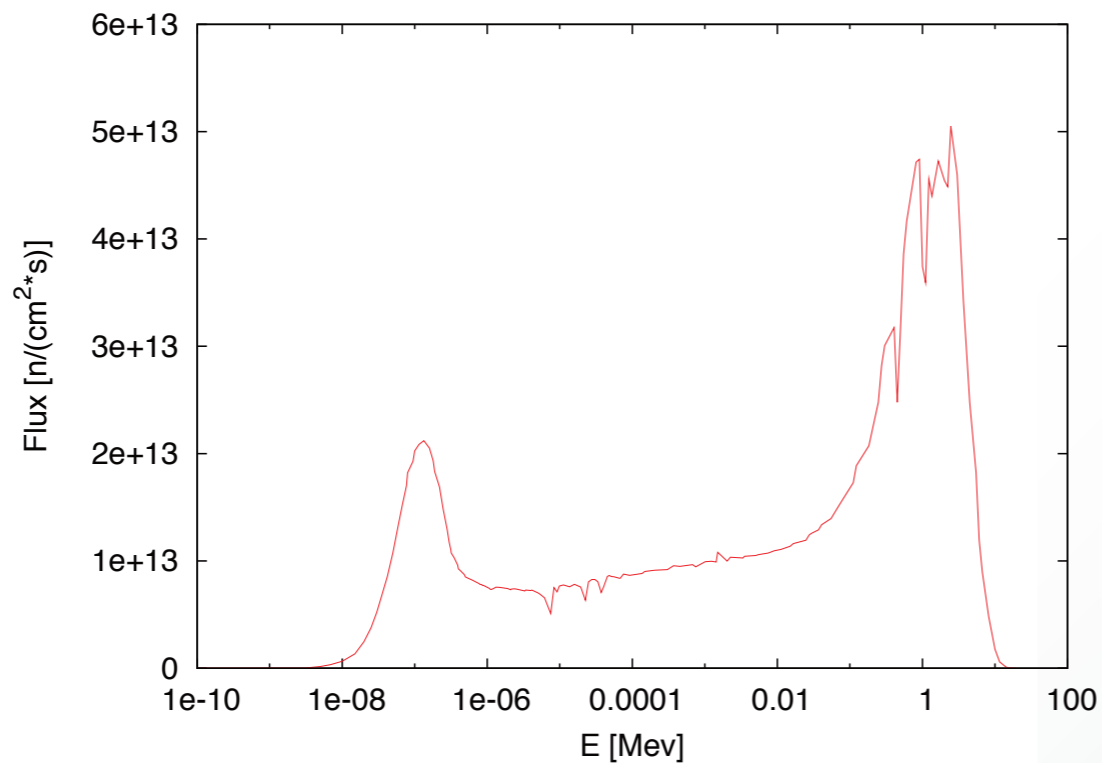
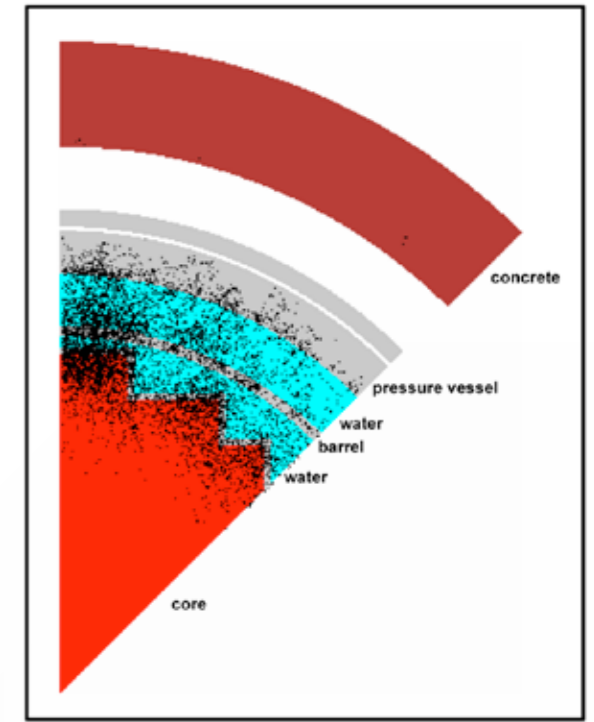
Symulatory reaktorów

- **Symulatory**
 - Reaktorów i elektrowni
 - Softwarowe i hardwarowe
- **Symulacje**
 - Stany przejściowe i awaryjne



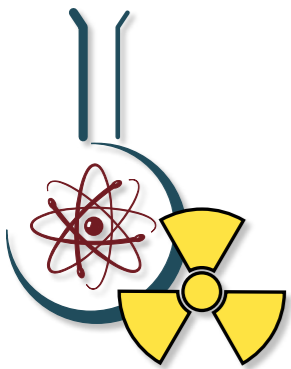
Kody neutroniczne i termohydrauliczne

- **TRIPOLI**
 - Symulacje Monte-Carlo w neutronice
- **APOLLO**
 - Obliczenia deterministyczne w neutronice
- **FLICA**
 - Termohydraulika

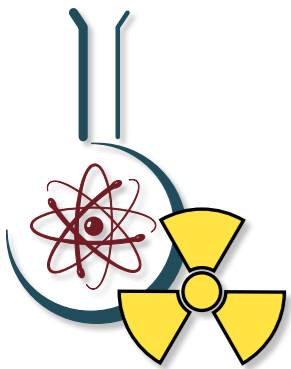


Ćwiczenia laboratoryjne

- Elektronowy mikroskop skaningowy
- Reaktor ISIS

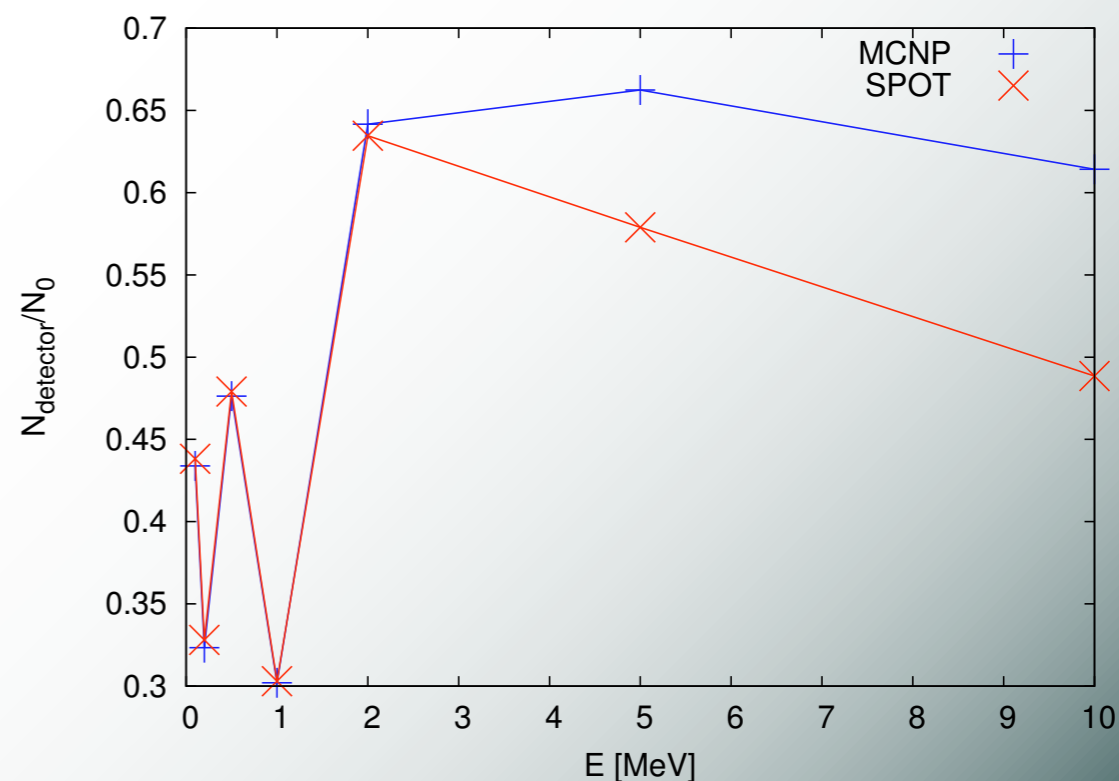
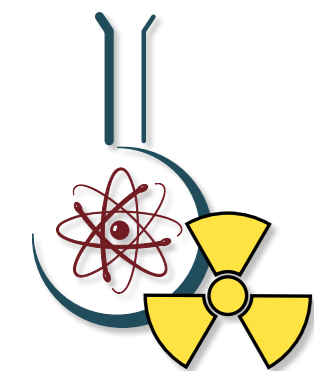


- **Reaktory**
 - Economical analysis of the PWR technology
 - CANDU: Canadian nuclear reactor
- **Neutronika**
 - Monte-Carlo simulations of neutron transport
 - Monte-Carlo simulations of particle transport in subcritical reactors
 - Monte-Carlo simulations for the ISIS reactor
 - Design of the EPR fuel assembly
 - Detectors for nuclear reactors
 - Krypton 85 - production and detection
- **Termohydraulika**
 - Two-phase flow in minichannels
 - CFD simulations of the BWR core
 - Energy conversion: fossile versus nuclear plant
- **Materiały**
 - Materials for the reactor vessel
 - Solidification of radioactive waste in concrete





- **Autorzy**
 - J. Skubalski, A. Polański, T. Piotrowski, P. Olbratowski, D. Tefelski
- **Program**
 - Symulacja Monte Carlo transportu neutronów
 - Tylko rozpraszanie elastyczne i absorpcja
- **Test**
 - Przenikanie neutronów przez beton
 - Porównanie z programem MCNP
- **Zastosowania**
 - Obliczanie dawek i osłon



Perspektywy

